

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК  
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**Выпуск**                      **Серия: Строительство и архитектура**  
**39(58)**                      Научно-теоретический и производственно-практический журнал                      **2015**

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

Выходит 4 раза в год  
Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолгГАСУ

**С о д е р ж а н и е**

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

- Богомолов А. Н., Прокопенко А. В.** Упругопластический расчет несущей способности основания незаглубленного фундамента (условия смешанной задачи) 4
- Бондарев А. Б., Борков П. В., Бондарев Б. А., Жариков В. А.** Ремонт и восстановление элементов конструкций транспортных сооружений с использованием полимерных композиционных материалов 17
- Жарков А. Ф., Чеснокова О. Г.** Аэродинамический продув квартальной застройки 26
- Перехоженцев А. Г.** Решение задач тепло- и влагообмена в двухмерных областях ограждающих конструкций зданий 35
- Тюряхин А. С., Манухов В. Ф., Дужников В. Н.** О величине защитного слоя бетона для арматуры железобетона 46

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

- Анисимов Л. А., Банькин К. И., Донцова О. Л.** Анализ рисков при строительстве и эксплуатации нефтегазовых сооружений в Северном Каспии 54
- Анопин В. Н., Рулев А. С., Матовников С. А., Матовникова Н. Г.** Картографирование урболандшафтов с применением геоинформационных технологий 68
- Богомолов А. Н., Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В., Канашинская Е. П., Алексеев А. Ф., Галай Б. Ф.** Геоэкологическая оценка территорий, сложенных лессовыми просадочными и набухающими породами 82
- Масляев А. В.** Обоснование защиты жизни и здоровья населения России в зданиях при землетрясении в федеральных законах и нормативных документах 94

---

<b>Рулев Г. А., Анопин В. Н.</b> Геотопологический подход в исследованиях состояния придорожных лесных насаждений	101
<b>Шагиева Е. В., Баранская Е. А., Чеснокова О. Г.</b> Проблемы экологии города Волгограда	110
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	
<b>Боровик В. С., Боровик В. В.</b> Визуализация управления системами автодорожного комплекса в трехмерном пространстве и времени	119
<b>Витолин С. В.</b> Современные методы регулирования транспортных потоков на светофорных объектах и оценка их эффективности	132
<b>Лищинский С. А., Алексиков С. В., Алексиков И. С.</b> Модернизация территориальной дорожной сети в условиях формирования международных транспортных коридоров	140
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
<b>Москвичева Е. В., Салахутдинова А. Р., Игнаткина Д. О., Сидякин П. А., Щитов Д. В., Ибрагимова З. К.</b> Современные системы оборотного водоснабжения промышленного предприятия	151
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
<b>Королева Н. А., Тарабанов М. Г., Фокин В. М.</b> Совершенствование систем кондиционирования воздуха с использованием роторного пластинчатого теплообменника в качестве местного адiabатного увлажнителя	164
<b>Королева Н. А., Фокин В. М.</b> Применение систем кондиционирования воздуха с испарительным охлаждением в современных зданиях	173
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА	
<b>Гоблик А. В.</b> Применение кратных рядов в задачах расчета совокупного потенциала градостроительных систем	183
<b>Петров В. Э.</b> Проектирование доступного жилья с применением принципов экологической безопасности	193
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ	
<b>Салугин А. Н.</b> Структурная модель водного баланса Волгоградского региона	203
<b>Скоробогатченко Д. А., Боровик М. С.</b> Моделирование задачи размещения асфальтобетонных заводов в городских условиях	213
<b>Харитонов Л. П.</b> О математическом моделировании аэродинамических характеристик при натекании систем импактных плоскопараллельных струй на теплообменную поверхность. Часть 1	224

## Content

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

<b>Bogomolov A. N., Prokopenko A. V.</b> Elasto-plastic calculation of bearing capacity of the basis of unburied foundation (conditions of mixed task)	4
<b>Bondarev A. B., Borkov P. V., Bondarev B. A., Zharikov V. A.</b> Repair and restoration of design elements of transport facilities using polymer composite materials	17
<b>Zharkov A. F., Chesnokova O. G.</b> Aerodynamic air flow of district development	26
<b>Perekhozhentsev A. G.</b> Solution of heat and moisture exchange tasks in two-dimensional area of the building envelope	35
<b>Tyuryakhin A. S., Manukhov V. F., Duzhnikov V. N.</b> About the size of a protective concrete layer for reinforced concrete	46

### ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

<b>Anisimov L. A., Ban'kin K. I., Dontsova O. L.</b> Risk analysis at building and operation of oil and gas constructions in the North Caspian offshore	54
<b>Anopin V. N., Rulev A. S., Matovnikova N. G.</b> Urban landscape mapping using geoinformation technologies	68
<b>Bogomolov A. N., Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kanashinskaya E. P., Alekseev A. F., Galai B. F.</b> Geocological assessment of the territories formed by loessial sagging and swelling rocks	82
<b>Maslyayev A. V.</b> Substantiation of protection of life and health of the population of Russia in buildings at earthquake in federal laws and normative documents of the Russian Federation	94
<b>Rulev G. A., Anopin V. N.</b> Geotopological approach to the research of roadside forest planting state	101
<b>Shagieva E. V., Baranskaya E. A., Chesnokova O. G.</b> Environmental problems in Volgograd	110

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

<b>Borovik V. S., Borovik V. V.</b> Imaging of the systems of road complex management in three-dimensional space and time	119
<b>Vitolin S. V.</b> Modern methods of transport flow regulations at traffic lights and the evaluation of their effectiveness	132
<b>Lishchinskii S. A., Aleksikov S. V., Aleksikov I. S.</b> Modernization of territorial road network under condition of formation of international transport corridor	140

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

<b>Moskvicheva E. V., Salakhutdinova A. R., Ignatkina D. O., Sidiyakin P. A., Shchitov D. V., Ibragimova Z. K.</b> Modern water recycling systems of industrial enterprise	151
--	-----

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

<b>Koroleva N. A., Tarabanov M. G., Fokin V. M.</b> Improvement of air conditioning systems using rotary plate heat exchanger as local adiabatic humidifier	164
<b>Koroleva N. A., Fokin V. M.</b> Application of air conditioning evaporative cooling in modern buildings	173

### URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT

<b>Goblik A. V.</b> Use of multiple series in tasks to calculate aggregate potential of urban planning systems	183
<b>Petrov V. E.</b> Design of affordable housing with the use of environmental safety methods	193

### INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

<b>Salugin A. N.</b> Structural model of water balance in Volgograd oblast	203
<b>Skorobogatchenko D. A., Borovik M. S.</b> Modeling of placement of asphalt concrete factories in cities	213
<b>Kharitonova L. P.</b> About mathematical simulation of aerodynamics with leakage of plane-parallel impact jets on the flat heat exchange surface. Part 1	224

УДК 624.131

**А. Н. Богомолов<sup>а, б</sup>, А. В. Прокопенко<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

<sup>б</sup> *Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

### **УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЯ НЕЗАГЛУБЛЕННОГО ФУНДАМЕНТА (УСЛОВИЯ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ)**

На основании результатов компьютерного моделирования процесса образования и развития областей предельного состояния грунта в условиях смешанной задачи предложен инженерный метод расчета величины предельно допустимой нагрузки на основание гибкого ленточного фундамента. Метод включает простые формулы и график, позволяющие с достаточной для практики степенью точности вычислять величину предельного давления на основание. Приводятся примеры сопоставления величин предельных нагрузок, вычисленных по формуле СНиП и на основе предложенного метода. Установлено, что значения предельной нагрузки, данные в СНиП, могут быть и больше, и меньше соответствующих величин, полученных на основе смешанного решения. Для рассмотренных в работе примеров полученные авторами значения оказались больше на 33,6 и 46,6 % при условии, что  $\xi_0 \rightarrow 1$ .

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** смешанная задача теории упругости и теории пластичности грунта, механико-математическая модель смешанной задачи, области предельного состояния грунта, предельно допустимая нагрузка на основание, сопоставление результатов расчетов по СНиП и предлагаемым инженерным методом.

**Механико-математическая модель, определяющие соотношения.** Механико-математическая модель смешанной задачи позволяет соединить решение задачи линейной теории упругости для начальной стадии нагружения и решение задачи теории предельного равновесия для стадии образования и развития пластических областей, что важно с точки зрения разработки единой теории, описывающей поведение основания в полном интервале нагрузок.

Аналитическое решение смешанной задачи теории упругости и теории пластичности грунтов связано с разрешением системы дифференциальных уравнений равновесия, уравнения неразрывности деформаций и условия пластичности, которые для плоской задачи записываются следующим образом (ось  $X$  направлена вправо,  $Z$  — вертикально вниз):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + Z &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\nabla^2(\sigma_x + \sigma_z) = -\frac{1}{1-\mu} \left( \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Z}{\partial z} \right); \quad (2)$$

$$(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz} = (\sigma_x + \sigma_z + 2\sigma_{св})^2 \sin^2 \varphi, \quad (3)$$

где  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$ ,  $\tau_{xz}$  — компоненты напряжения в рассматриваемой точке;  $X$ ,  $Z$  — проекции суммарного (включая собственный вес грунта) вектора нагрузок на соответствующие оси координат;  $\sigma_{св} = C \operatorname{ctg} \varphi$  — давление связности;  $C$  и  $\varphi$  —

соответственно удельное сцепление и угол внутреннего трения;  $\nabla^2$  — оператор Лапласа;  $\mu$  — коэффициент Пуассона, который связан с коэффициентом бокового давления грунта известным соотношением.

Эти уравнения должны быть дополнены граничными условиями на внешнем контуре основания и границе упругих и пластических областей, а также зависимостями, характеризующими напряженно-деформированное состояние (НДС) грунтовой среды в пластической области. Решение смешанной задачи должно быть построено таким образом, чтобы уравнения (1) выполнялись во всей грунтовой толще, уравнение (2) — только в упругой, а уравнение (3) — только в пластической области.

Принимая допущения о том, что в случае «перехода» точки из «упругого» в пластическое состояние величина напряжения  $\sigma_z$  не меняет своего значения и угол наклона наиболее опасной площадки сдвига  $\alpha$  в рассматриваемой точке меняется незначительно, показано [1—4], что напряжения в точках предельных областей определяются выражениями

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_z &= \sigma_z; \\ \sigma'_x &= \frac{\sigma_z(l - \sin \varphi) - 2\sigma_{cb} \sin \varphi}{l + \sin \varphi}; \\ \tau'_{xz} &= \frac{(\sigma_z + \sigma_{cb})b \sin \varphi}{l + \sin \varphi}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $b = \operatorname{tg} 2\alpha^* = \operatorname{tg} 2[\alpha - (45^\circ + \varphi/2)]$ ;  $l = (1 + b^2)^{\frac{1}{2}}$ ;  $\sigma_z$  — вертикальное напряжение в рассматриваемой точке, вычисленное при решении соответствующей задачи теории упругости;  $\sigma_{cb} = C \operatorname{ctg} \varphi$  — давление связности;  $C$ ,  $\varphi$  — соответственно удельное сцепление и угол внутреннего трения грунта.

Величина угла наклона  $\alpha$  наиболее опасной площадки сдвига, входящей в выражение для  $b$ , определяется из условия минимальности величины  $K_T$ :

$$K_T = \frac{\left[ \frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_x) \cos 2\alpha + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z) + \tau_{xz} \sin 2\alpha + \sigma_{cb} \right] \operatorname{tg} \varphi}{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z) \sin 2\alpha + \tau_{xz} \cos 2\alpha}, \quad (5)$$

полученной путем замены напряжений  $\sigma_n$  и  $\tau_n$  компонентами напряжения  $\sigma_z$ ;  $\sigma_x$ ;  $\tau_{xz}$  в условии прочности Кулона [1]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial \alpha} &= 0; \\ \frac{\partial^2 K}{\partial \alpha^2} &> 0, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\sin 2\alpha_{1,2} = -\frac{2\tau_{xz}}{B} \pm (\sigma_z - \sigma_x) \sqrt{\frac{B^2 - D}{B^2 D}}, \quad (7)$$

где  $B = (\sigma_z + \sigma_x + 2\sigma_{cb})$ ;  $D = 4\tau_{xz}^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2$ .

Процедура построения границ упругой и пластической областей под подошвой фундамента сводится к отысканию линии (плоская постановка задачи), в каждой точке которой выполняются условия [4]:

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{2(\tau_{zx} + \tau'_{zx})}{2\sigma_z - \sigma_x - \sigma'_x}, \quad (8)$$

$$\sin \varphi_\theta = \frac{l(\sigma_z(3 + \cos 2\theta) + \sigma_x(1 - \cos 2\theta) + 2\tau_{zx} \sin 2\theta)}{-(\sigma_z + \sigma_x) + 2\sigma_{cb} + \cos 2\theta(\sigma_x - 3\sigma_z - 2\sigma_{cb}) - 2\sin 2\theta(\tau_{zx} + b(\sigma_z + \sigma_{cb}))}, \quad (9)$$

где  $b = \operatorname{tg} 2\alpha^* = \operatorname{tg} 2[\alpha - (45^\circ + \varphi/2)]$ ;  $l = (1 + b^2)^{\frac{1}{2}}$ ;  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xz}$  и  $\sigma'_x$  и  $\tau'_{zx}$  — компоненты напряжения в рассматриваемой точке, найденные соответственно из упругого решения, например методами ТФКП или МКЭ, и вычисленные по формулам (4).

Выражения (8) и (9) получены исходя из условия непрерывности поля напряжений в каждой точке границы упругой и пластической областей.

Для решения задачи о нахождении предельных областей в смешанной постановке разработана компьютерная программа «Устойчивость. Напряженное состояние», зарегистрированная в реестре компьютерных программ и баз данных [5].

**Расчетная схема.** Расчетная конечно-элементная схема системы «гибкий штамп — основание» имеет форму прямоугольника размерами  $36 \times 18$  м, при этом ширина загруженного участка (гибкого штампа) изменяется от 1 до 2,88 м. Такие размеры расчетной схемы приняты на основании положения о том, что граничные условия, на нее накладываемые, практически не влияют на распределение напряжений, если границы расчетной области удалены от ее исследуемого фрагмента не менее чем на 6 его максимальных размеров. При проведении вычислений конечным элементам поочередно присваиваются все возможные сочетания численных значений физико-механических свойств, которые принимают следующие значения:  $E = 0,21$  МПа (const);  $\xi_0 = 0,3; 0,5; 0,78$ ;  $C = 0,07$  МПа;  $0,2$  МПа;  $0,5$  МПа;  $\varphi = 10^\circ; 20^\circ; 30^\circ$ . При этом ширина гибкого фундамента принимает три значения:  $2b = 1,0$  м;  $2,0$  м;  $2,88$  м. При этом расчетная схема состоит из 29 960 одинаковых треугольных элементов, сопряженных в 15 265 узлах, а ширина матрицы жесткости системы равна 146.

**Результаты вычислений.** Целью проведения вычислений является определение величин интенсивности равномерно распределенной нагрузки, приложенной к поверхности основания, при которой пластические (предельные) области смыкаются под фундаментом.

На рис. 1 в качестве примера изображены предельные области в основании гибкого фундамента в момент их смыкания под его подошвой, т. е. при нагрузке, равной ее предельно допустимому значению. Из этих рисунков видно, что форма и размеры предельных областей зависят от ширины фундамента и величины коэффициента бокового давления. Если рассмотреть изображения предельных областей, построенных при других значениях удельного сцепления и угла внутреннего трения, то сделаем очевидный вывод о том, что размеры и форма этих областей зависят и от  $C$ , и от  $\varphi$ .

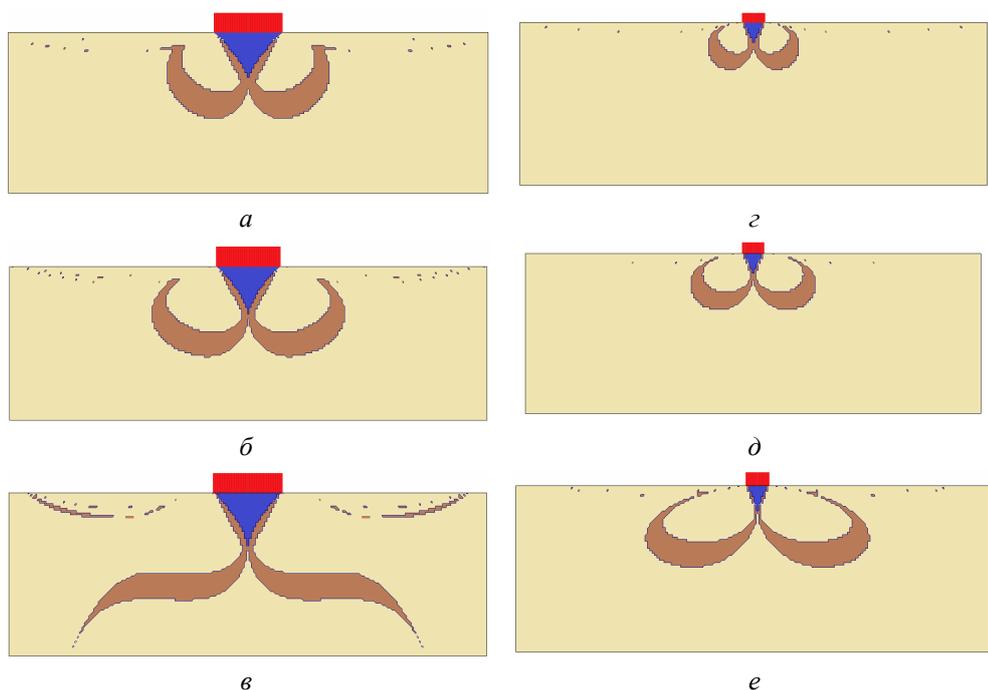


Рис. 1. Области пластических деформаций под гибким ленточным фундаментом при условии, что  $b = 2,88$  м и  $b = 1$  м;  $\varphi = 30^\circ$ ;  $C = 0$ ;  $q = q_{\text{пл}}$  и  $\xi_0 = 0,3$  (а, з);  $\xi_0 = 0,5$  (б, д);  $\xi_0 = 0,79$  (е, е)

Вычисление предельно допустимых нагрузок и построение картин пластических областей выполнено для всех возможных сочетаний переменных расчетных параметров, указанных выше. По результатам этих операций построены графические зависимости вида  $q_{\text{пл}} = f(c)$  и  $q = f(\xi_0)$ , которые приведены на рис. 2.

Оказалось, что все зависимости вида  $q_{\text{пл}} = f(c)$  (рис. 2, а—в) практически со 100%-й точностью аппроксимируются прямыми линиями, уравнения которых могут быть представлены в виде

$$q_{\text{пл}} = aC + b,$$

где  $C$  — удельное сцепление, МПа;  $a$  и  $b$  — коэффициенты, причем  $a$  — безразмерный коэффициент, а коэффициент  $b$  имеет размерность [МПа].

Все графические зависимости вида  $q = f(\xi_0)$  с погрешностью, не превышающей 5 %, аппроксимируются выражением

$$q_{\text{пл}} = ke^{m\xi_0},$$

где  $\xi_0$  — коэффициент бокового давления;  $k$  и  $m$  — коэффициенты, причем коэффициент  $m$  — безразмерный, а коэффициент  $k$  имеет размерность [МПа].

На рис. 5 и 6 приведены графики для определения упомянутых выше коэффициентов.

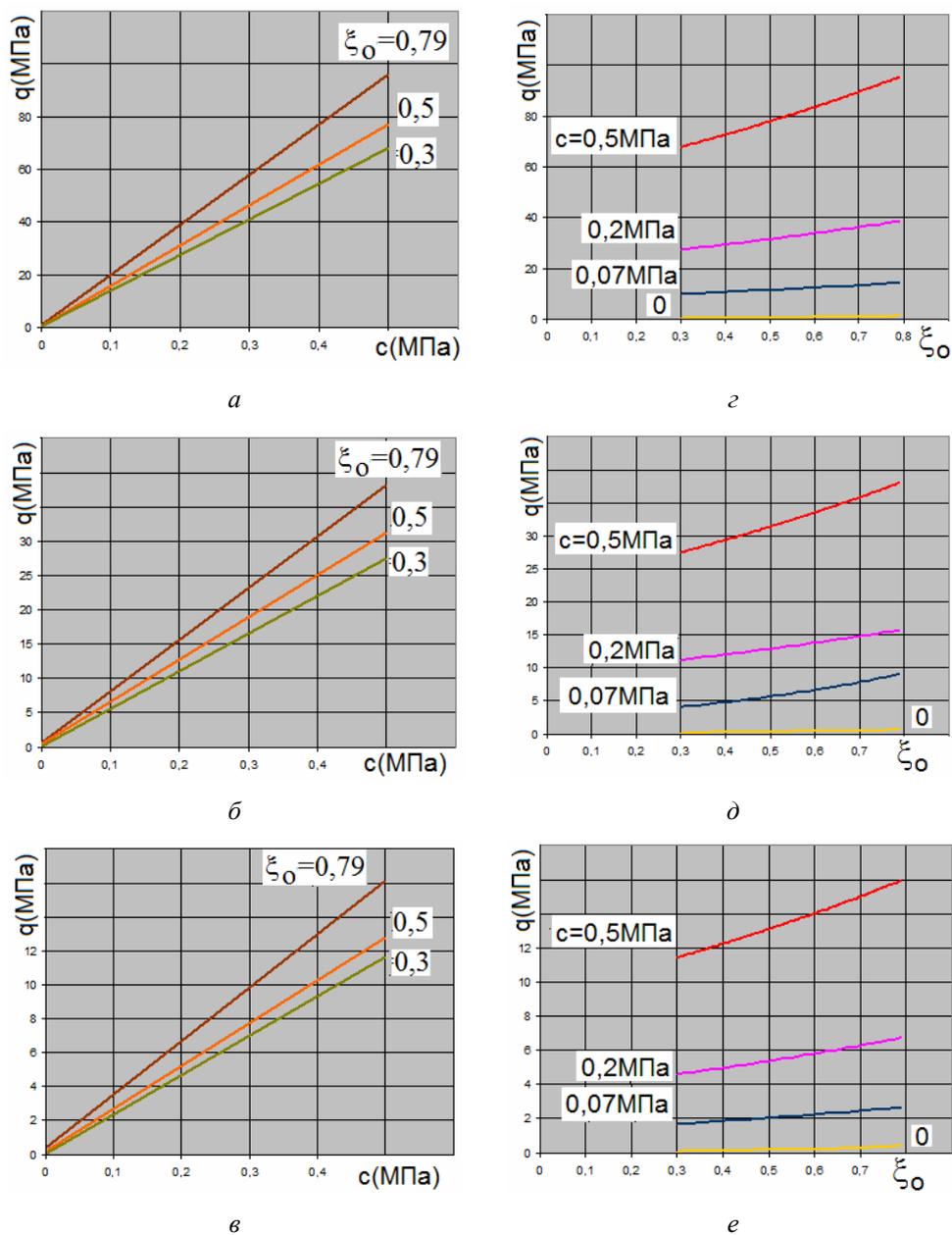


Рис. 2. Графические зависимости вида  $q_{\text{плд}} = f(c)$  (*a*–*в*) и  $q = f(\xi_0)$  (*з*–*е*) при  $b = 1,0$  м и  $\varphi = 10^\circ$  соответственно (*a*) и (*з*),  $\varphi = 20^\circ$  соответственно (*б*) и (*д*) и  $\varphi = 30^\circ$  соответственно (*в*) и (*е*)

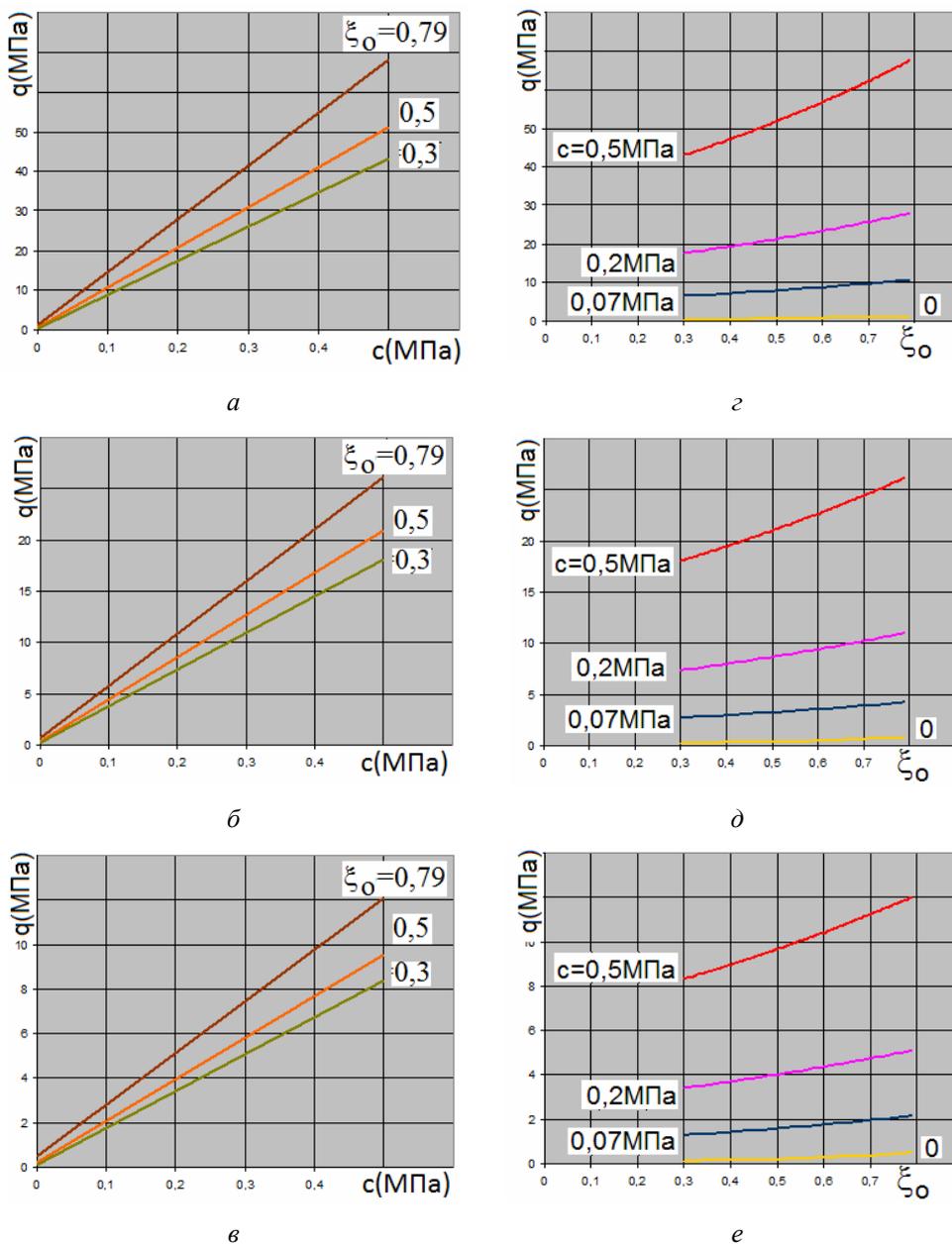
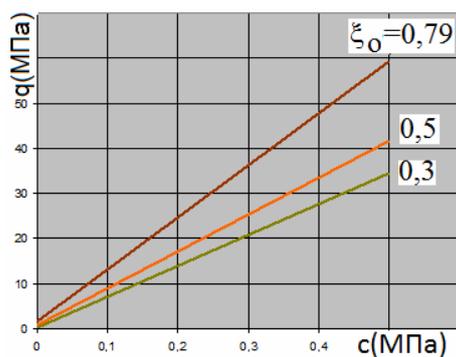
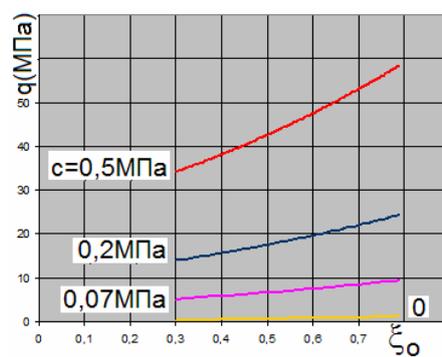


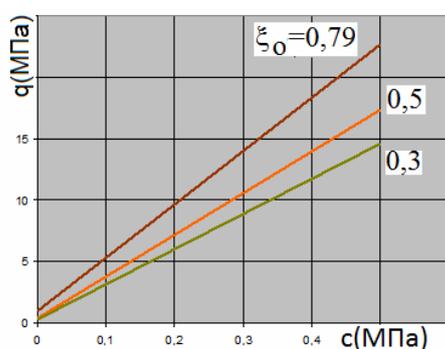
Рис. 3. Графические зависимости вида  $q_{\text{пл}} = f(c)$  (*a*–*в*) и  $q = f(\xi_0)$  (*z*–*e*) при  $b = 2,0$  м и  $\varphi = 10^\circ$  соответственно (*a*) и (*z*),  $\varphi = 20^\circ$  соответственно (*b*) и (*d*) и  $\varphi = 30^\circ$  соответственно (*в*) и (*e*)



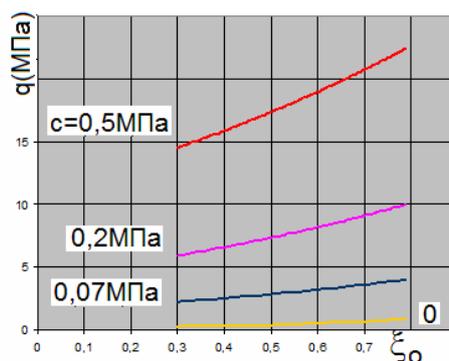
*a*



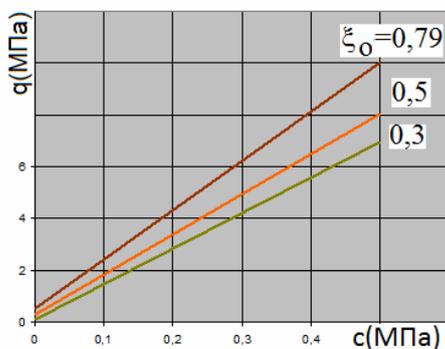
*z*



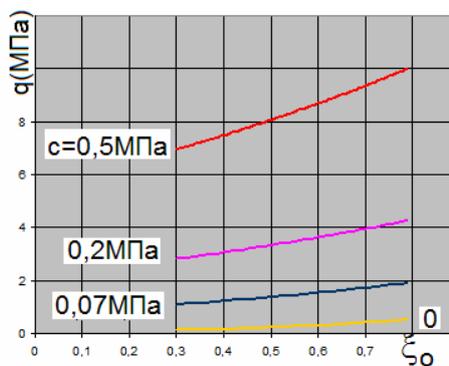
*б*



*д*



*е*



*е*

Рис. 4. Графические зависимости вида  $q_{плд} = f(c)$  (*a–e*) и  $q = f(\xi_0)$  (*z–e*) при  $b = 2,88$  м и  $\varphi = 10^\circ$  соответственно (*a*) и (*z*),  $\varphi = 20^\circ$  соответственно (*б*) и (*д*) и  $\varphi = 30^\circ$  соответственно (*в*) и (*е*)

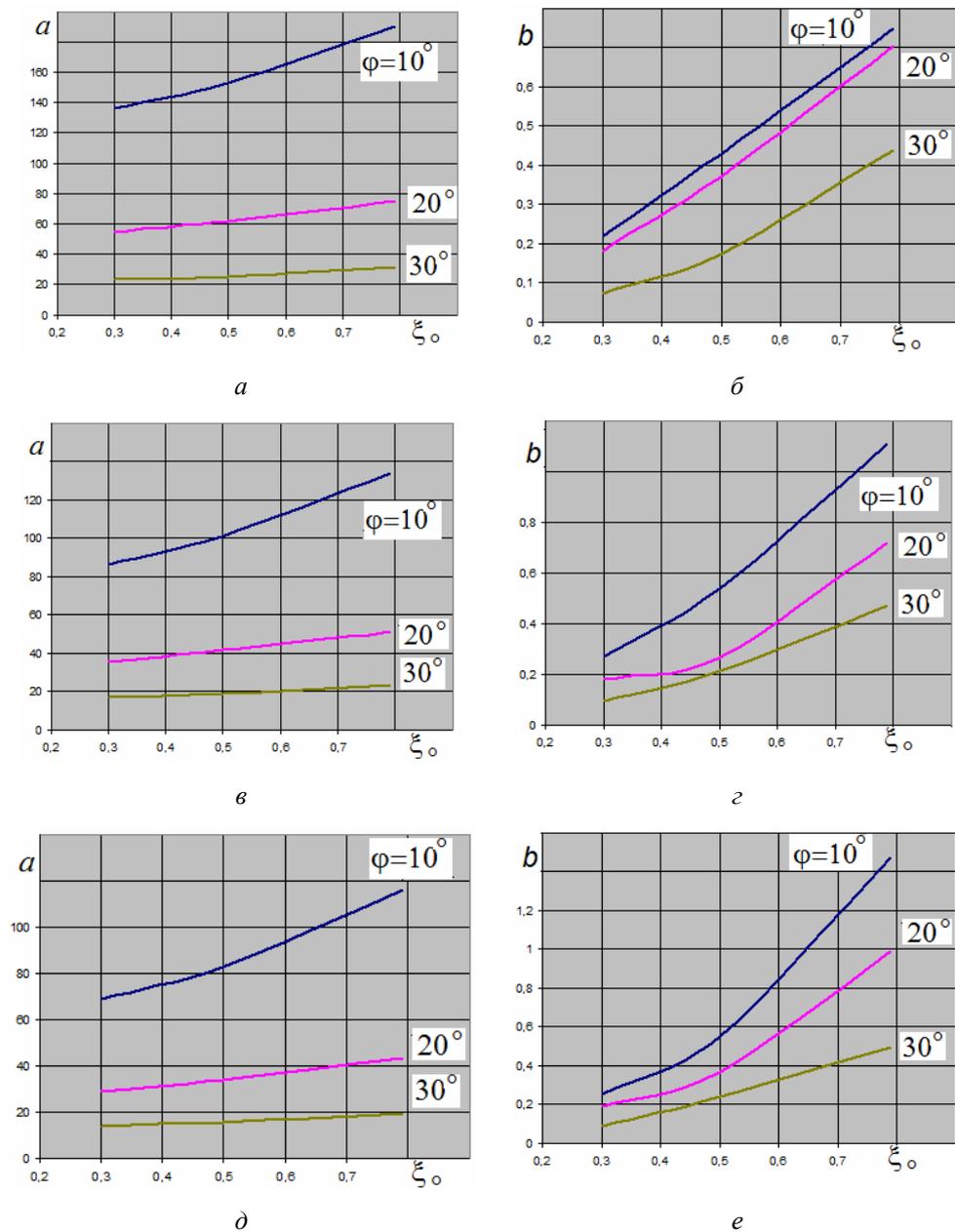


Рис. 5. Графики для определения коэффициентов  $a$  и  $b$  аппроксимирующих выражений при  $2b = 1$  м ( $a, \bar{b}$ ),  $2b = 2$  м ( $a, \bar{b}$ ) и  $2b = 2,88$  м ( $a, \bar{b}$ )

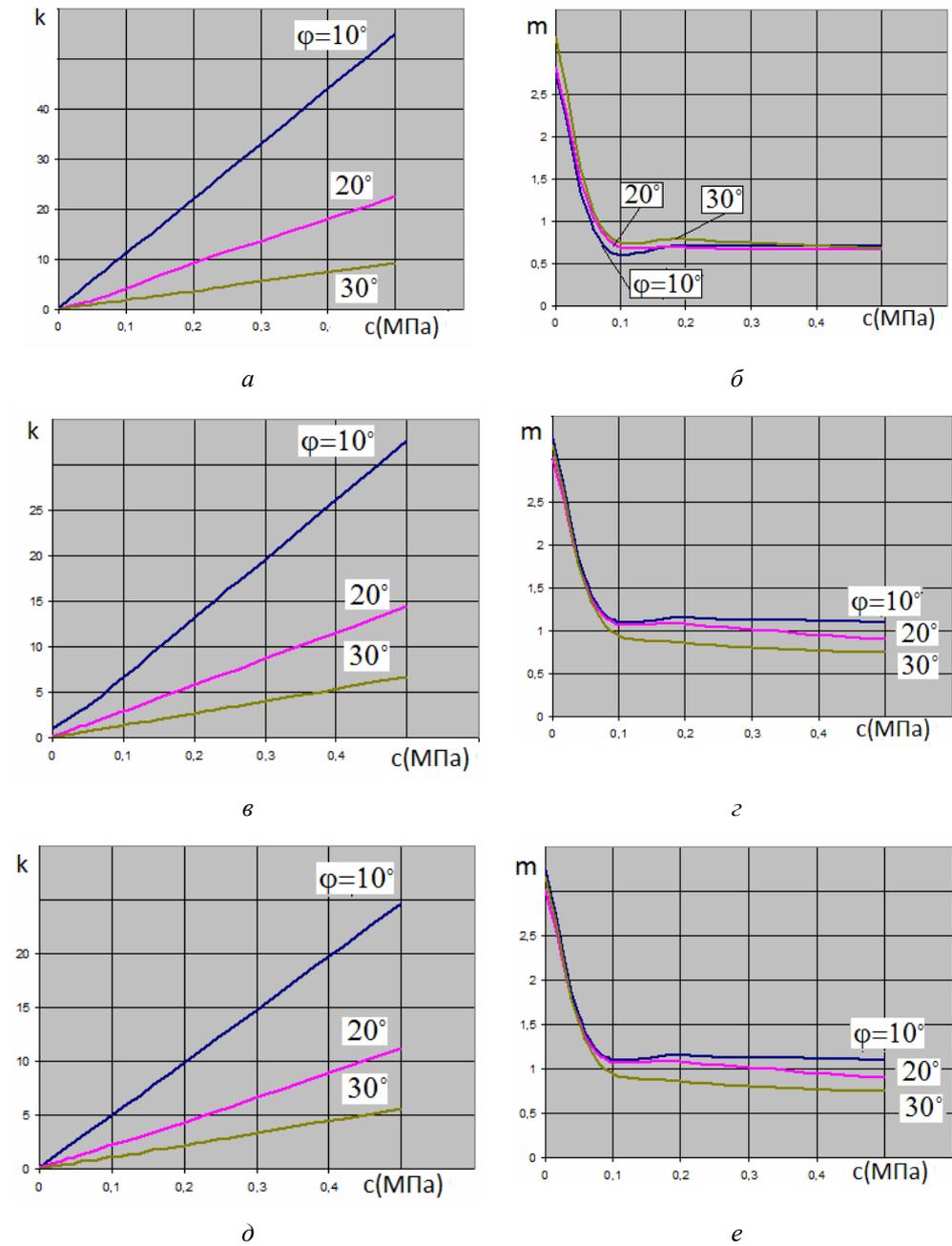


Рис. 6. Графики для определения коэффициентов *k* и *m* аппроксимирующих выражений при  $2b = 1$  м (*a, б*),  $2b = 2$  м (*в, г*) и  $2b = 2,88$  м (*д, е*)

**Сопоставление получаемых результатов со СНиП.** В работе [6] приведены результаты расчета предельно допустимой нагрузки по формуле (16) СНиП 2.02.01—83\* для моделей фундаментов на песчаном основании, часть которых помещена в табл. Нами выполнен расчет величин интенсивности предельно допустимой равномерно распределенной нагрузки для условий работы [6], но при разных значениях коэффициента бокового давления, при помощи компьютерной программы [5], в которой формализовано решение смешанной задачи.

№ опыта	Размер штампа, см	Площадь штампа, см	$q_{\text{пд}}/\gamma b$ (формула (16) СНиП 2.02.01—83*)	$\xi_0$ (расчет в смешанной постановке [6])
1.	50×150	7500	663,92	0,82
2.	35,4×106,2	2759,5	470,7	0,55

В результате вычислений построены кривые 1 и 2 вида  $q_{\text{пд}} = f(\xi_0)$  для первого и второго опыта соответственно (рис. 7). Анализ этих кривых показывает, что расчетное значение предельно допустимой нагрузки в первом случае соответствует величине коэффициента бокового давления  $\xi_0 \approx 0,82$ , а во втором случае  $\xi_0 \approx 0,55$ .

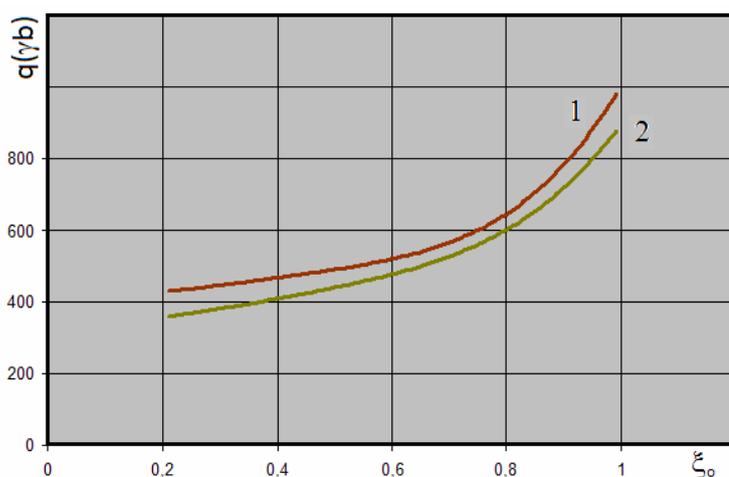


Рис. 7. Графические зависимости вида  $q_{\text{пд}} = f(\xi_0)$  для условий примера № 1 (1) и № 2 (2)

Отметим, что первое значение  $\xi_0$  соответствует глинистым грунтам [7], а второе — величине коэффициента бокового давления, получаемой при вычислении его значения по формуле Н. П. Пузыревского [8, 9].

Отметим также следующее: формула (16) СНиП 2.02.01—83\* получена в предположении, что  $\xi_0 = 1$ . Из графиков, приведенных на рис. 7, видно, что значения предельно допустимой нагрузки, вычисленной на основе смешанного решения, в первом случае на 33,6 %, а во втором на 46,6 % больше, чем вычисленные по формуле (16) СНиП 2.02.01—83\*.

### Выводы:

1. Результаты вычисления предельно допустимой нагрузки на основание в рамках смешанной задачи в случае гибкого ленточного фундамента зависят от физико-механических свойств грунтов ( $C$ ;  $\varphi$ ;  $\gamma$ ), величины коэффициента бокового давления  $\xi_0$  и ширины фундамента. В случае «жесткого» фундамента на получаемый результат будут оказывать влияние его толщина и отношение модуля деформации грунта к модулю упругости материала фундамента  $E_0 / E_\phi$ . Поэтому при решении таких задач следует назначать максимально достоверные численные значения переменных расчетных параметров.

2. Особое внимание следует уделять вопросу адекватного назначения граничных условий, накладываемых на расчетные конечно-элементные схемы, и при возможности обрабатывать их при помощи известных аналитических решений.

3. Численные значения величины предельно допустимой нагрузки, вычисленные на основе решения смешанной задачи, могут быть как больше, так и меньше значений, получаемых при помощи формулы (16) СНиП 2.02.01—83\*, что определяется наличием факторов, которые не учтены при выводе этой формулы: коэффициента бокового давления грунта, отношения  $E_0 / E_\phi$ , толщины фундамента. Поэтому говорить о том, что смешанное решение всегда обладает существенным запасом по сравнению с решением по СНиП, как это отмечается в [10, 11], представляется не вполне обоснованным. О таком запасе можно говорить лишь в том случае, когда расчетное значение  $\xi_0 \rightarrow 1$ .

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цветков В. К. Расчет рациональных параметров горных выработок. М.: Недра, 1993. 253 с.
2. Цветков В. К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград: Нижневолж. кн. изд-во, 1979. 238 с.
3. Цветков В. К. Расчет устойчивости однородных откосов при упругопластическом распределении напряжений в массиве горных пород // Известия вузов. Горный журнал. 1981. № 5. С. 45—52.
4. Богомолов А. Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь: ПГТУ, 1996. 150 с.
5. Устойчивость (напряженно-деформированное состояние): свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ: пат. Рос. Федерации № 2009613499 / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков; опубл. 18.12.2009, Бюл. № 23; заявл. 19.05.2009; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 30.06.2009. 1 с.
6. Устинова О. Е. К вопросу о несущей способности фундаментов на плотном песчаном основании // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2001. № 6. С. 16—17.
7. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978. 447 с.
8. Пузыревский Н. П. Расчеты фундаментов. Петроград: Институт путей сообщения, 1923.
9. Пузыревский Н. П. Теория напряженности землистых грунтов // Сборник трудов ЛИИПС. Вып. ХСІХ. 1929.
10. Пилягин А. В. Определение расчетного сопротивления оснований при различных схемах загрузки // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1998. № 4—5. С. 29—31.
11. Пилягин А. В. Определение расчетного давления на грунт основания жестких и гибких ленточных фундаментов при центральной и внецентренной нагрузке // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала: межвузовский сб. науч. тр. Пермь: ППИ, 1980. С. 3—17.

© Богомолов А. Н., Прокопенко А. В., 2015

Поступила в редакцию  
в феврале 2015 г.

**Ссылка для цитирования:**

Богомолов А. Н., Прокопенко А. В. Упругопластический расчет несущей способности основания незаглубленного фундамента (условия смешанной задачи) // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 4—16.

**Об авторах:**

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

**Прокопенко Алексей Васильевич** — аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**A. N. Bogomolov, A. V. Prokopenko**

**ELASTO-PLASTIC CALCULATION OF BEARING CAPACITY OF THE BASIS OF UNBURIED FOUNDATION (CONDITIONS OF MIXED TASK)**

On the basis of the results of computer modeling of the process of occurrence and development of the areas of limit soil state under conditions of mixed task the engineering method of calculation of maximum permissible load on the basis of the flexible tape foundation is offered. The method includes simple formulas and the schedule allowing to calculate limit pressure on the basis with such a degree of accuracy that is enough for practice. The authors provide the examples of comparison of the sizes of maximum permissible loads calculated by the formula of Construction Norms and Regulations and on the basis of the offered method. It is established that the values of maximum load given in Construction Norms and Regulations can be more or less than corresponding sizes received on the basis of mixed decision. For the examples considered in the work the values received by the authors were 33,6 and 46,6 % more provided that  $\xi_0 \rightarrow 1$ .

**К е у в о р д s:** mixed task of the elasticity theory and soil plasticity theory, mechanical and mathematical model of mixed task, areas of limit soil state, maximum permissible load on the basis, comparison of the results of calculations by Construction Norms and Regulations and the offered engineering method.

**REFERENCES**

1. Tsvetkov V. K. *Raschet ratsional'nykh parametrov gornykh vyrabotok* [Calculation of rational parameters of excavations]. Moscow, Subsoil Publ., 1993. 253 p.
2. Tsvetkov V. K. *Raschet ustoichivosti otkosov i sklonov* [Calculation of Stability of Slopes and Slants]. Volgograd, Lower Volga Region Publ., 1979. 238 p.
3. Tsvetkov V. K. [Calculation of Stability of Uniform Slopes at Elastic-Plastic Distribution of Tension in Rock Massif]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of Higher Education Institutions. Mountain Magazine], 1981, no. 5. pp. 45—52.
4. Bogomolov A. N. *Raschet nesushchei sposobnosti osnovanii sooruzhenii i ustoichivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoi postanovke* [Calculation of bearing capacity of foundations of constructions and stability of soil masses in elastoplastic position]. Perm, PGU Publ., 1996. 150 p.
5. Bogomolov A. N., Bogomolova O. A., Nestratov M. Yu., Nestratov N. N., Potapova N. N., Stepanov M. M., Ushakov A. N. *Ustoichivost' (napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie)* [Stability (stress-strain state)]. Patent RF, no. 2009613499, 2009.
6. Ustinova O. E. [To the Question of Bearing Capacity of Foundations on Solid Sand Base]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Soil Mechanics and Foundation Engineering], 2011, no. 6, pp. 16—17.
7. Vyalov S. S. *Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov* [Rheological Bases of Soil Mechanics]. Moscow, Vyshaya shkola, 1978. 447 p.
8. Puzyrevskii N. P. *Raschety fundamentov* [Design of Foundations]. Petrograd, Institute of Means of Communication Publ., 1923.

9. Puzyrevskii N. P. [Theory of Intensity of Earthy Soil]. *Sbornik trudov LIIPS* [Proc. of LIIPS], iss. XCIX. 1929.

10. Pilyagin A. V. [Calculation of bed strength for various loading schemes]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 35, iss. 4—5, pp. 133—137.

11. Pilyagin A. V. [Determination of Estimated Pressure on Soil of the Basis of Rigid and Flexible Tape Foundations at Central and Non-Central Loading]. *Osnovaniya i fundamenty v geologicheskikh usloviyakh Urala: mezhvuzovskii sb. nauch. tr.* [Bases and Foundations under Geological Conditions of the Urals. Interuniversity proc]. Perm, PPI Publ., 1980, pp. 3—17.

*For citation:*

Bogomolov A. N., Prokopenko A. V. [Elasto-plastic calculation of bearing capacity of the basis of unburied foundation (conditions of mixed task)]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 4—16. (In Russ.).

*About authors:*

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

**Prokopenko Aleksei Vasil'evich** — Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 625.745.12:691.342

**А. Б. Бондарев<sup>а</sup>, П. В. Борков<sup>б</sup>, Б. А. Бондарев<sup>б</sup>, В. А. Жариков<sup>в</sup>**

<sup>а</sup> ООО «ЛипецкНИЦСтройпроект»

<sup>б</sup> Липецкий государственный технический университет

<sup>в</sup> ООО «Барс»

## **РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Рассматривается проблема возникновения дефектов транспортных сооружений в результате влияния различных эксплуатационных факторов. Предложены варианты конструкций мостового полотна с использованием полимерных композиционных материалов, широко используемых в транспортном строительстве.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** полимерный композиционный материал, мостовое полотно, конструкция дорожной одежды.

Использование в зимний период для борьбы с гололедом песчано-солевых смесей и химических реагентов является одним из опасных факторов, влияющих на свойства материалов строительных конструкций дорожных сооружений. В результате такого влияния долговечность элементов конструкций мостов и путепроводов, плит проезжей части и всего сооружения в значительной степени снижается. Поскольку подавляющее большинство дорожных сооружений выполнены из бетона и железобетона, то в свойствах именно этих материалов наблюдаются существенные изменения.

Хлориды, свободно проникающие в бетон, подразделяются на три вида: свободные ионы хлорида, хлориды, тесно связанные с гидроксидом силиката кальция, хлориды в виде компаундов. Известно, что хлориды-компаунды не вызывают коррозии арматуры. Связанные хлориды могут оказывать и не оказывать агрессивного влияния на арматуру. Однако свободные ионы хлорида могут вызывать процесс коррозии. При этом хлориды сами по себе не являются причиной коррозии, они лишь создают коррозионную атмосферу. До применения NaCl для борьбы с гололедом проблем с коррозией не существует. Арматурная сталь не корродирует в железобетоне, изготовленном на портландцементе в связи с высоким рН (12...13). В результате высокого рН на поверхности арматуры образуется пленка, которая играет роль защитного покрытия. Попадая в бетон, растворимые хлориды приводят к нейтрализации защитной среды с высоким содержанием рН. Из-за нарушения нормальной пассивности стали и необходимой щелочности начинается процесс коррозии стали с увеличением объема материала. Это, в свою очередь, вызывает появление напряжений, которые превышают прочность бетона на растяжение, в результате чего в бетоне образуются трещины.

Для борьбы с этим явлением существует несколько способов. В настоящее время исследуются такие способы, как катодная защита, нейтрализация хлоридов и пропитка полимерами. Требование к антикоррозийной защите в предварительно напряженных плитах проезжей части сталежелезобетонных мостов должна быть выше, чем в конструкциях из обычного железобетона,

в связи с тем, что в предварительно напряженных конструкциях применяется гладкая арматура в виде проволок, в результате чего относительно малая потеря сечения оказывает большое влияние на несущую способность плит проезжей части. Кроме того, наличие в стали постоянно высоких растягивающих напряжений делает ее более восприимчивой к коррозии. Прочный непроницаемый бетон обычно является хорошей антикоррозийной защитой предварительно напряженной арматуры. Увеличение защитного слоя вплоть до определенных границ приводит к повышению защиты. Сравнительно тонкий слой тонкого и высокопрочного бетона может обеспечивать соответствующую защиту против карбонизации. Вполне очевидно, что с помощью соответствующих мер необходимо бороться с образованием трещин, нарушающих эту защиту [1, 2].

В настоящее время за рубежом находит все большее применение способ, который заключается в двухэтапной укладке бетона, когда вначале укладывается слой из обычного бетона, а затем устраивается слой плотного бетона. В нашей стране и странах СНГ получил широкое применение способ использования модифицированных фурановых смол для гидроизоляционных и антикоррозийных мероприятий плит проезжей части мостов и путепроводов, который будет изложен ниже.

Характер, параметры, расположение и размеры дефектов определялись в результате технического обследования мостов и путепроводов, выполненного в 2008—2010 годах. Основные дефекты элементов конструкций мостового полотна приведены в табл. 1.

*Основные дефекты элементов конструкций мостового полотна*

Элементы мостового полотна	Дефекты	Процентное соотношение дефектов, %
Покрытие	Трещины	25,0
	Неровности	30,0
	Разрушения	10,0
	Одиночные выбоины	10,0
	Частные выбоины	15,0
	Разрушение покрытия и нижележащих слоев (защитного слоя и др.)	9,0
	Отсутствие покрытия	1,0
Гидроизоляция	Одиночные точечные протечки в плитах снизу	10,0
	Локальные протечки	30,0
	Протечки по плитам	60,0
Система водоотвода	Застой воды на ездовом полотне	10,0
	Застой воды на тротуаре	5,0
	Отсутствие уклонов	20,0
	Дефекты водоотводных трубок	25,0
	Дефекты организованного продольного стока воды	14,0
	Нарушение водосброса на подходах	10,0
Деформационные швы	Дренаж	16,0
	Нарушение герметичности	70,0
	Нарушение плавности проезда	30,0

Оценка фактического состояния материалов эксплуатируемых элементов конструкций, проводимая традиционными методами, достаточно подробно изложена в нормативной литературе (лабораторные, неразрушающие методы и т. д.), а транспортно-эксплуатационные состояния мостового полотна определяются по ОДН 218.017-03.

Проблема гидроизоляции и антикоррозионной защиты гидротехнических, транспортных и промышленно-гражданских сооружений из бетона и железобетона многие десятилетия продолжает оставаться на повестке дня ученых и производственников.

Существующие решения, основанные на применении битумов, дегтей, жидкого стекла и некоторых видов полимерных материалов, по разным причинам не могут удовлетворить возрастающие требования к современным сооружениям. В первую очередь это несоизмеримо короткий срок службы традиционных изоляционных материалов, по существу покрытия на их основе могут считаться надежными 5, максимум 15 лет. В то же время для эксплуатируемых подземных и большинства напорных сооружений восстановление или устройство новой изоляции — практически неразрешимая проблема. Кроме того, материалы на основе битума, некоторых полимеров и т. п. склонны к трещинообразованию при низких температурах, а при повышенных температурах они размягчаются и оплывают. Для этих материалов существуют сезонные ограничения по возможности ведения работ, кроме того, «горячие» процессы всегда осложняют технологию устройства изоляции. По названным причинам еще большие трудности возникают при необходимости ремонта самих железобетонных конструкций (трещины, нарушение защитного слоя в железобетоне, коррозионное разрушение бетона и т. д.), поскольку эти работы приходится вести без вывода сооружения из эксплуатации [3, 4].

В мировой практике большие надежды возлагаются на полимерные материалы, в первую очередь эпоксидные и их модификации (эпоксидно-каменноугольные, эпоксидно-каучуковые и т. д.). Но и здесь, как показал достаточно солидный опыт, объективные трудности связаны с высокой стоимостью эпоксидных компаундов, трудностями в технологии (высокая вязкость смол), а также их хрупкостью.

Эпоксидные компаунды не обладают хорошей адгезией к влажному основанию, в то же время для напорных и подземных эксплуатируемых сооружений исключить влажность зачастую практически нереально.

Решая указанную проблему, И. М. Елшин, Р. М. Окопова на основе глубоких научных исследований и широкого собственного опыта производственного внедрения поэтапно осуществляли следующую стратегическую задачу, связанную с созданием новых изоляционных материалов [3, 5, 6]:

1. В качестве основы должны быть найдены относительно дешевые, с практически неограниченными сырьевыми возможностями полимерные смолы отечественного производства.

2. Новые материалы должны обладать хорошими строительно-технологическими свойствами, позволяющими с использованием простейшего оборудования осуществлять устройство лакокрасочных мастичных и полимербетонных покрытий в зависимости от требований проекта.

3. Кроме известных основных требований к изоляционным материалам (трещиностойкость, непроницаемость, водо- и морозостойкость, прочность,

устойчивость к агрессивным средам и т. д.), последние должны также обладать хорошей адгезией к сухому и водонасыщенному бетону, а также отверждаться в среде с высокой влажностью.

4. Новые материалы должны удовлетворять возрастающим требованиям противопожарной безопасности, низкой токсичности и экологической совместимости с окружающей природной средой.

Решив указанную стратегическую задачу по созданию новых композиционных материалов, они сумели существенно расширить области применения этих материалов, в частности при решении уникальных задач по инъекционному уплотнению и упрочнению дефектных или ослабленных со временем конструкций из бетона, железобетона, кирпича и камня. Большой опыт внедрения этих разработок на многих производственных объектах в разных регионах СНГ оказались весьма успешными [4].

В качестве основы при решении всех упомянутых выше задач был принят фурфуrolацетоновый мономер ФАМ, созданный, как известно, в середине 1950-х годов группой ученых-химиков Московского НИИ пластмасс (Н. Н. Остер-Волков, В. И. Итинский, И. В. Каменский и др.).

В 1959 г. под руководством И. М. Елшина полимербетон, изготавливаемый на основе фурановых смол, как материал высокой износостойкости применен взамен металла и камня в качестве защитных облицовок на горных плотинах Средней Азии, Закавказья и Казахстана [3].

Полимербетоны и мастики на основе этих смол начиная с 1960-х годов нашли на территории СССР также широкое применение в антикоррозионной технике и при защите строительных конструкций от коррозии в условиях высокой химической агрессии окружающей среды (Н. А. Мощанский, С. С. Давыдов, А. М. Иванов, В. В. Патуроев, И. М. Елшин и др.).

Однако материалы на основе ФАМ, характеризующиеся кислой средой, отверждаемые компонентами, растворимыми в воде, и обладающие высокой усадкой, не могли применяться в качестве тонкостенных покрытий, т. к. они характеризовались низкой трещиностойкостью, плохой адгезией к сухому бетону и полным отсутствием таковой к влажному бетону.

Они по тем же причинам не могли быть инъектированы в тело бетона, т. к. их применение в качестве гидроизоляционных лакокрасочных и мастичных покрытий по бетону практически нереально, также негодны они для упрочнения и уплотнения дефектного бетона.

Необходимо было с целью «прививки» мономеру ФАМ нужных качеств попытаться модифицировать его другими смолами и в этом случае отказаться от применения кислых отвердителей, заменив их щелочными или нейтральными. Снижение внутренних напряжений в модифицированной фурановой смоле шло по пути пластификации, в частности нитрильными каучуками. Следует заметить, что попытка существенно релаксировать напряжения в отвержденном мономере ФАМ, не содержащим модификатора, при широком диапазоне различных пластификаторов оказалась безуспешной.

Итогом указанного многолетнего поиска, выполненного под руководством И. М. Елшина большим количеством ученых и аспирантов (Р. М. Окопова, Ю. М. Маматов, Х. С. Абдужабаров, С. А. Мурзаханова, Е. Н. Талденкова, Л. Н. Киселев, Н. Н. Адамова, Л. Н. Власова, Н. Ханов), были модифицированные фурановые смолы типа ФАЭД и ФАЭИС, модификатором

которых служили диановые эпоксидные или алкилрезорциновые смолы, отвердителем — обычно применяемые щелочные или нейтральные отвердители для эпоксидных смол аминного ряда (полиэтиленполиамин, кубовые остатки гексаметилендиамина), а в качестве пластификатора — жидкие нитрильные каучуки [3, 5, 6].

При этом были решены следующие принципиальные задачи:

1. В качестве основного компонента смол ФАЭД и ФАЭИС используется одна из самых дешевых и доступных смол (ФА или ФАМ), количество которой в модифицированной смоле составляет не менее 70 %.

2. Новые смолы обладают низкой вязкостью и могут использоваться для окрасочных работ с применением обычных инструментов (кисти, валики) или оборудования (воздушные пистолеты), не требуя предварительного разогрева и использования растворителей.

3. Пластификация указанных смол каучуками, снижая внутреннее напряжение, позволяет осуществлять лакокрасочную изоляцию без ее армирования (волокон, тканей и т. д.)

4. Смолам ФАЭД и ФАЭИС за счет модификации «привиты» новые свойства, которые присущи как мономеру ФАМ, так и эпоксидным смолам, то есть возможность укладки на влажное основание, сцепление с бетоном. Практической реализацией настоящих исследований явилась замена существующей конструкции проезжей части автодорожных мостов и путепроводов, состоящей из выравнивающего слоя бетона толщиной 30 мм; слоя гидроизоляции толщиной 15 мм; защитного слоя гидроизоляции толщиной 60 мм. На устройство антикоррозийного и износостойкого покрытия из полимерного композиционного материала на основе модифицированной смолы ФАЭИС-30.

Для элементов конструкций фундаментов для станков, работающих в условиях циклического нагружения, рекомендуется использовать полиэфирный полимербетон ПН-609-21М (МРТУ № 6-05-1306-70) [7], а в конструкциях шпал лесовозных и железных дорог общего пользования предлагается использовать древесностекловолоконный композиционный материал на основе смолы ФАМ (ТУ 6-05-211-1313-84) [8—11].

Полимерные композиционные материалы широко используются в транспортном строительстве (при ремонте автомобильных дорог, элементов конструкций мостов, путепроводов, эстакад, аэродромных сооружений) [12]. Из исследованных в работе ПКМ наиболее предпочтительные в технологическом и экономическом аспектах являются разработанные в 1970—1990 годах И. М. Елшиным [3, 5], Р. М. Окоповой [6] материалы, которые отличаются от других видов композиционных материалов высокой технологичностью, повышенной трещиностойкостью, способностью к отверждению как в сухой, так и во влажной среде. Рекомендуемыми материалами для ремонта элементов конструкций плит проезжей части являются:

фурано-эпоксидная смола ФАЭИС-30 (ТУ 6-05-211-1313-84), получаемая путем смешивания фурфуролацетонового мономера ФАМ (ТУ 2453-001-08468234-01) с алкилрезорциновой смолой ЭИС-1 (ТУ 38-109-1-71) или АРЭМ-2-20. Соотношение смол — 70:30 в массовых частях. Аналогичными свойствами обладает смола ФАЭД-30, получаемая смешиванием при подогреве на водяной бане мономера ФАМ с диановой эпоксидной смолой ЭД-20 (ГОСТ 10587-84);

пластификатор, жидкий нитрильный каучук СКН-18-1А или СКН-26-1А (ТУ 38.303-01-41-92);

отвердитель, полиэтиленполиамин (ТУ 2413-214-00203312-2002) или кубовые остатки гексаметилендиамина (ТУ 6-05-211-1388-84);

стеклоткань Т-10, Т-11, Т-13.

Смола ФАЭИС-30 — низковязкая темно-коричневая жидкость, характеризующаяся следующими показателями:

плотность —  $1,14 \text{ г/см}^3$ ;

вязкость (по ВЗ-4) — 26 с;

содержание сухого остатка — 82 %;

скорость желатинизации при  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  с 20 % ПЭПА — 266 с.

Количество отвердителя (ПЭПА) в смоле ФАЭИС-30 определялось с учетом необходимой жизнеспособности и степени отверждения композиции. Образцы для испытаний на выносливость изготавливались по традиционной технологии с использованием фурано-эпоксидных композиций ФАЭИС-30.

На рис. 1 приведена конструкция мостового полотна транспортного сооружения, состоящая:

из выравнивающего слоя бетона толщиной 30 мм;

слоя гидроизоляции толщиной 15 мм;

защитного слоя гидроизоляции толщиной 60 мм;

двухслойного асфальтобетонного покрытия толщиной 100 мм.

Также как вариант предлагается исключить слои дорожной одежды (защитный слой гидроизоляции, слой гидроизоляции, выравнивающий слой) и заменить эту конструкцию на трещиностойкое покрытие, выполненное на основе смолы ФАЭИС-30. Конструкция дорожной одежды мостового полотна с применением этой технологии приведена на рис. 2.

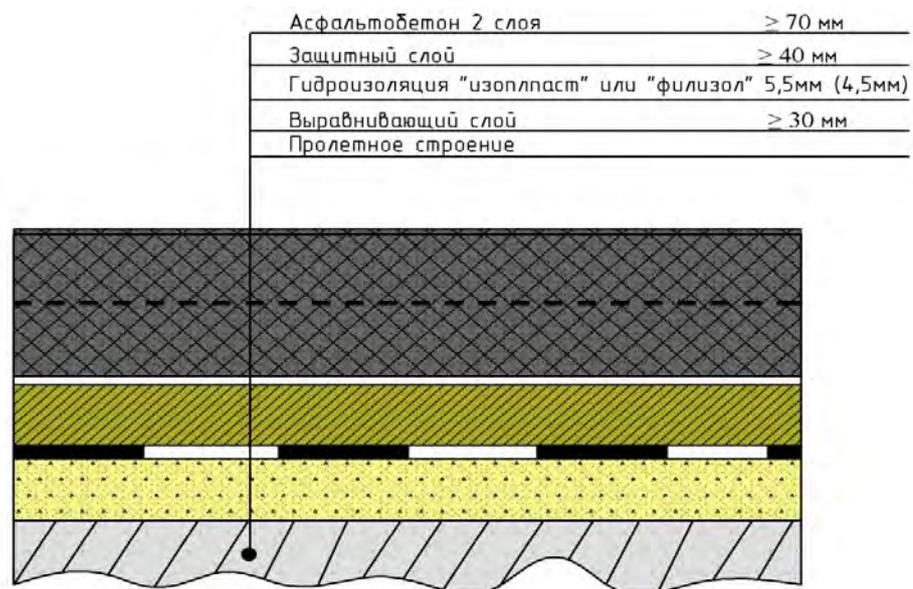


Рис. 1. Конструкция дорожной одежды мостового полотна (I вариант)

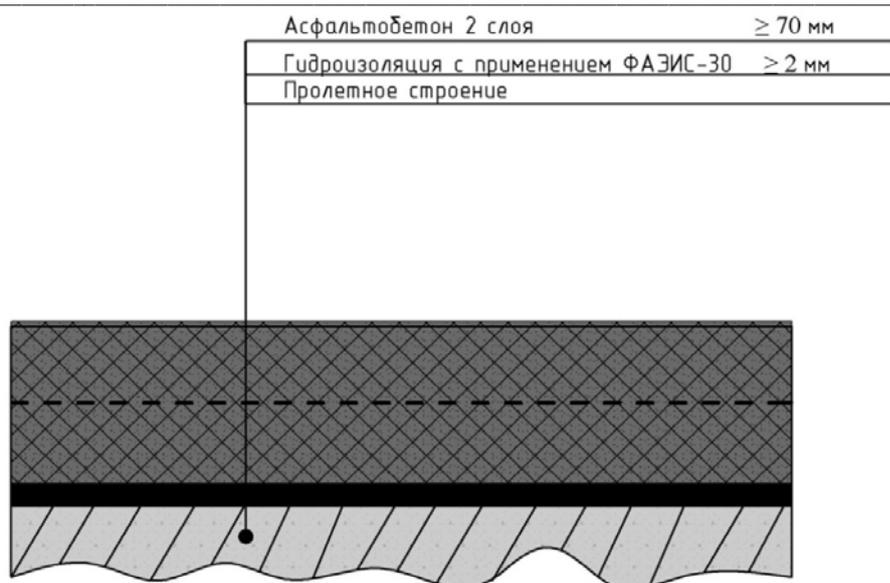


Рис. 2. Конструкция дорожной одежды мостового полотна (II вариант)

Себестоимость работ при внедрении подобных решений будет несколько выше по сравнению с традиционными, но это будет оправданно, поскольку позволит не только увеличить межремонтные сроки для конструкций транспортных сооружений, но и повысить долговечность и работоспособность указанных объектов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brown D. Bridge deck deterioration some solutions to the problem // Modern Plastics. 1983. V. 34. № 10. P. 163—168.
2. Лившиц Я. Д., Виноградский Д. Ю., Руденко Ю. Д. Автодорожные мосты (проезжая часть). Киев : Будивельник, 1980. 159 с.
3. Елишин И. М. Полимербетоны в гидротехническом строительстве. М. : Стройиздат, 1980. 192 с.
4. Ерофеев А. Н., Беляев В. Е., Книппенберг А. К. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных, полимербетонных и сталеполимербетонных конструкций на полиэфирных смолах ПН-1: отчет по науч.-исслед. работе. Липецк, 1970. 161 с.
5. Елишин И. М. Полимербетоны в гидротехническом строительстве // Бетон и железобетон. 1984. № 8. С. 18—21.
6. Окопова Р. М. Опыт ремонта бетонных и железобетонных облицовок мелиоративных систем полимерными материалами // Экспресс-информация ЦНТИ / Минводхоз СССР. 1976. Вып. 4. 3 с.
7. Богдановский Д. Л. Исследование диссипативных свойств полимербетонов : автореф. дис... канд. техн. наук. Липецк, 1998. 140 с.
8. Армополимербетоны в транспортном строительстве / В. И. Клюкин, Л. Ф. Кочнева, Л. М. Масеев, Ю. Б. Потапов, В. И. Соломатов. М. : Транспорт, 1979. 231 с.
9. Выносливость композиционных материалов в конструкциях железнодорожных шпал / Б. А. Бондарев, В. И. Харчевников, А. Д. Корнеев, А. В. Беляев, П. В. Комаров. Липецк : ЛГТУ, 2002. 220 с.
10. Долговечность композиционных материалов на основе отходов древесины в конструкциях специального назначения / Б. А. Бондарев, В. И. Харчевников, Т. Н. Стородубцева, П. В. Комаров. Липецк : ЛГТУ, 2007. 200 с.

11. Древесностекловолокнистые композиционные шпалы / В. И. Кондращенко, В. И. Харчевников, Т. Н. Стородубцева, В. А. Бондарев; под В. И. Харчевникова. М. : Спутник +, 2009. 311 с.

12. Платонов А. П. Полимерные материалы в дорожном и аэродромном строительстве. М. : Транспорт, 1994. 152 с.

© Бондарев А. Б., Борков П. В., Бондарев Б. А., Жариков В. А., 2015

Поступила в редакцию  
в ноябре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Ремонт и восстановление элементов конструкций транспортных сооружений с использованием полимерных композиционных материалов / А. Б. Бондарев, П. В. Борков, Б. А. Бондарев, В. А. Жариков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 17—25.

Об авторах:

**Бондарев Александр Борисович** — канд. техн. наук, генеральный директор, ООО «Липецк-НИЦСтройпроект», [Talex\\_86@mail.ru](mailto:Talex_86@mail.ru)

**Борков Павел Валерьевич** — канд. техн. наук, доцент, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, [borkovpv@mail.ru](mailto:borkovpv@mail.ru)

**Бондарев Борис Александрович** — д-р техн. наук, проф., проф. кафедры строительных материалов и конструкций, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, [LNSP-48@mail.ru](mailto:LNSP-48@mail.ru)

**Жариков Виктор Алексеевич** — главный инженер, ООО «Барс». Российская Федерация, 398902, г. Липецк, ул. Ударников, 38, [viktor\\_bars@inbox.ru](mailto:viktor_bars@inbox.ru)

**A. B. Bondarev, P. V. Borkov, B. A. Bondarev, V. A. Zharikov**

## REPAIR AND RESTORATION OF DESIGN ELEMENTS OF TRANSPORT FACILITIES USING POLYMER COMPOSITE MATERIALS

We consider the problem of emergence of defect transport facilities as a result of the impact of various operational factors. The variants of the bridge floor using polymer composite materials are widely used in transportation construction.

**К е у w o r d s:** polymeric composite material, bridge floor, pavement design.

### REFERENCES

1. Brown D. Bridge deck deterioration some solutions to the problem. *Modern Plastics*, 1983, 34(10), pp. 163—168.
2. Livshits Ya. D., Vinogradskii D. Yu., Rudenko Yu. D. *Avtodorozhnye mosty (proezhaya chast')* [Road Bridges (Carriageway)]. Kiev, Budivelnik Publ., 1980. 159 p.
3. Elshin I. M. *Polimerbetony v gidrotekhnicheskoy stroitel'stve* [Polymer Concrete in Hydrotechnical Construction]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1980. 192 p.
4. Erofeev A. N., Belyaev V. E., Knippenberg A. K. *Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh, polimerbetonnykh i stalepolimerbetonnykh konstruksii na poliefirnykh smolakh PN-1: otchet po nauch.-issled. rabote* [Research of the Stress Strain State of Reinforced Concrete, Polymer Concrete and Steel Polymer Concrete Constructions on Polyester PN-1 Pitches: the report on R&D work]. Lipetsk, 1970. 161 p.
5. Elshin I. M. [Polymer Concrete in Hydrotechnical construction]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 1984, no. 8, pp. 18—21.
6. Okopova R. M. [Experience of Repair of Concrete and Reinforced Concrete Lining of Melioration Systems by Polymeric Materials]. *Ekspress-informatsiya TsNTI* [Express-Information TsNTI], 1976, iss. 4, 3 p.

7. Bogdanovskii D. L. *Issledovanie dissipativnykh svoystv polimerbetonov* [Research of Dissipative Properties of Polymer Concrete. Dis. Cand. Eng. Sci.]. Lipetsk, 1998. 140 p.
8. Klyukin V. I., Kochneva L. F., Maseev L. M., Potapov Yu. B., Solomatov V. I. *Armopolimerbetony v transportnom stroitel'stve* [Reinforced Polymer Concrete in Transport Construction]. Moscow, Transport Publ., 1979. 231 p.
9. Bondarev B. A., Kharchevnikov V. I., Korneev A. D., Belyaev A. V., Komarov P. V. *Vynoslivost' kompozitsionnykh materialov v konstruktivnykh zheleznodorozhnykh shpal* [Resistance of Composite Materials in Constructions of Railway Cross Ties]. Lipetsk, LGTU Publ., 2002. 220 p.
10. Bondarev B. A., Kharchevnikov V. I., Storodubtseva T. N., Komarov P. V. *Dolgovechnost' kompozitsionnykh materialov na osnove otkhodov drevesiny v konstruktivnykh spetsial'nogo naznacheniya* [Durability of Composite Materials on the Basis of Wood Waste in Constructions with a Special Purpose]. Lipetsk, LGTU Publ., 2007. 200 p.
11. Kondrashchenko V. I., Kharchevnikov V. I., Storodubtseva T. N., Bondarev V. A. (Kharchevnikov V. I., ed.). *Drevesnosteklovoloknistye kompozitsionnye shpaly* [Wood Glass Fiber Composite Cross Ties]. Moscow, Sputnik+, 2009. 311 p.
12. Platonov A. P. *Polimernye materialy v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve* [Polymeric Materials in Road and Airfield Construction]. Moscow, Transport Publ., 1994. 152 p.

*For citation:*

Bondarev A. B., Borkov P. V., Bondarev B. A., Zharikov V. A. [Repair and restoration of design elements of transport facilities using polymer 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], 2015, iss. 39(58), pp. 17—25. (In Russ.).

*About authors:*

**Bondarev Aleksandr Borisovich** — Candidate of Engineering Science, Director General, "LipetskNITsStroi-proekt", Ltd, [Talex\\_86@mail.ru](mailto:Talex_86@mail.ru)

**Borkov Pavel Valer'evich** — Candidate of Engineering Science, Docent, Lipetsk State Technical University, 30, Moskovskaya St., Lipetsk, 398600, Russian Federation, [borkovpv@mail.ru](mailto:borkovpv@mail.ru)

**Bondarev Boris Aleksandrovich** — Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Construction Materials and Structures Department, Lipetsk State Technical University, 30, Moskovskaya St., Lipetsk, 398600, Russian Federation, [LNSP-48@mail.ru](mailto:LNSP-48@mail.ru)

**Zharikov Viktor Alekseevich** — Chief Engineer, "Bars", Ltd. 38, Udarnikov St., Lipetsk, 398902, Russian Federation, [viktor\\_bars@inbox.ru](mailto:viktor_bars@inbox.ru)

УДК 533.6:711.582

**А. Ф. Жарков, О. Г. Чеснокова**

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

### **АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОДУВ КВАРТАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ**

Представленная статья освещает результаты расчета на аэродинамический продув квартальной застройки. Задача решалась с использованием программных комплексов Ansys Fluent и AutoDesk Simulation CFD. В результате расчетов получены профили и поля распределения скоростей. Задача представляет собой систему связанных дифференциальных уравнений неизотермального однофазного потока жидкости с большим числом Рейнольдса в квазистационарном режиме.

**Ключевые слова:** аэродинамический продув квартальной застройки, неизотермальный поток жидкости в квазистационарном режиме, архитектурно-конструктивное проектирование.

В случаях, не предусмотренных типовыми схемами зданий и сооружений, строительные нормы допускают определение аэродинамических коэффициентов путем продувок в аэродинамической трубе или методами компьютерного моделирования. Оба метода имеют свои недостатки. Для физического моделирования это необходимость масштабирования модели с последующим приближенным пересчетом данных на натуральный масштаб, влияние стенок трубы, трудности моделирования ветрового профиля и, наконец, чрезвычайно высокая стоимость детальных измерений полей давления по всем участкам сложной конструкции. Для математического моделирования в настоящее время это погрешности расчета, связанные, главным образом, с использованием эмпирических моделей турбулентности и, в некоторых случаях, с недостатком точности числовых моделей, вызванным ограничениями вычислительных ресурсов [1].

Данная задача представляет собой систему связанных дифференциальных уравнений неизотермального однофазного потока жидкости с большим числом Рейнольдса в квазистационарном режиме [2, 3]. При решении использовалась модель  $k-\varepsilon$  турбулентной кинетической энергии  $k$  и степени диссипации  $\varepsilon$  (1—7).

$$\rho(u\nabla)u = \nabla \left[ -\rho I + (\mu + \mu_T)(\nabla u + (\nabla u)^T) - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla u)I - \frac{2}{3}\rho k I \right] + F;$$

$$\nabla(\rho u) = 0;$$

$$\rho(u\nabla)k = \nabla \left[ \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho\varepsilon;$$

$$\rho(u\nabla)\varepsilon = \nabla \left[ \left( \mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_{e1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{e2} \frac{\varepsilon^2}{k} \rho, \quad \varepsilon = \varepsilon p;$$

$$\begin{aligned} \mu_T &= \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}; \\ P_k &= \mu_T \left[ \nabla u (\nabla u + (\nabla u)^T) - \frac{2}{3} (\nabla u)^2 \right] - \frac{2}{3} \rho k \nabla u; \\ \rho C_p u \nabla T &= \nabla (k \nabla T) + Q + Q_{vh} + W_p. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $u$  — проекции вектора скорости воздуха, м/с;  $p$  — давление воздуха, Па;  $T$  — температура, К;  $c_p$  — удельные теплоемкости воздуха при постоянном давлении, Дж/кгК;  $\mu$  — динамическая вязкость, Па·с;  $\mu_t$  — турбулентная (вихревая) вязкость;  $\mu_e$  — эффективная вязкость;  $k$  — коэффициент теплопроводности;  $k_t$  — турбулентная теплопроводность;  $k_e$  — эффективная теплопроводность;  $k$  — кинетическая энергия турбулентности;  $\varepsilon$  — скорость диссипации кинетической энергии турбулентности.

Гидродинамическими граничными условиями для системы уравнений являются [4—9]:

- условия на входе;
- условия симметрии;
- условия прилипания;
- условия на выходной границе.

Тепловые граничные условия формируются следующим образом. На входе задается температура воздушного потока  $T = 293$  К. Границы считаются адиабатическими стенками и на них должно выполняться естественное условие Неймана, где  $n$  — нормаль к соответствующей границе.

Граничные условия для рассматриваемой краевой задачи довольно просты. С наветренной стороны расчетной области ставится условие на входной поток (задается профиль ветра), на поверхности земли и объектов ставится условие стенки (с заданной шероховатостью), на остальные области накладываются мягкие граничные условия, соответствующие невозмущенному потоку.

Граничные условия для изолированных поверхностей:

$$n(-k \nabla T) = 0. \quad (2)$$

Граничные условия для пограничного слоя:

$$\begin{aligned} u \cdot n &= 0; \\ \left[ (\mu + \mu_t) (\nabla u + (\nabla u)^T) - \frac{2}{3} (\mu + \mu_t) (\nabla u) I - \frac{2}{3} \rho k I \right] n &= -\rho \frac{u_\tau}{\delta_w^+} u_{\text{tang}}; \\ u_{\text{tang}} &= u - (u \cdot n) n; \\ \nabla k \cdot n &= 0, \varepsilon = \rho \frac{C_\mu k^2}{k_v \delta_w^+ \mu}. \end{aligned} \quad (3)$$

Граничные условия для скорости воздуха и массового расхода на входе:

$$u = -u_0 n;$$

$$k = \frac{2}{3}(U_0 \ell_T)^2; \quad \varepsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{L_T}, \quad (4)$$

где  $L_T$  — шкала длины турбулентности, м;  $\ell_T$  — интенсивность турбулентности (в долях 1).

Граничные условия для воздуха на выходе:

$$\left[ -\rho I + (\mu + \mu_T)(\nabla u + (\nabla u)^T) - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla \cdot u)I - \frac{2}{3}\rho k I \right] n = -f_0 n. \quad (5)$$

$$\nabla k \cdot n = 0; \quad \nabla \varepsilon \cdot n = 0.$$

Граничные условия для симметрии потоков:

$$u \cdot n = 0; \quad K - (K \cdot n)n = 0.$$

$$K = \left[ (\mu + \mu_T)(\nabla u + (\nabla u)^T) - \frac{2}{3}\rho k I \right] n. \quad (6)$$

$$\nabla k \cdot n = 0; \quad \nabla \varepsilon \cdot n = 0.$$

Граничные условия для внутренних стен:

$$u_u \cdot n = 0.$$

$$\left[ (\mu_u + \mu_{T,u})(\nabla u_u + (\nabla u_u)^T) - \frac{2}{3}(\mu_u + \mu_{T,u})(\nabla \cdot u_u)I - \frac{2}{3}\rho_u k_u I \right] (-n) = \rho_u \frac{u_{\tau u}}{\delta_{w,u}^+} u_{\text{tang},u}.$$

$$u_{\text{tang},u} = u_u - (u_u \cdot n)n.$$

$$\nabla k_u \cdot u = 0; \quad \varepsilon_u = -\rho_u \frac{C_\mu k_u^2}{k_u \delta_{w,u}^+ \mu_u}. \quad (7)$$

$$u_d \cdot n = 0.$$

$$\left[ (\mu_d + \mu_{T,d})(\nabla u_d + (\nabla u_d)^T) - \frac{2}{3}(\mu_d + \mu_{T,d})(\nabla \cdot u_d)I - \frac{2}{3}\rho_d k_d I \right] n = -\rho_d \frac{u_{\tau d}}{\delta_{w,d}^+} u_{\text{tang},d}.$$

$$u_{\text{tang},d} = u_d - (u_d \cdot n)n.$$

$$\nabla k_d \cdot u = 0; \quad \varepsilon_d = -\rho_d \frac{C_\mu k_d^2}{k_d \delta_{w,d}^+ \mu_d}.$$

Необходимо отметить, что постановка задачи должна быть трехмерной. Упрощение модели до двумерной приводит к значительным ошибкам в определении величины давления на поверхности модели. Данные ошибки связаны с трехмерной природой турбулентности потока и нестационарностью отрыва при больших числах Рейнольдса.

Данная задача решалась с использованием программных комплексов Ansys Fluent и AutoDesk Simulation CFD с ветровым давлением для 3-го района (38 кг/м<sup>2</sup>). В результате расчетов получены профили и поля распределения скоростей, показанные на рис. 1 и 2.

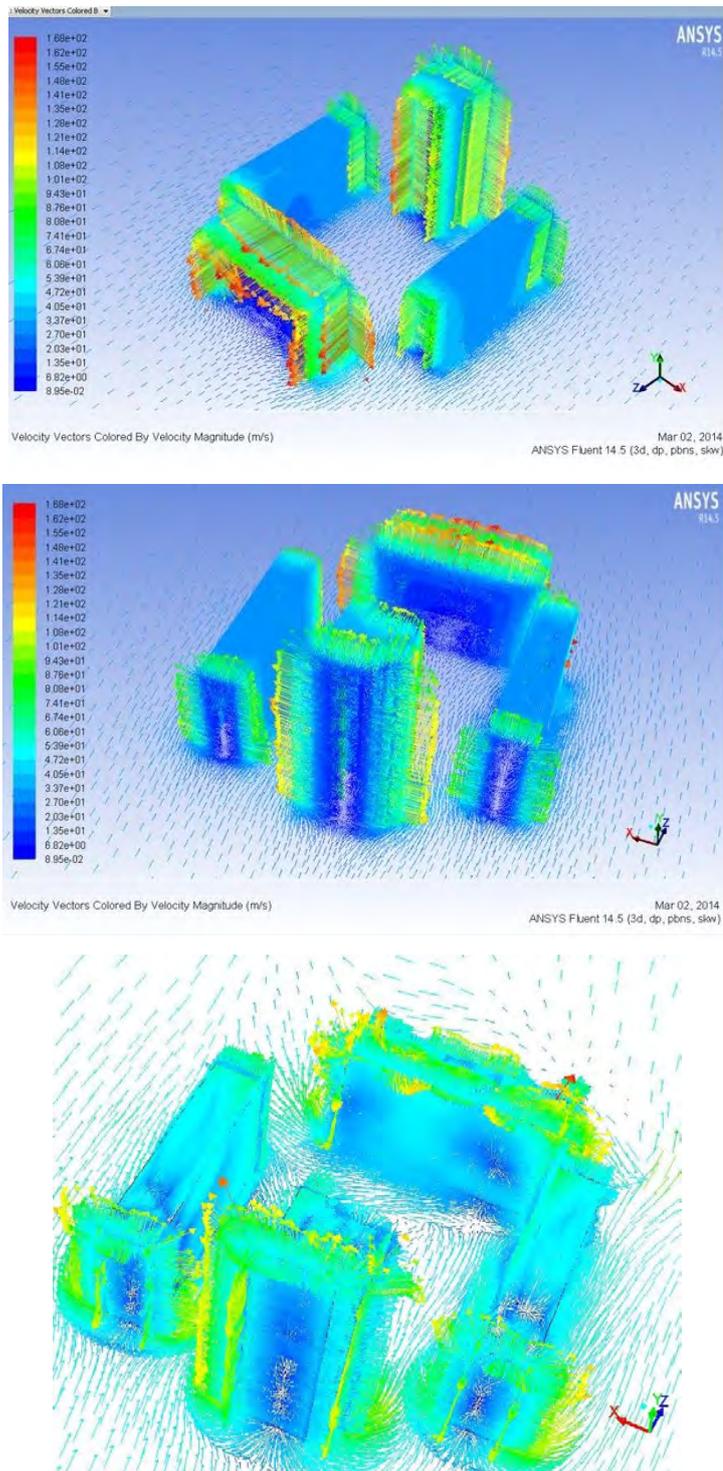


Рис. 1. Распределение поля скоростей, м/с. Максимальная скорость в зоне турбулентности составляет 168 м/с (605 км/ч, почти половину звуковой скорости) при разбиении на КЭ размером 0,1 м

Согласно СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*, нормативное значение ветрового давления  $w_0$  принимается в зависимости от ветрового района по табл. 1. Нормативное значение ветрового давления допускается определять в установленном порядке на основе данных метеостанций Росгидромета. В этом случае  $w_0$ , Па, следует определять по формуле

$$w_0 = 0,43v_{50}^2,$$

где  $v_{50}^2$  — давление ветра, соответствующее скорости ветра, м/с, на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А (11.1.6), определяемой с 10-минутным интервалом осреднения и превышаемой в среднем один раз в 50 лет (табл. 2, рис. 2).

Таблица 1

СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».  
Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85\*

Ветровые районы (принимаются по карте 3 приложения Ж)	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
	$w_0$ , кПа	0,17	0,23	0,30	0,38	0,48	0,60	0,73

Таблица 2

Зависимость давления от скорости ветра,  
вычисленная по формуле (11.3) СП 20.13330.2011

Скорость ветра		Давление		
км/ч	м/с	Па	кПа	кг/м <sup>2</sup>
10	2,78	3,32	0,00	0,33
30	8,33	29,86	0,03	2,99
50	13,89	82,95	0,08	8,29
70	19,44	162,58	0,16	16,26
80	22,22	212,35	0,21	21,23
100	27,78	331,79	0,33	33,18
120	33,33	477,78	0,48	47,78
150	41,67	746,53	0,75	74,65
200	55,56	1327,16	1,33	132,72
250	69,44	2073,69	2,07	207,37
300	83,33	2986,11	2,99	298,61
350	97,22	4064,43	4,06	406,44
<b>360</b>	<b>100,00</b>	4300,00	4,30	<b>430,00</b>
400	111,11	5308,64	5,31	530,86
450	125,00	6718,75	6,72	671,88
500	138,89	8294,75	8,29	829,48
605	<b>168,06</b>	12144,35	12,14	<b>1214,43</b>
700	194,44	16257,72	16,26	1625,77

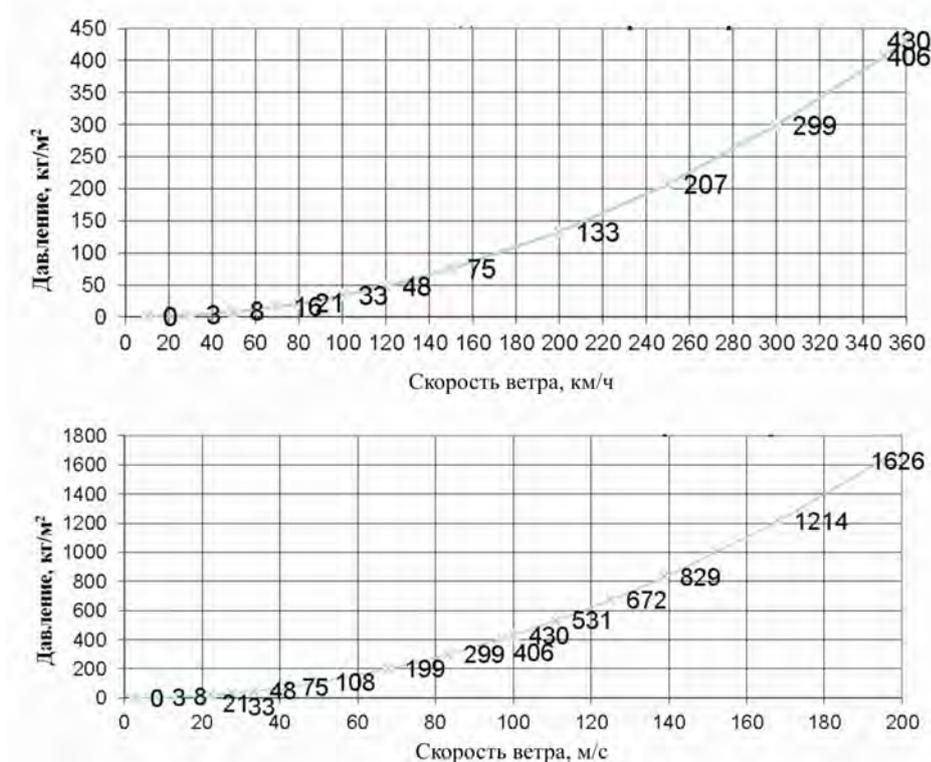


Рис. 2. Зависимость давления от скорости ветра

Таким образом, мы видим, что скорость потока на несущие конструкции зданий в зоне турбулентности, в местах перелома поверхностей, достигает 168 м/с (605 км/ч). Давление при этом составляет 1214 кг/м<sup>2</sup> (0,12 атм, 1,2 т/м<sup>2</sup>).

При этом следует отметить, что максимальная зона давления в приведенном расчете составляет полосу шириной 0,1 м. При решении данной задачи минимальный размер КЭ в пограничном слое составил 0,1 м, что привело к общему числу КЭ более 1 миллиона и значительным машинным ресурсам — более 10 часов.

При разбиении сетки КЭ для зданий в пограничном слое с размерами 0,25 м получена максимальная скорость потока в 72 м/с. Давление при этом составляет 224 кг/м<sup>2</sup> (0,224 т/м<sup>2</sup>).

При разбиении сетки КЭ для зданий в пограничном слое с размерами 0,5 м получена максимальная скорость потока в 50 м/с. Давление при этом составляет 107,5 кг/м<sup>2</sup> (рис. 3).

Таким образом, значение аэродинамического коэффициента в угловых зонах по СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*, равное  $C_x = 2$ , является заниженным.

Результаты расчетов, а также аэродинамические продувы строительных конструкций [10—13], указывают, что нормативный документ СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* в части аэродинамических коэффициентов следует уточнить.

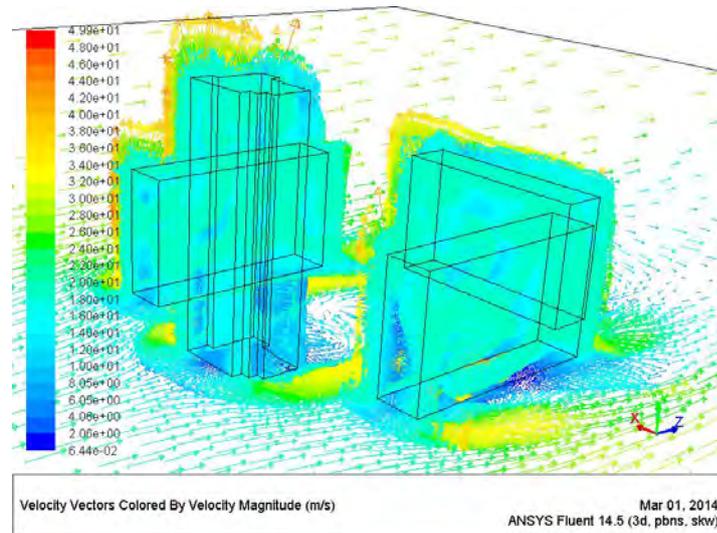


Рис. 3. Распределение поля скоростей, м/с. Максимальная скорость в зоне турбулентности составляет 50 м/с (180 км/ч) при разбиении на КЭ в пограничной зоне размером 0,5 м

Для сооружений повышенного уровня ответственности, а также во всех случаях, не предусмотренных Д.1 приложения Д СП 20.13330.2011, необходим учет влияния рядом стоящих зданий и сооружений. Аэродинамические коэффициенты необходимо принимать по справочным данным, или на основе результатов продувок моделей сооружений в аэродинамических трубах, или на основе компьютерного моделирования.

Полученные результаты могут напрямую использоваться для выбора необходимых материалов и крепежа.

Снизить ветровое давление на строительные конструкции и турбулентные завихрения также можно и конструктивными мероприятиями:

- 1) увеличить шероховатость поверхности в угловых зонах и местах перелома поверхностей;
- 2) устраивать в угловых зонах и местах перелома поверхностей спойлеры;
- 3) угловые зоны конструировать с плавными переходами;
- 4) в зоне застройки производить посадку деревьев;
- 5) в конструкциях с навесным фасадом в угловых зонах и местах перелома поверхностей необходимо увеличивать диаметр анкеров и шаг крепления обшивок с учетом повышенного отрицательного давления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cae-Services. Инженерные расчет на заказ. URL: <http://www.cae-services.ru/>
2. Wilcox D. C. Turbulence Modeling for CFD. 2nd ed. DCW Industries, 1998. Ch. 5. Pp. 119—122 and 227—271.
3. Исследования по экспериментальной аэродинамике // Научные труды МГУ им. Ломоносова / под ред. С. М. Горлина. № 12. 1971. С. 76—77.
4. Kuzmin D., Mierka O., Turek S. On the Implementation of the  $k$ - $\epsilon$  Turbulence Model in Incompressible Flow Solvers Based on a Finite Element Discretization // International Journal of Computing Science and Mathematics. 2007. Vol. 1. DOI: 10.1504/IJCSM.2007.016531.
5. Gambit 2.3.16 users guide.

6. Fluent 6.3.26 users guide.
7. Ansys. Release 14.0 Getting Started Guide.
8. ANSYS FLUENT. Theory Guide. ANSYS, Inc. Release 14.0. November 2011. p. 2498.
9. Comsol v.4.4. CFD Module User's Guide.
10. Бирюлин А. П. Аэродинамические характеристики стержней и решетчатых ферм // Труды ЦНИИТ Машиностроения. 1964. Вып. 35 (II). С. 18—25.
11. Березин М. А. Экспериментальные исследования 1980—2002 гг. аэродинамических характеристик строительных конструкций методом моделирования в специализированной аэродинамической трубе 3-АТ-17.5/3. Новосибирск : «Олден-полиграфия», 2002. С. 140.
12. Березин М. А. Атлас аэродинамических характеристик строительных конструкций. Новосибирск : Олден-полиграфия, 2003. 140 с.
13. Fluid-Dynamic Drag. Practical Information on Aerodynamic Drag and Hydrodynamic Resistance by Sighart F. Hoerner, Dr.-Ing. Published by the Autor, 1965. 456 p.

© Жарков А. Ф., Чеснокова О. Г., 2015

Поступила в редакцию  
в январе 2015 г.

Ссылка для цитирования:

Жарков А. Ф., Чеснокова О. Г. Аэродинамический продув квартальной застройки // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 26—34.

Об авторах:

**Жарков Анатолий Федорович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолГАСУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [jarko55@yandex.ru](mailto:jarko55@yandex.ru)

**Чеснокова Оксана Геннадьевна** — доцент кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолГАСУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [oxxana72@yandex.ru](mailto:oxxana72@yandex.ru)

**A. F. Zharkov, O. G. Chesnokova**

## AERODYNAMIC AIR FLOW OF DISTRICT DEVELOPMENT

The presented paper shows the results of the calculation of aerodynamic air flow through the district development. This problem was solved with the use of Ansys Fluent and AutoDesk Simulation CFD software systems. The calculations obtained profiles and the velocity distribution of the field. The problem is a system of connected differential equations of nonizothermal single-phase fluid flow with a large Reynolds number in quasi-stationary mode.

**Key words:** aerodynamic flow of district development, nonizothermal fluid flow in quasi-stationary mode, architectural and constructive design.

### REFERENCES

1. Cae-Services. Engineering Calculation to Order. URL: <http://www.cae-services.ru/>
2. Wilcox D. C. *Turbulence Modeling for CFD*. 2nd ed. DCW Industries, 1998. Ch. 5. Pp. 119—122 and 227—271.
3. [Researches on Experimental Aerodynamics]. *Nauchnye trudy MGU im. Lomonosova / pod red. S. M. Gorlina* [S. M. Gorlin, ed. Scientific Works of Lomonosov Moscow State University], 1971, no. 12, pp. 76—77.
4. Kuzmin D., Mierka O., and Turek S. On the Implementation of the  $k$ - $\varepsilon$  Turbulence Model in Incompressible Flow Solvers Based on a Finite Element Discretization. *International Journal of Computing Science and Mathematics*, 2007, vol. 1. DOI: 10.1504/IJCSM.2007.016531
5. Gambit 2.3.16 users guide.
6. Fluent 6.3.26 users guide.

7. Ansys. Release 14.0 Getting Started Guide.
8. ANSYS FLUENT. Theory Guide. ANSYS, Inc. Release 14.0. November 2011. 2498 p.
9. Comsol v.4.4. CFD Module User's Guide.
10. Biryulin A. P. [Aerodynamic Characteristics of Cores and Trellised Girders]. *Trudy TsNIIT Mashinostroeniya* [Works of TsNIIT Mechanical Engineering], 1964, 35 (P), pp. 18—25.
11. Berezin M. A. *Eksperimental'nye issledovaniya 1980—2002 gg. aerodinamicheskikh kharakteristik stroitel'nykh konstrukttsii metodom modelirovaniya v spetsializirovannoi aerodinamicheskoi trube 3-AT-17.5/3* [Pilot studies of 1980—2002 of Aerodynamic Characteristics of Construction Designs by Modeling Method in a Specialized 3-AT-17.5/3 Wind Tunnel]. Novosibirsk, Olden-Polygraphy Publ., 2002. 140 p.
12. Berezin M. A. *Atlas aerodinamicheskikh kharakteristik stroitel'nykh konstrukttsii* [Atlas of Aerodynamic Characteristics of Construction Designs]. Novosibirsk, Olden-Polygraphy Publ., 2003. 140 p.
13. Fluid-Dynamic Drag. Practical Information on Aerodynamic Drag and Hydrodynamic Resistance by Sighart F. Hoerner, Dr.-Ing. Published by the Autor, 1965. 456 p.

*For citation:*

Zharkov A. F., Chesnokova O. G. [Aerodynamic air flow of district development]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 26—34. (In Russ.).

*About authors:*

**Zharkov Anatolii Fedorovich** — Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Engineering Structures, Foundations and Safety of Constructions Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [jarko55@yandex.ru](mailto:jarko55@yandex.ru)

**Chesnokova Oksana Gennad'evna** — Docent of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [oxxana72@yandex.ru](mailto:oxxana72@yandex.ru)

УДК 692:536.2

**А. Г. Перехоженцев**

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕНА В ДВУХМЕРНЫХ ОБЛАСТЯХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ**

Рассматривается оригинальное решение системы дифференциальных уравнений тепло- и влагообмена для двухмерной конечно-разностной схемы методом продольно-поперечной прогонки.

Ключевые слова: системы дифференциальных уравнений тепло- и влагообмена, двухмерные конечно-разностные схемы, метод прогонки.

Физико-математическую модель нестационарного тепло- и влагопереноса для двухмерной неоднородной области наружных ограждающих конструкций зданий представим в виде следующей системы дифференциальных уравнений [1]:

$$\begin{cases} c^T \gamma_o \frac{dT}{d\tau} = \text{div}(\lambda^T(\theta, T) \nabla T), \\ c^\theta \gamma_o \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \text{div}(\lambda^\theta(\theta, T) \nabla \theta) + w^T, \end{cases} \quad (1-2)$$

где  $\Delta = \frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j$  — дифференциальный оператор;  $\theta$  — потенциал влажности;  $c^T$  и  $c^\theta$  — соответственно удельные теплоемкости и влагоемкости материалов;  $\lambda^T$  и  $\lambda^\theta$  — коэффициенты теплопроводности и влагопроводности;  $\delta^\theta$  — термоградиентный коэффициент, позволяющий поток влаги определить через градиент температуры;  $w^T$  — источник (или сток) влаги за счет градиента температуры.

$$w^T = \text{div}((\lambda^\theta(\theta, T) \delta^\theta(\theta, T) \nabla T). \quad (3)$$

В системе (1—2) можно отметить, что левая часть и первый член правой части уравнения (2) полностью совпадают с уравнением теплопроводности (1). Поэтому все приемы решения задачи теплопроводности можно применить к решению этой части уравнения (2). Вторая часть этого уравнения зависит от переменной  $T$ . Относительно переменной  $\theta$  вторая часть уравнения влагопроводности представлена некоторой величиной  $w^T$ , характеризующей источник (или сток) влаги за счет градиента температуры. Такое представление модели позволяет составить четкий алгоритм решения системы, в которой в начале решается уравнение теплопроводности (1), затем по аналогии с ним решается уравнение изотермической влагопроводности — первый член правой части уравнения (2), потом прибавляется величина  $w^T$ , которая определяется по известному уже температурному полю. При этом коэффициент влагопроводности  $\lambda^\theta(\theta, T)$ , отнесенный к потенциалу влагопереноса, характеризует процесс влагопроводности во всем диапазоне изменения влагосодер-

жания. В развернутом виде уравнения (1—2) для двухмерных задач будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} c^T \gamma_o \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x^T(\theta, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y^E(\theta, T) \frac{\partial T}{\partial y} \right); \\ c^\theta \gamma_o \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x^\theta(\theta, T) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y^\theta(\theta, T) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + w^T, \end{cases} \quad (4-5)$$

$$\text{где } w^T = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x^\theta \delta_x^\theta \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y^\theta \delta_y^\theta \frac{\partial T}{\partial y} \right). \quad (6)$$

Условия тепло- и влагообмена поверхностей конструкции с омывающим воздухом определяются граничными условиями III рода:

$$\begin{cases} \alpha^T (T(\tau)_{\text{пов}} - T(\tau)_{\text{сп}}) = -\lambda^T \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right)_{\text{пов}}; \\ \alpha^\theta (\theta(\tau)_{\text{пов}} - \theta(\tau)_{\text{сп}}) = -\lambda^\theta \left( \frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_{\text{пов}} + \lambda^\theta \delta^\theta \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right)_{\text{пов}}. \end{cases} \quad (7-8)$$

Индексы «пов», «сп» соответственно означают отношение параметра к поверхности конструкции или к воздушной среде.

Граничные условия IV рода, на стыке материалов, в этом случае определяются четкими соотношениями:

по температуре равенством температур и потоков тепла

$$T_1(\tau) = T_2(\tau); \quad (9)$$

$$q_1(\tau) = q_2(\tau); \quad (10)$$

по влагосодержанию равенством потенциалов влагопереноса и потоков влаги, отнесенным к этим потенциалам:

$$\theta_1(\tau) = \theta_2(\tau); \quad (11)$$

$$I_1^\theta(\tau) = I_2^\theta(\tau). \quad (12)$$

Таким образом, использование потенциала влажности при описании процесса влагопроводности позволяет значительно упростить физико-математическую модель тепло- и влагопроводности [2]. При этом нет необходимости в процессе решения переходить от одних уравнений, описывающих процесс переноса парообразной влаги, к другим (при сверхсорбционном увлажнении). Коэффициенты переноса, отнесенные к потенциалу, позволяют охарактеризовать все процессы, происходящие в порах влажных материалов, во всем диапазоне увлажнения [3]. Это значительно упрощает математическую часть решения задачи [4].

**Конечно-разностная аппроксимация системы дифференциальных уравнений нестационарной тепло- и влагопроводности для двухмерной неоднородной области.** Используя представленную выше методику, подготовим к численному решению систему уравнений теплопроводности и влагопроводности на основе потенциала влагопереноса.

Конечно-разностный аналог уравнения теплопроводности с переменными коэффициентами будет иметь следующий вид [5]:

$$(C^T \gamma)_{J,J} \frac{T_{I,J}^k - T_{I,J}^{k-1}}{\Delta \tau^k} = \frac{2}{h_{J-1} + h_{J+1}} \left[ \lambda_{I,J+1/2}^T \frac{T_{I,J-1}^k - T_{I,J}^k}{h_{J-1}} - \lambda_{I,J+1/2}^T \frac{T_{I,J}^k - T_{I,J+1}^k}{h_{J+1}} \right] + \\ + \frac{2}{h_{I-1} + h_{I+1}} \left[ \lambda_{I-1/2,J}^T \frac{T_{I-1,J}^k - T_{I,J}^k}{h_{I-1}} - \lambda_{I+1/2,J}^T \frac{T_{I,J}^k - T_{I+1,J}^k}{h_{I+1}} \right], \quad (13)$$

где  $h_{J-1} = \frac{\Delta X(J-I) + \Delta X(J)}{2}$ ;  $h_{J+1} = \frac{\Delta X(J) + \Delta X(J+1)}{2}$ ;  $h_{I-1} = \frac{\Delta Y_{(I-1)} + \Delta Y_{(I)}}{2}$ ;  
 $h_{I+1} = \frac{\Delta Y_{(I)} + \Delta Y_{(I+1)}}{2}$ . (14)

Выделим в (13) термические сопротивления между соседними узлами и обозначим их через  $R$ . Тогда, подставляя из (14) значения  $h$ , соответственно получим:

$$R_{J-1}^T = \frac{h_{J-1}}{\lambda_{I,J-1/2}^T} = \frac{\Delta X_{J-1}}{2\lambda_{J-1}^T} + \frac{\Delta X_J}{2\lambda_J^T}; \quad (15)$$

$$R_{J+1}^T = \frac{h_{J+1}}{\lambda_{I,J+1/2}^T} = \frac{\Delta X_{J+1}}{2\lambda_{J+1}^T} + \frac{\Delta X_J}{2\lambda_J^T}; \quad (16)$$

$$R_{I-1}^T = \frac{h_{I-1}}{\lambda_I^T} = \frac{\Delta Y_{J-1}}{2\lambda_{I-1}^T} + \frac{\Delta Y_I}{2\lambda_I^T}; \quad (17)$$

$$R_{I+1}^T = \frac{h_{I+1}}{\lambda_I^T} = \frac{\Delta Y}{2\lambda_{I+1}^T} + \frac{\Delta Y}{2\lambda_I^T}. \quad (18)$$

Для граничных узлов необходимо учитывать условия теплообмена на границе с воздухом.

На границе слева будем иметь

$$R_{J-1}^T = \frac{I}{\alpha_{J-1}^T} + \frac{\Delta X_J}{2\lambda_J^T}. \quad (19)$$

На границе справа —

$$R_{J+1}^T = \frac{I}{\alpha_{J+1}^T} + \frac{\Delta X_J}{2\lambda_J^T}. \quad (20)$$

Аналогичные сопротивления получим на границах снизу и сверху, т. е.

$$R_{I-1}^T = \frac{I}{\alpha_{I-1}^T} + \frac{\Delta Y_J}{2\lambda_I^T}; \quad (21)$$

$$R_{I+1}^T = \frac{I}{\alpha_{I+1}^T} + \frac{\Delta Y_I}{2\lambda_I^T}. \quad (22)$$

В уравнение (13) введем еще некоторые условные обозначения. Так, обозначим через  $L$  соотношения:

$$\begin{aligned} \frac{2}{(h_{J-1} + h_{J+1})R_{J-1}^T} &= L_{J-1}; \quad \frac{2}{(h_{J-1} + h_{J+1})R_{J+1}^T} = L_{J+1}; \\ \frac{2}{(h_{I-1} + h_{I+1})R_{I-1}^T} &= L_{I-1}; \quad \frac{2}{(h_{I-1} + h_{I+1})R_{I+1}^T} = L_{I+1}. \end{aligned} \quad (23)$$

Подставляя принятые обозначения в (11), получим следующее уравнение:

$$\begin{aligned} (C^T \gamma)_{I,J} \frac{T_{I,J}^k - T_{I,J}^{k-1}}{\Delta \tau^k} &= \left[ L_{J-1} (T_{I,J-1}^k - T_{I,J}^k) - L_{J+1} (T_{I,J}^k - T_{I,J+1}^k) \right] + \\ &+ \left[ L_{I-1} (T_{I-1,J}^k - T_{I,J}^k) - L_{I+1} (T_{I,J}^k - T_{I+1,J}^k) \right]. \end{aligned} \quad (24)$$

Продольно-поперечную прогонку [6] осуществляем в два этапа: на промежуточном шаге по времени  $\tau + \frac{\Delta \tau}{2}$  выполняем прогонку по  $x$  и на шаге  $\tau + \Delta \tau$  — прогонку по  $y$ . При этом выбираем схему с узлами «внутри» [7].

На шаге  $\tau + \frac{\Delta \tau}{2}$  уравнение (24) заменяем одномерным уравнением (по  $x$ ):

$$\begin{aligned} \frac{2(C^T \gamma)_{I,J}}{\Delta \tau^k} (T_{I,J}^{k/2} - T_{I,J}^{k-1}) &= \left[ L_{J-1}^{k/2} (T_{I,J-1}^{k/2} - T_{I,J}^{k/2}) - L_{J+1}^{k/2} (T_{I,J}^{k/2} - T_{I,J+1}^{k/2}) \right] + \\ &+ \left[ L_{I-1}^{k-1} (T_{I-1,J}^{k-1} - T_{I,J}^{k-1}) - L_{I+1}^{k-1} (T_{I,J}^{k-1} - T_{I+1,J}^{k-1}) \right]. \end{aligned} \quad (25)$$

На целом шаге  $\tau + \Delta \tau$  также заменим одномерное уравнение (по  $y$ ):

$$\begin{aligned} \frac{2(C^T \gamma)_{I,J}}{\Delta \tau^k} (T_{I,J}^k - T_{I,J}^{k/2}) &= \left[ L_{J-1}^{k/2} (T_{I,J-1}^{k/2} - T_{I,J}^{k/2}) - L_{J+1}^{k/2} (T_{I,J}^{k/2} - T_{I,J+1}^{k/2}) \right] + \\ &+ \left[ L_{I-1}^k (T_{I-1,J}^{k-1} - T_{I,J}^{k-1}) - L_{I+1}^k (T_{I,J}^{k-1} - T_{I+1,J}^{k-1}) \right]. \end{aligned} \quad (26)$$

Для удобства применения метода прогонки [7] перепишем уравнения (25) и (26) в виде уравнения  $A_n U_{n-1} + B_n U_n + C_n U_{n+1} = D_n$ .

Уравнение (25) примет вид

$$L_{J-1}^{k/2} T_{I,J-1}^{k/2} - \left( L_{J-1}^{k/2} + L_{J+1}^{k/2} + \frac{2}{\Delta \tau^k} (C^T \gamma)_{I,J} \right) T_{I,J}^{k/2} + L_{J+1}^{k-1} T_{I,J+1}^{k/2} = -D1_{I,J}, \quad (27)$$

где  $D1_{I,J} = L_{I,J}^{k-1} T_{I-1,J}^{k-1} - \left( L_{I-1}^{k-1} + L_{I+1}^{k-1} - \frac{2}{\Delta \tau^k} (C^T \gamma)_{I,J} \right) T_{I,J}^{k-1} + L_{I+1}^{k-1} T_{I+1,J}^{k-1}$ .

Уравнение (26) при  $\tau + \Delta \tau$  также перепишем в виде

$$L_{I-1}^k T_{I-1,J}^k - \left( L_{I-1}^k + L_{I+1}^k + \frac{2}{\Delta \tau^k} (C^T \gamma)_{I,J} \right) T_{I,J}^k + L_{I+1}^k T_{I+1,J}^k = -D2_{I,J}, \quad (28)$$

где  $D2_{I,J} = L_{J-1}^{k/2} T_{I,J-1}^{k/2} - \left( L_{J-1}^{k/2} + L_{J+1}^{k/2} - \frac{2}{\Delta \tau^k} (C^T \gamma)_{I,J}^{k/2} \right) T_{I,J}^{k/2} + L_{I+1}^{k/2} T_{I,J+1}^{k/2}$ .

Решение уравнений будем искать в виде  $T_n = S_n T_{n+1} + P_n$  при обратной прогонке ( $n = n - 1, n - 2, n - 3, \dots, I$ ) и по известным прогоночным коэффициентам, которые определяют по рекуррентным формулам (29) и (30) при прямой прогонке ( $n = 1, 2, 3, \dots, n - 1$ ):

$$S_n = -\frac{C_n}{B_n + A_n S_{n-1}}; \quad (29)$$

$$P_n = \frac{D_n - A_n S_{n-1}}{B_n + A_n S_{n-1}}. \quad (30)$$

Прогоночные коэффициенты, определенные из уравнений (27) и (28), будут равны:

для прогонки по оси  $ox$  (на шаге  $\tau + \Delta\tau / 2$ ) после преобразований

$$\text{по } x \left\{ \begin{aligned} P_J^T &= \frac{D1_{I,J} + L_{J-1}^{k/2} P_{J-1}^T}{L_{J-1}^{k/2} (I - s_{J-1}^T) + L_{J+1}^{k/2} + 2 / \Delta\tau^k (c^T \gamma)_{I,J}}; \\ S_J^T &= \frac{L_{J+1}^{k/2}}{L_{J-1}^{k/2} (I - s_{J-1}^T) + L_{J+1}^{k/2} + 2 / \Delta\tau^k (c^T \gamma)_{I,J}}; \end{aligned} \right. \quad (31-32)$$

для прогонки по оси  $oy$  на шаге  $\tau + \Delta\tau$  после несложных преобразований из уравнения (18) получим:

$$\text{по } y \left\{ \begin{aligned} P_I^T &= \frac{D2_{I,J} + L_{I-1}^k P_{I-1}^T}{L_{I-1}^k (I - s_{I-1}^T) + L_{I+1}^k + 2 / \Delta\tau^k (c^T \gamma)_{I,J}}; \\ S_I^T &= \frac{L_{I+1}^k}{L_{I-1}^k (I - s_{I-1}^T) + L_{I+1}^k + 2 / \Delta\tau^k (c^T \gamma)_{I,J}}. \end{aligned} \right. \quad (33-34)$$

Значение коэффициентов  $P_J^T, S_J^T$  определим при прямой прогонке по оси  $ox$  от  $I$  до  $Nx$ , значения температур — по известным коэффициентам и граничным условиям по формуле

$$T_{I,J}^{k/2} = S_J^T T_{I,J+1}^{k/2} + P_J^T \quad (35)$$

при обратной прогонке. При этом граничные условия на полуцелом слое  $k/2$  необходимо определять по уравнениям (11)—(12).

Значение коэффициентов  $P_J^T, S_J^T$  определим при прямой подгонке по оси  $oy$  от  $I$  по  $Ny$ , а значение температур — при обратной прогонке по известным коэффициентам и граничным условиям по формуле

$$T_{I,J}^{k+1} = S_I^T T_{I+1,J}^{k+1} + P_J^T. \quad (36)$$

Необходимым условием устойчивости счета по формулам прогонки является  $|S_n| < 1$ , достаточным условие устойчивости прогонки — преобладание диагональных элементов

$$|B_n| \geq |A_n| + |C_n|.$$

Как видно из (31)—(32) и (33)—(34), первое условие всегда выполняется, так как знаменатель в этих формулах всегда больше числителя [8]. Из уравнений (27) и (28) видно, что второе условие тоже всегда выполняется. Следовательно, используя прогонку по полученным формулам, мы будем иметь устойчивый счет [9].

Прогоночные коэффициенты для граничных зон определим из граничных условий. Так, при прогонке по какому-либо направлению ( $x$  или  $y$ ) могут быть следующие варианты: обрыв конструкции или граница с воздушной средой [10].

При обрыве выполняется условие  $T_{I,J} = T_{I,J+1}$  или  $T_{I,J} = T_{I+1,J}$ , то есть температура на границе известна и равна температуре крайней точки конструкции в месте обрыва или  $\Delta T = 0$ .

Для выполнения этого условия в уравнении (35) прогоночные коэффициенты соответственно должны быть равны:  $S_0^T = I.0$ ;  $P_0^T = 0$  тогда получим  $T_{I,J} = T_{I,J+1}$  или для перпендикулярного направления  $T_{I,J} = T_{I+1,J}$ .

На границе с воздухом известна температура крайней (начальной или конечной) точки, например  $T_0 = TN$ , тогда в уравнении  $T_0 = P_0 + S_0 T_1$  необходимо иметь следующие коэффициенты  $S_0^T = 0$ ,  $P_0^T = T_N$ , чтобы получить необходимое условие [11].

При обратной прогонке известны прогоночные коэффициенты и температура крайней точки ( $T_1 = T_w$  или  $T_1 = T_{\text{констр}}^{k-1}$ ), следовательно, можно определить температуры по всему ряду какого-либо направления.

По аналогии с уравнением теплопроводности [7] подготовим к численному решению уравнения (5)—(6) влагопроводности на основе потенциала влагопереноса в развернутом виде:

$$c^w \gamma \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x^w (T, \theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_y^w (T, \theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda^w \delta \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda^w \delta \frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad (37)$$

где  $\theta$  — относительный потенциал влажности, равный  $\theta_0$ ;  $c^w$ ,  $\lambda^w$ ,  $\delta$  — соответственно удельная влагоемкость, влагопроводность и термоградиентный коэффициент, отнесенные к потенциалу влагопереноса  $\theta$ .

В конечно-разностной форме на шаблоне с узлами «внутри» уравнение (35) будет иметь вид

$$\begin{aligned} (c^w \gamma)_{I,J} \frac{\theta_{I,J}^k - \theta_{I,J}^{k-1}}{\Delta \tau^k} = & \frac{2}{h_{J-1} + h_{J+1}} \left[ \lambda_{J-1/2}^w \frac{\theta_{I,J-1}^k - \theta_{I,J}^k}{h_{J-1}} - \right. \\ & \left. - \lambda_{J+1/2}^w \frac{\theta_{I,J}^k - \theta_{I,J+1}^k}{h_{J+1}} \right] + \frac{2}{h_{I-1} + h_{I+1}} \left[ \lambda_{I-1/2}^w \frac{\theta_{I-1,J}^k - \theta_{I,J}^k}{h_{I-1}} - \right. \\ & \left. - \lambda_{I+1/2}^w \frac{\theta_{I,J}^k - \theta_{I+1,J}^k}{h_{I+1}} \right] + W_{I,J}^{T^k}, \quad (38) \end{aligned}$$

где  $W_{I,J}^{T^k}$  — вторая часть уравнения (37), означающая перенос влаги под действием температурного градиента, которую вычисляем не прогонкой, а по известным температурам по следующей формуле:

$$W_{I,J}^{Tk} = \frac{2}{h_{J-1} + h_{J+1}} \left[ \lambda_{J-1/2}^w \delta_{J-1/2} \frac{T_{I,J-1}^K - T_{I,J}^k}{h_{J-1}} - \lambda_{J+1/2}^w \delta_{J+1/2} \frac{T_{I,J}^K - T_{I,J+1}^K}{h_{J+1}} \right] + \frac{2}{h_{I-1} + h_{I+1}} \left[ \lambda_{I-1/2}^w \delta_{I-1/2} \frac{T_{I-1,J}^k - T_{I,J}^k}{h_{I-1}} - \lambda_{I+1/2}^w \delta_{I+1/2} \frac{T_{I,J}^k - T_{I+1,J}^k}{h_{I+1}} \right]. \quad (39)$$

Введем аналогичные обозначения для сопротивления влагопередаче  $R^W$  в уравнение (38) и (39), как и для  $R^T$  в уравнение (13):

$$R_{J-1}^w = \frac{\Delta X_{J-1}}{2\lambda_{J-1}^w} + \frac{\Delta X_J}{2\lambda_J^w}; \quad M_{J-1}^w = \frac{2}{(h_{J-1} + h_{J+1})R_{J-1}^w}; \quad (40)$$

$$R_{J+1}^w = \frac{\Delta X_{J+1}}{2\lambda_{J+1}^w} + \frac{\Delta X_J}{2\lambda_J^w}; \quad M_{J+1}^w = \frac{2}{(h_{J-1} + h_{J+1})R_{J+1}^w}; \quad (41)$$

$$R_{I-1}^w = \frac{\Delta Y_{I-1}}{2\lambda_{I-1}^w} + \frac{\Delta Y_I}{2\lambda_I^w}; \quad M_{I-1}^w = \frac{2}{(h_{I-1} + h_{I+1})R_{I-1}^w}; \quad (42)$$

$$R_{I+1}^w = \frac{\Delta Y_{I+1}}{2\lambda_{I+1}^w} + \frac{\Delta Y_I}{2\lambda_I^w}; \quad M_{I+1}^w = \frac{2}{(h_{I-1} + h_{I+1})R_{I+1}^w}. \quad (43)$$

На границах с воздухом сопротивления между расчетными точками будут соответственно равны:

$$R_{J-1}^w = \frac{1}{\alpha_{J-1}^w} + \frac{\Delta X_J}{2\lambda_J^w}; \quad (44)$$

$$R_{J+1}^w = \frac{1}{\alpha_{J+1}^w} + \frac{\Delta Y_J}{2\lambda_J^w}; \quad (45)$$

$$R_{I-1}^w = \frac{1}{\alpha_{I-1}^w} + \frac{\Delta X_I}{2\lambda_I^w}; \quad (46)$$

$$R_{I+1}^w = \frac{1}{\alpha_{I+1}^w} + \frac{\Delta X_I}{2\lambda_I^w}. \quad (47)$$

Подставляя обозначения (40)—(47) в (38), получим

$$(c^w \gamma)_{I,J} \frac{\theta_{I,J}^k - \theta_{I,J}^{k-1}}{\Delta \tau^k} = M_{J-1}^w (\theta_{I,J-1}^k - \theta_{I,J}^k) - M_{J+1}^w (\theta_{I,J}^k - \theta_{I,J+1}^k) + M_{I-1}^w (\theta_{I-1,J}^k - \theta_{I,J}^k) - M_{I+1}^w (\theta_{I,J}^k - \theta_{I+1,J}^k) + WT_{I,J}^k, \quad (48)$$

где

$$WT_{I,J}^k = M_{J-1}^w \delta_{J-1} (T_{I,J-1}^k - T_{I,J}^k) - M_{J+1}^w \delta_{J+1} (T_{I,J}^k - T_{I,J+1}^k) + M_{I-1}^w \delta_{I-1} (T_{I-1,J}^k - T_{I,J}^k) - M_{I+1}^w \delta_{I+1} (T_{I,J}^k - T_{I+1,J}^k). \quad (49)$$

На промежуточном шаге  $\tau + \Delta\tau / 2$  для прогонки по оси  $ox$  ( $J$ ):

$$\begin{aligned} (c^w \gamma)_{I,J} \frac{\theta_{I,J}^{k/2} - \theta_{I,J}^{k-1}}{0,5\Delta\tau^k} = & M_{J-1}^w (\theta_{I,J-1}^{k/2} - \theta_{I,J}^{k/2}) - M_{J+1}^w (\theta_{I,J}^{k/2} - \theta_{I,J+1}^{k/2}) + \\ & + M_{I-1}^w (\theta_{I-1,J}^k - \theta_{I,J}^k) - M_{I+1}^w (\theta_{I,J}^{k-1} - \theta_{I+1,J}^{k-1}) + \\ & + M_{J-1}^w \delta_{J-1} (T_{I,J-1}^{k/2} - T_{I,J}^{k/2}) - M_{J+1}^w \delta_{J+1} (T_{I,J}^{k/2} - T_{I,J+1}^{k/2}) + \\ & + M_{I-1}^w \delta_{I-1} (T_{I-1,J}^{k-1} - T_{I,J}^{k-1}) - M_{I+1}^w \delta_{I+1} (T_{I,J}^{k-1} - T_{I+1,J}^{k-1}). \end{aligned} \quad (50)$$

Для прогонки по оси  $oy$  (по  $I$ ) запишем уравнение на слое  $\tau + \Delta\tau$ :

$$\begin{aligned} \frac{2(c^w \gamma)_{I,J}}{\Delta\tau^k} (\theta_{I,J}^k - \theta_{I,J}^{k/2}) = & M_{J-1}^w (\theta_{I,J-1}^{k/2} - \theta_{I,J}^{k/2}) - M_{J+1}^w (\theta_{I,J}^{k/2} - \theta_{I,J+1}^{k/2}) + \\ & + M_{I-1}^w (\theta_{I-1,J}^k - \theta_{I,J}^k) - M_{I+1}^w (\theta_{I,J}^k - \theta_{I+1,J}^k) + \\ & + M_{J-1}^w \delta_{J-1} (T_{I,J-1}^{k/2} - T_{I,J}^{k/2}) - M_{J+1}^w \delta_{J+1} (T_{I,J}^{k/2} - T_{I,J+1}^{k/2}) + \\ & + M_{I-1}^w \delta_{I-1} (T_{I-1,J}^k - T_{I,J}^k) - M_{I+1}^w \delta_{I+1} (T_{I,J}^k - T_{I+1,J}^k). \end{aligned} \quad (51)$$

Перепишем уравнения (50) и (51) в удобном для прогонки виде:  
уравнение (50) для прогонки по  $ox$  (по  $J$ )

$$M_{J-1}^w \theta_{I,J-1}^{k/2} - \left( M_{J-1}^w + M_{J+1}^w + \frac{2(c^w \gamma)_{I,J}}{\Delta\tau^k} \right) \theta_{I,J}^{k/2} + M_{J+1}^w \theta_{I,J+1}^{k/2} = -D3, \quad (52)$$

где

$$\begin{aligned} D3 = & W_{I-1}^w \theta_{I-1,J}^{k-1} - \left( M_{I-1}^w + M_{I+1}^w - \frac{2(c^w \gamma)_{I,J}}{\Delta\tau^k} \right) \theta_{I,J}^{k-1} + M_{I+1}^w \theta_{I+1,J}^{k-1} + \\ & + M_{J-1}^w \delta_{J-1}^w T_{I,J-1}^{k/2} - (M_{J-1}^w \delta_{J-1}^w + M_{J+1}^w \delta_{J+1}^w) T_{I,J}^{k/2} + M_{J+1}^w \delta_{J+1} T_{I,J+1}^{k/2} + \\ & + M_{I-1}^w \delta_{I-1} T_{I-1,J}^{k-1} - (M_{I-1}^w \delta_{I-1} + M_{I+1}^w \delta_{I+1}) T_{I,J}^{k-1} + M_{I+1}^w \delta_{I+1}^w T_{I+1,J}^{k-1}. \end{aligned} \quad (53)$$

уравнение (51) для прогонки по оси  $oy$  (по  $I$ ) на слое  $\tau^k = \tau + \Delta\tau$ :

$$M_{I-1}^w \theta_{I-1,J}^{k/2} - \left( M_{I-1}^w + M_{I+1}^w + \frac{2(c^w \gamma)_{I,J}}{\Delta\tau^k} \right) \theta_{I,J}^k + M_{I+1}^w \theta_{I+1,J}^k = -D4, \quad (54)$$

где

$$\begin{aligned} D4 = & W_{J-1}^w \theta_{I,J-1}^{k/2} - \left( M_{J-1}^w + M_{J+1}^w - \frac{2(c^w \gamma)_{I,J}}{\Delta\tau^k} \right) \theta_{I,J}^{k/2} + M_{J+1}^w \theta_{I,J+1}^{k/2} + \\ & + M_{J-1}^w \delta_{J-1} T_{I,J-1}^{k/2} - (M_{J-1}^w \delta_{J-1} + M_{J+1}^w \delta_{J+1}) T_{I,J}^{k/2} + \\ & + M_{J+1}^w \delta_{J+1} T_{I,J+1}^{k/2} + M_{I-1}^w \delta_{I-1} T_{I-1,J}^k - (M_{I-1}^w \delta_{I-1} + \end{aligned}$$

$$+ M_{I+1}^W \delta_{I+1,J} T_{I,J}^k + M_{I+1}^W \delta_{I+1} T_{I+1,J}^k. \quad (55)$$

Прогоночные коэффициенты определим по формулам (29)—(30) из уравнений (52) и (54):

$$\text{по } x \left\{ \begin{array}{l} P_J^W = \frac{D3 + M_{J-1}^W P_{J-1}^W}{M_{J-1}^W (1 - S_{J-1}^W) + M_{J+1}^W + \frac{2(c^W \gamma)_{I,J}}{\Delta \tau^k}}; \\ S_J^W = \frac{M_{J+1}^W}{M_{J-1}^W (1 - S_{J-1}^W) + M_{J+1}^W + \frac{2(c^W \gamma)_{I,J}}{\Delta \tau^k}}; \end{array} \right. \quad (56—57)$$

$$\text{по } y \left\{ \begin{array}{l} P_I^W = \frac{D4 + M_{I-1}^W P_{I-1}^W}{M_{I-1}^W (1 - S_{I-1}^W) + M_{I+1}^W + \frac{2(c^W \gamma)_{I,J}}{\Delta \tau^k}}; \\ S_I^W = \frac{M_{I+1}^W}{M_{I-1}^W (1 - S_{I-1}^W) + M_{I+1}^W + \frac{2(c^W \gamma)_{I,J}}{\Delta \tau^k}}. \end{array} \right. \quad (58—59)$$

Для граничных зон прогоночные коэффициенты определим по аналогии с теплообменом из граничных условий влагообмена.

При обрыве конструкции поток влаги в направлении, перпендикулярном линии обрыва, равен нулю, так как  $\Delta \theta = 0$ , а следовательно,  $\theta_0 = \theta_1$  или  $\theta_{n-1} = \theta_n$ . Для выполнения этого условия необходимо в уравнении

$$\theta_0 = S_0^W \theta_1 + P_0^W \quad (60)$$

иметь при границе слева условие  $\theta_0 = \theta_1$ , которое получим при прогоночных коэффициентах  $S_0^W = 1$  и  $P_0^W = 0$ . На границе справа соответственно  $\theta_{n-1} = \theta_n$ .

На границе с воздухом потенциалы первой и последней точек должны быть равны потенциалам окружающей среды, то есть потенциалам влажного воздуха (наружного или внутреннего). При границе с воздухом слева будем иметь следующее условие:  $\theta_0 = \theta_{\text{возд}}$ . Для выполнения этого условия необходимо, чтобы прогоночные коэффициенты в уравнении (60) соответственно были равны:  $S_0^W = 0$ ,  $P_0^W = \partial_{\text{возд}}$ . При правой границе с воздушной средой должно выполняться аналогичное условие, то есть  $\theta_n = \theta_{\text{возд}}$ . Аналогичные граничные условия необходимо выполнять и при прогонке в перпендикулярном направлении (снизу вверх). Для полущелых слоев аппроксимацию граничных условий необходимо осуществлять по (10).

Таким образом, представленная выше схема аппроксимации уравнений теплопроводности и влагопроводности на основе потенциала влажности позволяет решать эту систему уравнений по одинаковому алгоритму, что становится возможным благодаря полному соответствию математической формы

первой части уравнения влагопроводности (38) на основе относительного потенциала влагопереноса уравнению (13). Вторая часть этого уравнения, представленная в виде дополнительного источника (стока) влаги  $W^T$ , как показано выше, определяется по известному температурному полю.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лыков А. В.* Теоретические основы строительной теплофизики. Минск: Изд-во АН БССР, 1963. 520 с.
2. *Перехоженцев А. Г.* Вопросы теории и расчета влажностного состояния неоднородных участков ограждающих конструкций зданий. Волгоград: ВолгГАСА, 1997. 273 с.
3. *Перехоженцев А. Г.* К алгоритму решения двумерных задач тепло-влажностного режима неоднородных участков ограждающих конструкций зданий на ЭВМ // Надежность и реконструкция-88. Волгоград, 1988. С. 52—54.
4. *Тихонов А. Н., Самарский А. А.* Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. 736 с.
5. *Самарский А. А.* Теория разностных схем. М.: Наука, 1977. 656 с.
6. *Перехоженцев А. Г.* Некоторые особенности в решении задач тепло-влажностного режима неоднородных участков ограждающих конструкций зданий // Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. Сер.: Технические направления. 1989. № 4.
7. *Беляев Н. М., Рядно А. А.* Методы теории теплопроводности. Ч. 2. М.: Высш. шк., 1982. 304 с.
8. *Anderssen R. S.* Variational methods and parabolic differential equations. Mathematics Department University of Adelaide, 1967.
9. *Sfeir A. A.* The Heat Balance Integral in Steady-State Conduction // J HEAT TRANSFER — Journal of Heat Transfer-transactions of The Asme. 1976. Vol. 98. Pp. 466—470.
10. *Rafalski P., Zyszkowski W.* Lagrangian approach to the nonlinear boundary heat-transfer problem // AIAA Journal. August, vol. 6. № 8, pp. 1606—1608. doi: 10.2514/3.4827.
11. *Vujanovic B., Djukic Dj.* On the variational principle of Hamilton's tipe for nonlinear heat transfer problem // Int. J. of Heat and Mass Transfer. 1972. V. 15. № 5. Pp. 1111—1123.

© *Перехоженцев А. Г.*, 2015

*Поступила в редакцию  
в декабре 2014 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Перехоженцев А. Г.* Решение задач тепло- и влагообмена в двумерных областях ограждающих конструкций зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 35—45.

*Об авторе:*

**Перехоженцев Анатолий Георгиевич** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [paq@mail.ru](mailto:paq@mail.ru)

**A. G. Perekhozhentsev**

#### **SOLUTION OF HEAT AND MOISTURE EXCHANGE TASKS IN TWO-DIMENSIONAL AREA OF THE BUILDING ENVELOPE**

The article discusses the original solution of the differential equation system of heat and moisture exchange for a two-dimensional finite-difference scheme by longitudinal-transverse sweep method.

**Key words:** differential equation system of heat and moisture exchange, two-dimensional finite-difference schemes, sweep method.

#### REFERENCES

1. *Lykov A. V.* *Teoreticheskie osnovy stroitel'noi teplofiziki* [Theoretical Principals of Construction Thermophysics]. Minsk, AN BSSR Publishing house, 1963. 520 p.

2. Perekhozhentsev A. G. *Voprosy teorii i rascheta vlazhnostnogo sostoyaniya neodnorodnykh uchastkov ograzhdayushchikh konstruksii zdanii* [Issues of Theory and Calculation of Humidity Condition of Non-Uniform Sites of Protective Structures of Buildings]. Volgograd, VSUACE Publ., 1997. 273 p.
3. Perekhozhentsev A. G. [To the Algorithm of Solution of Two-Dimensional Problems of Thermal Moisture Conditions of Non-Uniform Sites of Protective Structures of Buildings on a Computer]. *Nadezhnost' i rekonstruktsiya-88* [Reliability and Reconstruction-88]. Volgograd, 1988. Pp. 52—54.
4. Tikhonov A. N., Samarskii A. A. *Uraveneniya matematicheskoi fiziki* [Equations of Mathematical Physics]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 736 p.
5. *Samarskii A. A. Teoriya raznostnykh skhem* [Theory of Differential Schemes]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 656 p.
6. Perekhozhentsev A. G. [Some Peculiarities in Solution of Problems of Thermal Moisture Conditions of Non-Uniform Sites of Protective Structures of Buildings]. *Izvestiya Severo-Kavkazskogo nauchnogo tsentra vysshei shkoly. Seriya: Tekhnicheskie napravleniya* [News of the North Caucasian Scientific Center of Higher School. Series: Technical Fields], 1989, no. 4.
7. Belyaev N. M., Ryadno A. A. *Metody teorii teploprovodnosti. Ch. 2* [Methods of Heat Conductivity Theory. Part 2]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1982. 304 p.
8. Anderssen R. S. *Variational methods and parabolic differential equations*. Mathematics Department University of Adelaide, 1967.
9. Sfeir A. A. The Heat Balance Integral in Steady-State Conduction. *J HEAT TRANSFER — Journal of Heat Transfer-transactions of The Asme*, 1976, vol. 98, pp. 466—470.
10. Rafalski P., Zyszkowski W. Lagrangian approach to the nonlinear boundary heat-transfer problem. *AIAA Journal*, August, 6(8), pp. 1606—1608. doi: 10.2514/3.4827.
11. Vujanovic B., Djukic Dj. On the variational principle of Hamilton's tipe for nonlinear heat transfer problem. *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 1972, 15(5), pp. 1111—1123.

*For citation:*

Perekhozhentsev A. G. [Solution of heat and moisture exchange tasks in two-dimensional area of the building envelope]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 35—45. (In Russ.).

*About author:*

**Perekhozhentsev Anatolii Georgievich** — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [paq@mail.ru](mailto:paq@mail.ru)

УДК 691.328:699.85

**А. С. Тюряхин, В. Ф. Манухов, В. Н. Дужников**

*Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева*

## **О ВЕЛИЧИНЕ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА ДЛЯ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА**

Теоретическое определение толщины  $h$  защитного слоя бетона для стальной стержневой арматуры диаметром  $d$  построено на базе решения задачи Ламе для толстостенного цилиндра. В трех предельных случаях в замкнутом виде получены простые зависимости толщины  $h$  от диаметра  $d$  и величины сопротивляемости бетона растяжению  $R_{bt}$ . Даны практические рекомендации по назначению оптимальной величины защитного слоя.

**Ключевые слова:** защитный слой бетона, задача Ламе, сопротивление бетона растяжению, теории прочности (первая, вторая и третья).

**Постановка задачи.** Исследуется вопрос о назначении величины защитного слоя бетона для рабочей и вспомогательной арматуры элементов железобетонных конструкций<sup>1</sup> [1—3]. В основу решения вопроса положен критерий образования трещин (в защитном слое), вызываемых действием распирающего давления со стороны арматуры, подверженной коррозии<sup>2</sup>. Для оценки действия продуктов коррозии стальной арматуры на бетон выбрана расчетная модель, основанная на использовании задачи Ламе для кругового толстостенного цилиндра [4]. Такая модель применялась, например, в работе [5, с. 131—136], в которой, к сожалению, допущена логическая некорректность выкладок. Главное же в ней — сам факт выбора задачи Ламе для расчетной модели, широкие возможности которой применительно к защитному слою фактически не раскрыты. Наша попытка вскрытия этих возможностей тотчас выявила самодостаточный и практически востребованный результат.

Осесимметричная расчетная модель мыслится в виде составного цилиндра кругового поперечного сечения, который в центральной своей части представлен сплошным стальным цилиндром с номинальным диаметром  $2a = d$ , а снаружи — толстостенным цилиндром из бетона диаметром  $2b = d + 2h$ , где  $h$  — толщина защитного слоя (рис. 1).

С началом коррозии арматуры на ее границе с бетоном возникает избыточное давление  $p$ , вызванное появлением продукта коррозии (ржавчины). Обоснованием наличия давления служит факт увеличения объема ржавчины более чем в два раза по сравнению с объемом прореагировавшего металла.

<sup>1</sup> СП 63.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 52–01—2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Утв. приказом Минрегионразвития России от 27.12.2011 г.;

СП 20.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85\*. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. Утв. приказом Минрегионразвития России от 27.12.2010 г.

<sup>2</sup> СП 28.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11—85. Защита строительных конструкций от коррозии. Утв. приказом Минрегионразвития России от 29.12.2011 г.

Принятая нами модель позволяет выявить напряженно-деформированное состояние защитного слоя и в итоге величину нормативного давления  $p_{bm}$ , характеризующего несущую способность защитного слоя (сопротивляемость трещинообразованию), опираясь только на размеры  $h$  и  $d$  и на упруго-механические свойства бетона.

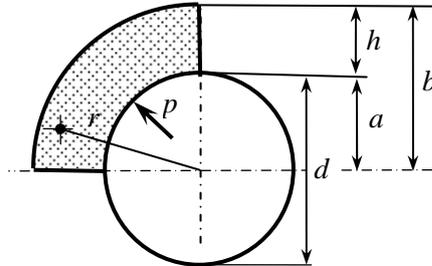


Рис. 1. Поперечное сечение расчетной модели защитного слоя

**Основные формулы.** Решение задачи Ламе для цилиндра «с днищами» приведем в обозначениях, принятых в [6—12]. С учетом краевых условий

$$\sigma_{r(r=a)} = -p, \sigma_{r(r=b)} = 0.$$

Для точек с координатой  $r$  (см. рис. 1) это решение представим формулами: радиальных перемещений

$$u = p \frac{\omega^2}{1-\omega^2} \left( \frac{1}{e} + \frac{1}{g} \frac{1}{\rho^2} \right) r, \quad (1)$$

радиальных и тангенциальных деформаций

$$\varepsilon_t = p \frac{\omega^2}{1-\omega^2} \left( \frac{1}{e} + \frac{1}{g} \frac{1}{\rho^2} \right), \quad \varepsilon_r = p \frac{\omega^2}{1-\omega^2} \left( \frac{1}{e} - \frac{1}{g} \frac{1}{\rho^2} \right), \quad (2)$$

тангенциальных, радиальных и осевых напряжений

$$\sigma_t = p \frac{\omega^2}{1-\omega^2} \left( 1 + \frac{1}{\rho^2} \right), \quad \sigma_r = p \frac{\omega^2}{1-\omega^2} \left( 1 - \frac{1}{\rho^2} \right), \quad \sigma_z = p \frac{\omega^2}{1-\omega^2}. \quad (3)$$

В этих формулах  $\omega$  — отношение радиусов толстостенного цилиндра ( $\omega = a/b$ );  $r, \rho$  — абсолютная и относительная ( $r/b$ ) радиальные координаты точек;  $e, g$  — объемная и сдвиговая константы упругих свойств бетона,

$$e = E / (1-2\nu), \quad g = E / (1+\nu); \quad (4)$$

$E, \nu$  — модуль упругости и коэффициент Пуассона бетона.

Из формул (2) и (3) следует, что наиболее опасными будут точки с координатой  $r = a$ , лежащие на внутренней поверхности защитного слоя. В этих точках в соответствии с (3) главные напряжения будут равны:

$$\sigma_1 = p \frac{1+\omega^2}{1-\omega^2}, \quad \sigma_2 = p \frac{\omega^2}{1-\omega^2}, \quad \sigma_3 = -p. \quad (5)$$

**Расчет по 1-й теории прочности<sup>3</sup>.** В опасных точках защитного слоя в соответствии с теорией наибольших нормальных напряжений трещин не будет, если соблюдено условие  $\sigma_1 \leq R_{bm}$ . С учетом (5)

$$p \frac{1 + \omega^2}{1 - \omega^2} \leq R_{bm}, \quad (6)$$

где  $\sigma_1$  — главное напряжение в опасных точках, вызванное избыточным давлением  $p$ ;  $R_{bm}$  — нормативное сопротивление бетона растяжению, равное расчетному сопротивлению для предельных состояний 2-й группы.

Сразу же оговоримся, что в случае выполнения расчетов по предельным состояниям 1-й группы нормативное сопротивление  $R_{bm}$  в условии (6) замещается расчетным  $R_{br}$ . При такой замене вместо искомого нормативного давления  $p_{bm}$  получим расчетное  $p_{br}$ .

Теперь преобразуем условие (6) к виду

$$p \leq \frac{1 - \omega^2}{1 + \omega^2} R_{bm} = k_1 R_{bm} = p_{bm1}, \quad (7)$$

где  $p_{bm1}$  — нормативное давление (по 1-й теории), выдерживаемое защитным слоем;  $k_1$  — коэффициент приведения  $R_{bm}$  к величине давления  $p_{bm1}$ :

$$k_1 = \frac{1 - \omega^2}{1 + \omega^2}. \quad (8)$$

Из (8) следует, что коэффициент  $k_1$  определяется величиной

$$\omega = \frac{2a}{2b} = \frac{d}{d + 2h} = \frac{1}{1 + 2h/d} \quad (9)$$

и, согласно (9), зависит только от параметра  $h/d$ . Поэтому и давление  $p_{bm1}$  имеет гиперболическую зависимость от этого параметра, а не от абсолютных значений диаметра  $d$  арматуры и толщины  $h$  защитного слоя.

**Расчет по предельной растяжимости.** В опасных точках (с координатой  $\rho = \omega$ ) в соответствии с первой из формул (2) главные (растягивающие) деформации

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_t(a) = \frac{p}{1 - \omega^2} \left( \frac{\omega^2}{e} + \frac{1}{g} \right). \quad (10)$$

Поэтому, в согласии со 2-й теорией прочности<sup>4</sup>, трещины не должны образовываться, если соблюдается условие

$$\varepsilon_1 \leq \varepsilon_{btu}. \quad (11)$$

Для материала бетона, имеющего коэффициент Пуассона  $\nu = 1/6$ , величина предельной растяжимости

<sup>3</sup> СП 20.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85\*, с. 177.

<sup>4</sup> Там же.

$$\varepsilon_{btu} = \frac{R_{bm}}{E_b} = \frac{R_{bm}}{(1-2\nu)e} = \frac{R_{bm}}{(1-2/6)e} = \frac{3}{2} \frac{R_{bm}}{e}. \quad (12)$$

Поэтому подстановка (10) и (12) в условие (11) дает неравенство

$$\frac{p}{1-\omega^2} \left( \frac{\omega^2}{e} + \frac{1}{g} \right) \leq \frac{3}{2} \frac{R_{bm}}{e},$$

которое можно представить в следующем виде:

$$p \leq \frac{3}{2} \frac{1-\omega^2}{e/g + \omega^2} R_{bm} = k_2 R_{bm} = p_{bm2}, \quad (13)$$

где  $p_{bm2}$  — нормативное давление по 2-й теории;  $k_2$  — коэффициент приведения  $R_{bm}$  к величине давления  $p_{bm2}$ :

$$k_2 = \frac{3}{2} \frac{(1-\omega^2)}{e/g + \omega^2}.$$

При значении  $\nu = 1/6$  отношение модулей

$$\frac{e}{g} = \frac{1+\nu}{1-2\nu} = \frac{1+1/6}{1-2/6} = 1,75.$$

С учетом этого получим окончательное выражение для коэффициента

$$k_2 = \frac{3}{2} \frac{(1-\omega^2)}{1,75 + \omega^2}. \quad (14)$$

Кроме того, при значении  $\nu = 1/6$  отношение модулей

$$\frac{e}{g} = \frac{3K}{2G} = 1,75 \quad \text{или} \quad \frac{G}{K} = 0,857.$$

Это означает, что величина модуля сдвига  $G$  сопоставима и примерно равна величине объемного модуля упругости  $K$ . Следовательно, желательно было бы по тому же самому критерию получить оценку влияния сдвиговых деформаций, т. е. касательных напряжений.

**Расчет по 3-й теории прочности**<sup>5</sup>. В опасных точках защитного слоя, в соответствии с теорией наибольших касательных напряжений, трещины не образуются, если соблюдено условие

$$\sigma_1 - \sigma_3 \leq R_{cp} = 2R_{bm}. \quad (15)$$

Множитель 2 в условии (15) выбран по той причине, что, согласно опытным данным [3, с. 26, 27], сопротивляемость бетона разрушению при срезе  $R_{cp}$  примерно вдвое выше его сопротивляемости растяжению  $R_{bm}$ .

<sup>5</sup> Там же.

Разность главных напряжений с учетом (5) определяется равенством

$$\sigma_1 - \sigma_1 = p \frac{1 + \omega^2}{1 - \omega^2} - (-p) = p \frac{2}{1 - \omega^2}. \quad (16)$$

Выполним подстановку (16) в условие (15) и преобразуем его к виду

$$p \leq (1 - \omega^2) R_{bm} = k_3 R_{bm} = p_{bm3}, \quad (17)$$

где  $p_{bm3}$  — нормативное давление по 3-й теории прочности;  $k_3$  — коэффициент приведения значения  $R_{bm}$  к величине давления  $p_{bm3}$ :

$$k_3 = 1 - \omega^2. \quad (18)$$

**Толщина защитного слоя.** В рассмотренных трех случаях формулы нормативных давлений  $p_{bmi}$  выражены произведениями  $k_i R_{bm}$ , в которых коэффициентами  $k_i$  служат функции переменного параметра  $h/d$ . Следовательно, по условиям трещинообразования можно сформулировать правило: *нормативной величиной должен служить параметр  $h/d$  независимо как от величины  $R_{bm}$  (нормативного сопротивления), так и от абсолютных размеров диаметра  $d$  арматуры.* Для иллюстрации правила и обоснования выбора нормативных величин  $h/d$  выполнено количественное исследование выражений (8), (14) и (18) (рис. 2).

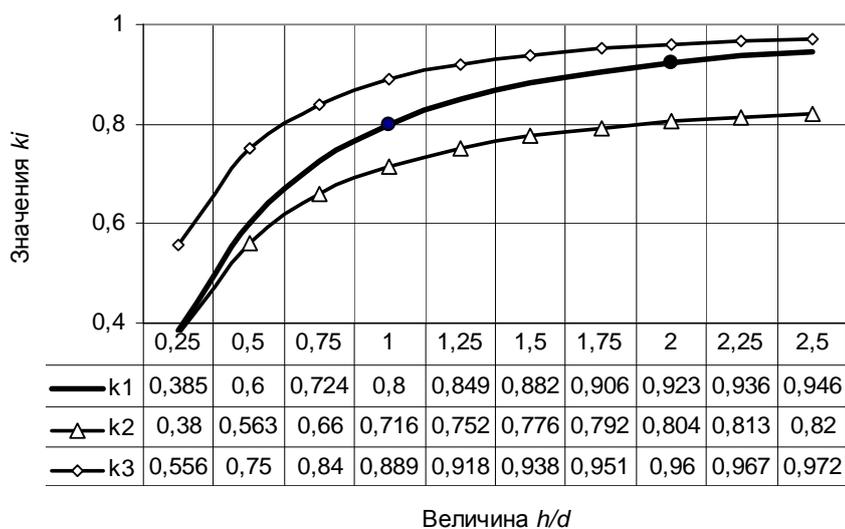


Рис. 2. Зависимости от параметра  $h/d$  для коэффициентов приведения, соответствующих первой ( $k_1$ ), второй ( $k_2$ ) и третьей ( $k_3$ ) теориям прочности

В области значений  $0,25 > h/d > 2,5$  результаты выполненного исследования представлены таблицей и графиками зависимости коэффициентов  $k_i$  от параметра  $h/d$  (см. рис. 2). Анализ результатов показывает, что наиболее жестким критерием трещинообразования служит кривая  $k_2$ . При этом кривая  $k_1$ , порождаемая 1-й теорией, расположена между кривыми  $k_2$  и  $k_3$ , которые можно считать, соответственно, нижней и верхней границей существования кривой  $k_1$ . В случае малых параметров ( $h/d \approx 0,25$ ) величины давлений  $p_{bm1}$  и  $p_{bm2}$

практически совпадают; при больших ( $h/d > 2,5$ ) давление  $p_{bm1}$  тяготеет к величине  $p_{bm3}$ . По этой причине, а также с учетом накопленного экспериментального опыта [1, 3, 12], будем считать, что из трех рассмотренных выше случаев для тяжелого бетона расчету по образованию трещин лучше отвечает первый из них, характеризуемый давлением  $p_{bm1}$ .

Из анализа кривой  $k_1$  следует, что в качестве нормативных величин параметра  $h/d$  целесообразно выбрать его значения в пределах области значений от 1,0 до 2,0, отвечающих участку, выделенному на кривой двумя точками (см. рис. 2). Минимальному значению ( $h/d = 1$ ) соответствует левая точка на графике, так как в случае малых толщин ( $h < d$ ) участок кривой круто идет вниз, что ведет к резкому снижению сопротивляемости трещинообразованию. Максимальному параметру ( $h/d = 2$ ) отвечает правая точка на графике, так как при значениях  $h > 2d$  наблюдается пологий участок той же кривой, что ведет к незначительному росту нормативного давления (менее 2,5 % при  $h = 2,5d$  по сравнению с  $h = 2d$ ), т. е. к неоправданной и бесполезной затрате материала.

**Заключение.** На базе решения задачи Ламе для кругового толстостенного цилиндра построена эффективная расчетная модель защитного слоя бетона для арматуры в элементах железобетонных конструкций. При вычислениях нормативных значений избыточного давления на защитный слой (со стороны арматуры) за основу принята теория наибольших нормальных напряжений. При этом по критерию образования трещин (в бетоне защитного слоя) получена элементарно простая формула для давления, соответствующего нормативной несущей способности защитного слоя:

$$p_{bm1} = k_1 R_{bm}.$$

В качестве минимальных величин рекомендуется принимать толщины  $h$ , равные диаметру  $d$  арматуры, а в качестве максимальных — толщины  $h = 2d$ . При этом минимальные требования абсолютны, т. е. должны выполняться во всех случаях. Но при назначении максимальных толщин в случае необходимости должны быть учтены дополнительные требования. Например, при наличии агрессивных сред и повышенной влажности, а также с учетом противопожарных и других запросов толщина защитного слоя может быть увеличена и назначена с учетом требований соответствующих нормативных документов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мурашев В. И., Сигалов Э. Е., Байков В. Н. Железобетонные конструкции : учебник. М. : Госстройиздат, 1962. 660 с.
2. Бондаренко В. М., Суворкин Д. Г. Железобетонные и каменные конструкции : учебник. М. : Высш. шк., 1987. 384 с.
3. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции: учебник, общий курс. М. : 1985. 767 с.
4. Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. 2-е изд. М. : Высш. шк.; Наука, 1968. 512 с.
5. Новичков П. И., Очкин В. О., Новичкова Е. Н. Количественное определение напряжений в бетоне от коррозии арматуры // Инновационное направление учебно-методической и научной деятельности кафедр материаловедения и технологий конструкционных материалов : материалы Всерос. совещания (с междунар. участием) зав. каф. материаловедения и технологий конструкционных материалов. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2012. 148 с.

6. *Тюряхин А. С., Черкасов В. Д., Манухов В. Ф.* Основы теоретической и прикладной механики деформируемого твердого тела / под ред. В. Д. Черкасова. 2-е изд., испр. и доп. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2009. 326 с.

7. *Черкасов В. Д., Тюряхин А. С.* Теория двухсвязных моделей микромеханики композитов. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2009. 108 с.

8. *Коешов Н. М., Тюряхин А. С.* Цилиндрический сдвиг толстостенной трубы // Актуальные вопросы строительства: матер. Международной науч.-технич. конф.: в 2 ч. Ч. 1. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. С. 293—296.

9. *Соломатов В. И., Черкасов В. Д., Тюряхин А. С.* Макромеханика цилиндрической ячейки капиллярно-пористого композита // Роль науки и инноваций в развитии хозяйственного комплекса Республики Мордовия: материалы Респ. науч.-практ. конф., 27—28 марта 2001. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2001. С. 283—291.

10. *Светкина С. Н., Тюряхин А. С.* Классификация деформаций ячейки капиллярно-пористого композита // Актуальные вопросы строительства. Вып. 1: материалы Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 40-летию строит. фак. Мордов. гос. ун-та. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2002. С. 342—346.

11. *Тюряхин А. С., Коешов Н. М.* Прямой метод подбора сечения толстостенной трубы // Актуальные вопросы архитектуры и строительства: материалы 12-й Международной науч.-техн. конф. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2013. С. 337—340.

12. *Тюряхин А. С., Манухов В. Ф., Русаков В. А.* Обследование и оценка технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений: словарь-справочник. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. 76 с.

© Тюряхин А. С., Манухов В. Ф., Дужников В. Н., 2015

Поступила в редакцию  
в ноябре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

*Тюряхин А. С., Манухов В. Ф., Дужников В. Н.* О величине защитного слоя бетона для арматуры железобетона // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 46—53.

Об авторах:

**Тюряхин Алексей Сергеевич** — канд. техн. наук, проф. кафедры прикладной механики, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева. Российская Федерация, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68, [gkg\\_mrsu@mail.ru](mailto:gkg_mrsu@mail.ru)

**Манухов Владимир Федорович** — канд. техн. наук, зав. кафедрой геодезии, картографии и геоинформатики, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева. Российская Федерация, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68, [manuhov@mail.ru](mailto:manuhov@mail.ru)

**Дужников Владимир Никонорович** — зав. лабораторией автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений, Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева. Российская Федерация, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68, [gkg\\_mrsu@mail.ru](mailto:gkg_mrsu@mail.ru)

**A. S. Tyuryakhin, V. F. Manukhov, V. N. Duzhnikov**

## ABOUT THE SIZE OF A PROTECTIVE CONCRETE LAYER FOR REINFORCED CONCRETE

Theoretical determination of thickness  $h$  of the protective layer of concrete for steel rod fittings with diameter  $d$  is constructed on the basis of the solution of the Lamé task for the thick-walled cylinder. In three limit cases in the closed look simple dependences of thickness  $h$  with diameter  $d$  and size of resilience of concrete to stretching  $R_{bm}$  are obtained. Practical recommendations to destination the optimum size of a protective layer are given.

**Key words:** protective concrete layer, Lamé task, concrete resistance to stretching, durability theory (the first, the second and the third ones).

REFERENCES

1. Murashev V. I., Sigalov E. E., Baikov V. N. *Zhelezobetonnye konstruksii : uchebnik* [Reinforced Concrete Constructions. Textbook]. Moscow, Gosstroizdat Publ., 1962. 660 p.
2. Bondarenko V. M., Suvorkin D. G. *Zhelezobetonnye i kamennye konstruksii : uchebnik* [Reinforced Concrete and Stone Constructions. Extbook]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1987. 384 p.
3. Baikov V. N., Sigalov E. E. *Zhelezobetonnye konstruksii: uchebnik, obshchii kurs* [Reinforced Concrete Constructions. Textbook]. Moscow, 1985. 767 p.
4. Bezukhov N. I. *Osnovy teorii uprugosti, plastichnosti i polzuchesti* [Principals of the Theory of Elasticity, Plasticity and Creeping]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., Nauka Publ., 1968. 512 p.
5. Novichkov P. I., Ochkin V. O., Novichkova E. N. [Quantitative Determination of Tension in Concrete against Corrosion of Fittings]. *Innovatsionnoe napravlenie uchebno-metodicheskoi i nauchnoi deyatel'nosti kafedr materialovedeniya i tekhnologii konstruksionnykh materialov* [Innovative Sphere of Educational and Methodical and Scientific Activity of Materials Engineering and Technologies of Constructional Materials departments. Proc. of All-Russian Meeting]. Saransk, Publishing House of Mordovian University, 2012. 148 p.
6. Tyuryakhin A. S., Cherkasov V. D., Manukhov V. F. *Osnovy teoreticheskoi i prikladnoi mekhaniki deformiruemogo tverdogo tela* [Principals of Theoretical and Applied Mechanics of Deformable Solid Body]. Saransk, Publishing house of Mordovian University, 2009. 326 p.
7. Cherkasov V. D., Tyuryakhin A. S. *Teoriya dvukhsyaznykh modelei mikromekhaniki kompozitov* [Theory of Two-Coherent Models of Micromechanics of Composites]. Saransk, Publishing house of Mordovian University, 2009. 108 p.
8. Koeshov N. M., Tyuryakhin A. S. [Cylindrical Shift of a Thickwalled Pipe]. *Aktual'nye voprosy stroitel'stva: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii: v 2 ch. Ch. 1.* [Topical Issues of Construction. Proc. Int. Sci. And Tech. Conf. In 2 parts. P. 1]. Saransk, Publishing house of Mordovian University, 2007. Pp. 293—296.
9. Solomatov V. I., Cherkasov V. D., Tyuryakhin A. S. [Macromechanics of a Cylindrical Cell of a Capillary and Porous Composite]. *Rol' nauki i innovatsii v razvitii khozyaistvennogo kompleksa Respubliki Mordoviya: materialy Respublikanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 27—28 marta 2001* [Role of Science and Innovations in the Development of Economic complex of the Republic of Mordovia. Proc. Sci. and Tech. Conf., 27—28 March, 2001]. Saransk, Publishing house of Mordovian University, 2001. Pp. 283—291.
10. Svetkina S. N., Tyuryakhin A. S. [Classification of Deformations of a Cell of a Capillary and Porous Composite]. *Aktual'nye voprosy stroitel'stva. Vyp. 1: materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Topical Issues of Construction. Iss. 1. Proc. of All-Russian Sci. and Tech. Conf.]. Saransk, Publishing house of Mordovian University, 2002. Pp. 342—346.
11. Tyuryakhin A. S., Koeshov N. M. [Direct Trial Method of Section of a Thickwalled Pipe]. *Aktual'nye voprosy arkhitektury i stroitel'stva: materialy 12 Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Topical issues of Architecture and Construction. Proc. of the 12th International Sci. and Tech. Conf.]. Saransk, Publishing house of Mordovian University, 2013. Pp. 337—340.
12. Tyuryakhin A. S., Manukhov V. F., Rusakov V. A. *Obsledovanie i otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya nesushchikh konstruksii zdaniy i sooruzhenii: slovar'-spravochnik* [Inspection and Assessment of Technical State of Bearing Constructions of Buildings and Structures. Reference book]. Saransk, Publishing house of Mordovian University, 2007. 76 p.

*For citation:*

Tyuryakhin A. S., Manukhov V. F., Duzhnikov V. N. [About the size of a protective concrete layer for reinforced concrete]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 46—53. (In Russ.).

*About authors:*

**Tyuryakhin Aleksei Sergeevich** — Candidate of Engineering Science, Professor of Applied Mechanics Department, Ogarev Mordovia State University. 68, Bolshevistskaya St., Saransk, 430005, Russian Federation, [gkg\\_mrsu@mail.ru](mailto:gkg_mrsu@mail.ru)

**Manukhov Vladimir Fedorovich** — Candidate of Engineering Science, the Head of Geodesy, Mapping and Geoinformatics Department, Ogarev Mordovia State University. 68, Bolshevistskaya St., Saransk, 430005, Russian Federation, [manuhov@mail.ru](mailto:manuhov@mail.ru)

**Duzhnikov Vladimir Nikonorovich** — the Head of the Laboratory of Roads and Special Engineering Constructions, Ogarev Mordovia State University. 68, Bolshevistskaya St., Saransk, 430005, Russian Federation, [gkg\\_mrsu@mail.ru](mailto:gkg_mrsu@mail.ru)

УДК 330.131.7:69:622.32(262.81)

**Л. А. Анисимов<sup>а</sup>, К. И. Банькин<sup>а</sup>, О. Л. Донцова<sup>б</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

<sup>б</sup> *Кубанский государственный университет*

## **АНАЛИЗ РИСКОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ**

Выбраны и обоснованы методы анализа риска исходя из существующей базы данных по месторождениям нефти и газа в Северном Каспии. Выделены природный, технологический, индивидуальный, экологический, трансграничный и политический виды риска и проведена их оценка в соответствии с реализацией концепций обустройства месторождений Северного Каспия. На основании качественной оценки и ранжирования рисков выделены наиболее значимые операции и события, по которым должна проводиться количественная оценка риска.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** риск, нефтяные и газовые месторождения, Северный Каспий.

**Введение.** Анализ риска в настоящее время является основным методологическим направлением, с помощью которого возможна количественная характеристика процессов техногенного воздействия на окружающую среду. Современные методы анализа технологического и токсикологического риска позволяют оценить ущерб окружающей среде и обществу в экономических и управленческих категориях и на основе этого сформировать оптимальный вариант экологической, технологической и социальной политики [1].

Такой оптимальный вариант особенно актуален для Северного Каспия, где разворачиваются масштабные работы по освоению крупных нефтяных и газовых месторождений. Учитывая небольшой отечественный опыт по строительству и эксплуатации морских нефтегазовых сооружений, обращение к зарубежному опыту является естественным и рациональным.

Ряд работ, опубликованных за рубежом, представляет общую стратегию анализа риска как комплекс взаимосвязанных системных исследований техногенного воздействия на окружающую среду, которые включают: идентификацию опасности, оценку риска и формирование системы контроля и управления [2—5]. Оценка риска включает в себя как экономическую оценку ущерба от нежелательного события в конкретных обстоятельствах, так и вероятностную характеристику возникновения этого события в определенный период времени.

**Нормативная база.** Необходимость проведения исследований по анализу риска зафиксирована в федеральном законе «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (от 21.07.97, № 116-ФЗ). В соответствии с этим законом и в последующих редакциях аналогичных документов Ростехнадзора России в декларации промышленной безопасности должны быть представлены результаты всесторонней оценки риска аварий. Они должны включать:

- перечень моделей и методов расчета, применяемых при оценке риска;
- данные о количестве опасных веществ, участвующих в аварии;
- данные о размерах вероятных зон действия поражающих факторов;
- данные о возможном числе пострадавших;

данные о возможном ущербе;

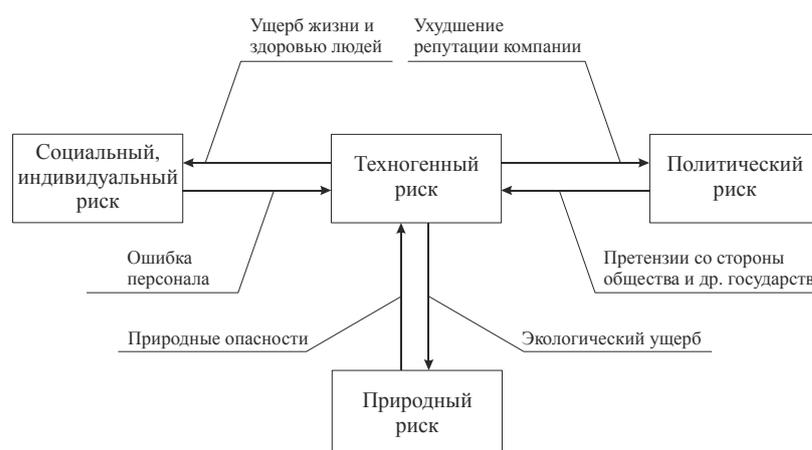
данные о вероятности причинения вреда персоналу, населению, величине ущерба имуществу и окружающей среде.

Исследования по анализу и оценке риска должны производиться самими разработчиками с использованием методических документов, согласованных с федеральными организациями исполнительной власти. Современные методы анализа риска позволяют дать ему стоимостное выражение и на основе соотношения «риск — затраты» сформировать соответствующую экономическую политику.

Процедура анализа риска осуществляется в соответствии с руководящим документом РД 03-418-01. Анализ риска является частью системного подхода к принятию политических решений и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности промышленных аварий для жизни человека, заболеваний или травм, ущерба имуществу и окружающей среде.

**Классификация рисков.** В зависимости от характера неблагоприятного события выделяется природный, техногенный, социальный, токсикологический и другие виды риска [6, 7]. Как правило, природные условия определяют ту среду, где формируются опасности, возникающие в результате техногенной деятельности, которые, в свою очередь, формируют экологические и социальные виды риска. Связь между этими видами опасности и формирующимися опасными факторами в соответствующей среде осуществляется «передаточной функцией», которая определяет характер взаимодействия между компонентами опасности и опасными факторами. С помощью моделей или различных коэффициентов определяются масштабы «передачи» опасности природного происхождения на вероятные отказы при проведении технологических операций и определяется соответствующий технологический, экологический и социальный риск. Взаимодействие различных видов риска показано на рис.

Таким образом, анализ каждого вида риска может проводиться соответствующими специалистами, однако интегральный риск может быть оценен только при встречном движении технологов и специалистов по системному анализу.



Взаимодействие основных видов риска

**Анализ природно-техногенного риска в Северном Каспии.** Основная задача анализа риска заключается в том, чтобы предоставить объективную информацию об условиях выполнения проектов и проектных решений или о состоянии промышленного объекта лицам, принимающим решения в отношении безопасности анализируемого объекта. Общий ход анализа рассматривается обычно как выполнение следующих этапов:

*идентификация опасностей* — изучение природных условий, характера технологических операций, состояния окружающей среды, выделение опасностей;

*анализ вероятностей событий* — ретроспективный анализ деятельности в сходных природных и технологических условиях с точки зрения безопасности;

*анализ последствий* — определение опасных факторов и их влияния на развитие событий («передаточная функция»);

*оценка риска* — ранжирование рисков, выделение рисков высокого уровня и их оценка

Применительно к Северному Каспию, где опыт освоения природных ресурсов относительно небольшой, важным элементом анализа риска является анализ промышленной практики в сходных условиях. Для Северного Каспия выбраны следующие объекты, параметры которых использованы для ретроспективного анализа и последующей адаптации уже к исследуемому объекту:

природные опасности и опасные факторы акватории Северного Каспия;

опасные факторы и аварии на технологических объектах прилегающих районов (Астраханское ГКМ, Тенгиз);

результаты анализа мирового опыта на континентальном шельфе (Мексиканский залив, Северное море, Южный Каспий).

Для каждого объекта существует свой «пакет рисков», в области перекрытия которых необходима их суммация.

Разведка и разработка нефтяных месторождений в Каспийском регионе связана с рядом природных опасностей, которые играют определяющую роль при заложении скважин, морских разработках, проводке трубопроводов и строительстве морских терминалов. Эти опасности характеризуются локализацией, частотой встречаемости и величиной ущерба при производственной деятельности [8—10].

Природные опасности создают условия для развития неблагоприятных событий в процессе производственной деятельности. В этом случае они действуют как факторы природных опасностей, создавая соответствующую среду для технологических операций. Для акватории Северного Каспия характерен следующий набор этих опасностей и соответствующих факторов.

#### ***Природные опасности:***

аномально высокие давления;  
сероводород и меркаптаны;  
опасные геологические структуры;  
газонасыщенные зоны;  
рыхлые осадки;  
изменения уровня моря  
и нагонные явления;  
волны и течения;  
ледовые условия

#### ***Факторы природных опасностей:***

выбросы нефти и газа;  
загрязнение воздуха и воды;  
оседание поверхности;  
землетрясения;  
газовые грифоны;  
слабые грунты;  
ветровое воздействие;  
течения и волны;  
дрейфующие льды

В настоящее время проведен большой комплекс исследований по природной обстановке Северного Каспия, имеется достаточный материал по гидрологии, инженерной геологии, опасным геологическим процессам. Перед бурением проводится комплекс инженерно-геологических изысканий. Компания показала пример разработки и реализации корпоративной комплексной программы природоохранной деятельности в акватории Северного Каспия. НК «ЛУКОЙЛ» поддержала ряд фундаментальных и прикладных исследований в области экологии и проявила открытость, опубликовав результаты своих исследований в области экологии Северного Каспия. Таким образом заложена основа для разработки государственных и межгосударственных природоохранных программ для Каспия на ближайшие годы.

Однако ряд природных процессов — колебания уровня моря, экстремальные нагоны, ледовые условия — требуют особого внимания с учетом большого периода разработки месторождений. Хотя Каспий не относится к северным морям, ледовые условия в северной его части создают серьезные проблемы при освоении углеводородных ресурсов. Ледовый период в Северном Каспии может продолжаться более 3 месяцев. Колебания уровня моря в условиях высокой ветровой нагрузки существенно усложняют ледовую обстановку, ведут к формированию торосов и стамух, представляющих опасность как для стационарных платформ, так и для линейных сооружений. В этих условиях необходимо использовать весь набор существующих методов и средств для защиты оборудования нефтегазовых комплексов от воздействия ледовых образований с учетом глубины моря и гидрологических особенностей Северного Каспия.

**Статистические параметры** (вероятность различных событий) определяются на основе данных анализа событий в сходных природных, производственных и социальных условиях с последующей адаптацией их к исследуемому объекту. Такой анализ, потребовавший огромных затрат, выполнен зарубежными исследователями для морских разработок, и статистика аварий и катастроф приводится в материалах компаний и ряде опубликованных работ [11]. Статистические параметры необходимы для количественной оценки риска.

Количественная оценка риска заключается в определении ущерба при условии определения частоты его реализации. Ущерб в натуральном выражении для технологических рисков связан с разрушениями различной степени техногенных объектов (механизмов, машин, конструкций, зданий и т. п.), с потерями сырья энергоносителей, продукции и т. п., а также с нарушениями технологических процессов.

Для людей ущерб в натуральном выражении может быть определен в показателях травматизма, включая смертельный, в потерях трудоспособности и т. п. Эти показатели могут быть использованы для определения риска от аварии для одного человека (индивидуальный риск), для группы людей (групповой риск), для персонала, обслуживающего данный объект, для местного населения и т. д.

Экологические риски в рассматриваемых случаях определяют в зависимости от вероятности разлива (выбросов, сброса) конкретного объема нефти, газоконденсата или другого загрязняющего вещества при разных опасных событиях.

В стандарте ОАО «ЛУКОЙЛ» СТП-01-02-2002, разработанном на основе базы данных и опыта освоения морских месторождений, приводятся значения критерия приемлемого риска, которые являются обязательными при проектировании объектов обустройства месторождений на море. Эти значения следующие (табл. 1 построена с учетом вида опасности). В случае превышения уровня риска по сравнению с табличными данными необходимо провести соответствующие мероприятия по снижению уровня (демпфированию) риска.

Приведенные параметры, строго говоря, не соответствуют понятию «риск», а отражают его вероятностную составляющую. В нем отсутствует такая характеристика, как «вес события» или «тяжесть аварии», что может существенно изменить действительную оценку риска. Поэтому уже при качественном анализе риска широко применяются т. н. «матрицы риска», построенные на соотношении «вес события — вероятность события», и оценку риска производят на основании позиции этого события на «матрице»:

выделение основных видов операций (систем) (строительство платформ, бурение скважин, добыча нефти и газа, транспорт углеводородов);

декомпозиция систем с целью выделения частных операций и построения частных моделей;

оценка «передаточной функции» между природными опасными факторами и частными технологическими операциями;

оценка последствий и их ранжирование.

Таблица 1

Критерии приемлемого риска. Стандарт СТП-01-02-2002

Вид опасности	Значения критерия приемлемости риска (частота гибели человека из категории «персонал платформы» в год)
<i>Природный риск</i>	
Выбросы из скважин	$1 \cdot 10^{-6}$
Разрушительные сейсмические колебания	$1 \cdot 10^{-7}$
Разрушительные штормовые нагрузки	$1 \cdot 10^{-7}$
Разрушительные ледовые нагрузки	$1 \cdot 10^{-7}$
<i>Технологический риск</i>	
Производственные опасности	$7 \cdot 10^{-4}$
Пожары, обусловленные утечками добываемых пластовых флюидов из технологических систем	$3 \cdot 10^{-4}$
Пожары, обусловленные утечками дизельного топлива из технологических систем	$1 \cdot 10^{-5}$
Разрушения конструкции из-за столкновений судов с платформой	$2 \cdot 10^{-6}$
Пожары и взрывы, обусловленные авариями технологических систем	$3 \cdot 10^{-5}$
Авария транспортного буксирного судна	$1 \cdot 10^{-5}$
<i>Социальный риск</i>	
Падающие предметы	$1 \cdot 10^{-6}$
Падение вертолетов при транспортировании персонала	$1 \cdot 10^{-5}$
Гибель персонала, работающего на платформе, при падении вертолетов	$5 \cdot 10^{-7}$
Гибель персонала при эвакуации	$7 \cdot 10^{-5}$

Анализ риска сложных природно-технологических систем — весьма трудоемкий процесс, требующий привлечения квалифицированных специалистов из различных областей знаний. В соответствии с методическими указаниями по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД 03-418-01) была принята следующая последовательность операций:

1. «Анализ видов и последствий отказов». Метод был модифицирован к природным условиям Северного Каспия с соответствующим набором природных опасностей и опасных факторов. Основой для анализа является разработанная нами «матрица системных связей природных опасностей и безопасности технологических операций», которая позволяет анализировать влияние опасных факторов на соответствующие технологические операции. Каждому такому сочетанию дается экспертная оценка уровня риска (высокий, средний, низкий и отсутствие риска), т. е. балльная оценка. Баллы могут складываться, что может характеризовать интегральную оценку риска для сочетаний операций или операции в целом. Таким образом, этот подход носит черты полуколичественной оценки риска и может стать основой для последующего ранжирования рисков и выбора наиболее значимых событий для детальных исследований.

2. После ранжирования рисков на основе качественного анализа проводится количественная оценка риска наиболее значимых событий и отказов. Вероятностные параметры выбираются на основе существующих баз данных, полученных при освоении месторождений нефти и газа на море. Оценка ущерба определяется на основе разработок и рекомендаций, выполненных различными авторами, и стоимости оборудования и материалов, которые используются при освоении морских месторождений в Северном Каспии.

3. На основании результатов анализа определяются опасные факторы, которые формируют различные виды риска, и разрабатываются мероприятия по снижению риска до приемлемого уровня.

Такой подход был нами использован для предпроектного анализа планов по освоению месторождений нефти и газа на акватории Северного Каспия, в данном случае это «Концепция обустройства месторождений Северного Каспия», разработанная в ООО «ЛУКОЙЛ-ВолгоградНИПИморнефть». Ниже рассматривается вариант по оценке риска при строительстве платформ на акватории Северного Каспия.

Операции по строительству платформ разбиваются на ряд циклов: транспортировка элементов — монтажные работы — эксплуатация платформы — демонтаж. Опасность (опасные ситуации) может меняться от этапа к этапу, но в целом она возникает в связи со следующим:

утратами оборудования на плаву (что может привести к недостаточной устойчивости или плавучести);

столкновениями на всех этапах;

потерей устойчивости при монтаже тех или иных конструкций либо при посадке на мель во время буксировки;

влиянием давления воды при транспортировке палубы на платформу;

влиянием нагрузок от воздействия волнений/течений, а также в специфических условиях мелководья и слабых грунтов;

влиянием торосов и ледяных валунов, возникающих перед платформой;

угрожающей высотой торосов, что может привести к их соприкосновению с оборудованием на палубе и т. д.

Во время эксплуатации платформ опасности также связаны:

с взрывами/пожарами;

с возможными осложнениями в процессе буровых работ, например фонтанированием нефти;

с возможным загрязнением среды во время погрузочно-разгрузочных работ или транспортировки.

На матрице системных связей для операций, связанных со строительством и эксплуатацией платформ, на основе экспертных оценок выделены четыре категории (уровня) воздействия природного фактора на технологические операции:

+++ высокий уровень;

++ средний уровень;

+ низкий уровень;

- отсутствие риска.

Данный подход, по сути, дает основу для оценки «передаточной функции», что позволяет в дальнейшем перейти к ранжированию рисков.

Пример «матрицы системных связей». Строительство платформ:

Природные опасности	Технологические операции				Сумма
	Транспорт	Монтаж	Эксплуатация	Демонтаж	
Ветры, волны	+	++	+	++	6
Ледовая обстановка	-	-	+++	-	3
Лито-динамические процессы	-	++	++	++	6
Газо-проявления	-	+	+++	++	6
Разломные структуры	-	-	++	-	2
АВПД	-	-	++	-	2
Сероводород	-	-	++	-	2
Сумма	1	5	15	6	27

По полученной сумме баллов проводится ранжирование рисков, выделяются риски высокого ранга, ведущие к возникновению крупных аварий, в результате чего происходит уничтожение платформы, разрушение основного оборудования, смертельные случаи, значительный ущерб для окружающей среды.

На основании качественной оценки риска выделены следующие события (отказы), которые требуют более детального рассмотрения и более точной оценки. К таким событиям относятся:

- 1) разрушение платформы в результате дрейфа льда;
- 2) разрушение платформы в результате выбросов «верхнего» газа, образования грифонов и разрушения устьевого оборудования скважины;
- 3) открытый выброс нефти и газа при бурении скважины. Ситуация будет осложняться присутствием сероводорода (месторождение Хвалыинское);
- 4) утечки нефти и газа из эксплуатационных скважин, загрязнение моря и пожарная опасность на платформах;
- 5) утечки нефти и газа при транспорте по трубопроводам и танкерных операциях. Загрязнение моря.

Аналогичные матрицы были построены и проанализированы для таких крупных блоков, как бурение скважин, добыча нефти и транспорт нефти.

**Анализ последствий и ранжирование рисков.** В последние годы сделаны шаги, чтобы более строго обосновать количественный подход к зависимости составляющих риска — веса и вероятности, используя принципы термодинамики. Весьма часто под безопасностью понимается способность объекта, явления, процесса сохранять свою сущность и основную характеристику в условиях целенаправленного, разрушающего воздействия извне и в самом объекте, явлении, процессе. При этом указанному целенаправленному, разрушительному воздействию, обычно связанному с определенными угрозами и опасностями, дается количественная оценка с использованием категории риска.

Современные научные достижения по прогнозу развития сложных динамических систем позволяют при количественной оценке риска полагаться в основном на параметры крупных аварий (катастроф), что значительно упрощает расчеты. Так, при оценке риска при освоении морских месторождений, если будут использоваться наиболее современные технологии бурения и добычи, можно принять на основе такого подхода, что соотношение между количеством добываемой и теряемой при возможных аварийных разливах нефти не превысит 1 тонны на 1 миллион тонн добываемой нефти. Приведенная оценка может использоваться для расчета стоимостных характеристик при возможном загрязнении морской среды на определенном этапе проработки проектных решений.

При оценке природных опасностей необходимо исходить из многофакторности их влияния на различных участках акватории и изменении их свойств во времени. Поэтому имеет смысл оценивать их последствия на основе построения частных моделей. Интегральные риски оцениваются на основе сложения рисков, рассчитанных по частным моделям. Такой подход к оценке риска является общепринятым, поэтому принимается следующая схема оценки риска при проведении технологических операций в Северном Каспии.

Количественная оценка риска заключается в определении ущерба при условии определения частоты его реализации. Ущерб в натуральном выражении для технологических рисков связан с разрушениями различной степени техногенных объектов (механизмов, машин, конструкций, зданий и т. п.), с потерями сырья, энергоносителей, продукции и т. п., а также с нарушениями технологических процессов, с учетом стоимости оборудования и операций и статистических параметров, необходимых для количественной оценки риска.

Согласно сценарию события формируются поля опасности вокруг источника в зависимости от условий распространения (дисперсии) опасных факторов и числа объектов (люди, природные, техногенные и биологические объекты), которые находятся в зоне их деятельности. Поэтому для определения риска в стоимостном выражении необходимо знать:

- стоимость оборудования;
- стоимость человеческой жизни;
- стоимость объектов окружающей среды;
- динамику формирования полей опасных факторов;
- вероятностные параметры возникновения и распространения опасностей и опасных факторов.

На основе базы данных, сформированной на ретроспективном подходе на основе истории освоения морских месторождений в других районах, вероятность основных неблагоприятных событий можно оценить в районе  $n \cdot 10^{-3}$ , тогда при общей стоимости проекта освоения морских месторождений Северного Каспия  $4 \cdot 10^9$  долл. США стоимость рисков составит порядка  $n \cdot 4$  млн долл. Это примерно соответствует стоимости, предусмотренной стандартом СТП-01-025-2002. Относительно небольшая стоимость интегрального риска обусловлена тем, что Компания уже вложила значительные суммы в проведение гидрологических и инженерно-геологических изысканий, закупку оборудования и обучение персонала, что должно существенно снизить стоимость рисков.

Эти цифры могут служить ориентиром для определения затрат на проведение дополнительных мероприятий по уменьшению уровня технологического риска по организационным и обучающим программам для персонала и экономической деятельности по страхованию рисков.

Проведенный анализ рисков при реализации проектов при освоении месторождений в Северном Каспии позволил наметить ряд явлений, которые могут вызвать затруднения при проведении технологических операций:

1) достаточно продолжительный ледовый период (4 месяца) при условии круглогодичной добычи нефти и газа создает ряд проблем. В этот период проблематично будет транспортировать отходы на берег, поэтому необходимо предусмотреть мероприятия по созданию дополнительных емкостей для сбора жидких и твердых отходов на технологических платформах;

2) изменение стоимости и эволюция рисков при разработке морских месторождений. Это связано с бурением новых стволов на одном основании, развитием новых процессов при разработке (например, обводнение продукции и необходимости сброса подтоварных вод), подключением к разработке вновь открываемых месторождений;

3) существенный уровень трансграничных рисков, связанный с разработкой месторождений, содержащих в продукции сероводород и меркаптаны

(Тенгиз, в ближайшем будущем и Кашаган) [12—14]. Стоимость токсикологических и экологических рисков будет многократно превышать существующие риски, и их масштаб может оказаться беспрецедентным по своим последствиям для всего Каспийского региона;

4) существующая в настоящее время база данных по истории освоения морских месторождений не позволяет в полной мере произвести детальную оценку риска для многих операций. Это связано, прежде всего, с отсутствием доступа к информации по опыту работ на шельфе иностранных компаний, состоянием фонда работающих и ликвидированных скважин, а также отсутствием данных о стоимости оборудования и технологических операций при разведке и разработке месторождений.

**Управление риском.** Выполненные исследования показали большой набор рисков, которые сопровождают процессы освоения морских месторождений в северном Каспии. Все эти риски должны быть своевременно оценены и приняты адекватные меры по их ослаблению и страхованию. Правильное использование механизмов распределения рисков, их передачи и продажи может принести существенный экономический эффект и застрахует компанию от серьезных финансовых потерь.

Управление каждым видом риска связано с соответствующими законами, инструкциями, внутригосударственными и межгосударственными соглашениями и другими юридическими документами. Все это значительно расширяет и углубляет сферы деятельности нефтяной компании и усложняет методы оценки риска и механизмы принятия решений.

В настоящее время наибольший опыт морских разработок имеется для Южного Каспия, где в течение более чем полувека осуществляется разведка и разработка нефтяных месторождений на море. Как технологические аварии, так и последствия загрязнения моря в районе Апшеронского полуострова создали необходимую базу данных, на основе которой уже может строиться технологическая и экологическая политика освоения месторождений на Северном Каспии. Следует подчеркнуть, что месторождения Северного Каспия, которые «НК ЛУКОЙЛ» подготовила к разработке, расположены в зоне, где природные опасности намного слабее, чем в Казахском и Азербайджанском секторах. Несмотря на это, предыдущий опыт в полной мере был учтен при формировании политики НК ОАО «ЛУКОЙЛ» в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды при освоении месторождений нефти и газа в Северном Каспии, основные аспекты которой опубликованы в 2003 г.

Эта программа представляет систему экологической безопасности, направленную на исключение ущерба окружающей среде и минимизацию негативных последствий технологических операций на экосистему Северного Каспия. Основными элементами системы являются подсистема управления отходами, подсистема борьбы с аварийными сбросами, подсистема компенсационных мероприятий и подсистема мониторинга окружающей среды.

Так как риск имеет стоимостное выражение, то основным методом его управления является экономический. Страхование рисков — наиболее популярный метод управления. Реализация мероприятий по управлению рисками приводит к перераспределению денежных потоков внутри организации. Согласно рекомендациям, анализ эффективности финансовых решений по

управлению риском может быть произведен при помощи методов анализа денежных потоков, с учетом различных факторов.

**Заключение.** В настоящее время выполнен ряд работ, где был проведен анализ имеющихся материалов по нормативной базе и методологии анализа риска применительно к задачам проектов по освоению месторождений нефти и газа в Северном Каспии. Была проведена оценка риска для ряда операций в проектах по бурению скважин на акватории Северного Каспия. Проведены масштабные работы по гидрологическим условиям Северного Каспия, строению и инженерно-геологическим условиям верхней зоны осадочного чехла, открыты месторождения нефти и газа и определены их гидрогеологические и геохимические параметры, что позволяет оценить природные опасности региона в полном объеме и учитывать их при проведении технологических операций. В настоящее время из нефтяных компаний, работающих на Каспии, только компания «ЛУКОЙЛ» в полном объеме реализует на практике принцип «нулевого сброса». Все виды загрязненных сточных вод накапливаются и хранятся на СПБУ в специальных емкостях и регулярно (не реже одного раза в неделю) с помощью ТБС транспортируются на специализированные береговые комплексы.

Промышленная безопасность района работ оценивается на основании мирового опыта морских разработок на континентальном шельфе. С нашей точки зрения она недостаточно полна. Однако уже этот опыт позволяет оценить вероятностные параметры аварий различного характера и различной тяжести за достаточно длительный период и на большом массиве информации с учетом базы данных по природным опасностям Северного Каспия.

До настоящего времени мировой опыт освоения континентального шельфа не охватил месторождения сероводородсодержащих нефтей и газов. Отдельные месторождения природного газа в Северном море и Гвинейском заливе пока не представили достаточной информации по условиям их разработки. В то же время в Казахстане, на границе с лицензионными участками российского сектора Каспийского моря, готовится к разработке гигантское месторождение Кашаган, характеризующееся наличием АВПД, высоким содержанием сероводорода и меркаптанов. В результате в ближайшие годы будет сформирована серьезная угроза для морских разработок российского сектора, с которой придется считаться в первую очередь. Это событие будет уникальным в мировой практике трансграничных угроз и потребует упреждающих разработок компании, чтобы заблаговременно подготовиться к формирующейся угрозе.

Разведка и разработка месторождений на Северном Каспии происходит на фоне серьезных нарушений экосистемы Каспийского моря. В 2000 г. в связи с подъемом уровня Каспийского моря было затоплено более 100 скважин на месторождениях Каражанбас и Каламкас на полуострове Бузачи. Многие из этих скважин не были законсервированы. Наблюдающиеся в последние годы эпидемии каспийских тюленей, гибель перелетных птиц и уменьшение численности рыб показывает, что необходимы новые усилия прибрежных государств к регулированию деятельности нефтяных компаний и организации исследовательских работ по спасению экосистемы Каспийского моря.

Пример НК «ЛУКОЙЛ» показал, что решение масштабных экологических проблем Каспия невозможно без активного участия нефтяных компа-

ний, обладающих большими финансовыми возможностями. Прикаспийские страны могут использовать этот шанс для улучшения состояния экосистемы Каспия, если начнут плодотворно взаимодействовать как с нефтяными компаниями, так и между собой.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка токсикологического риска и формирование градостроительной политики / Л. А. Анисимов, Г. И. Худяков, С. И. Солдаткин, О. Л. Анисимова // Оценка и управление природными рисками. М. : Анкил, 2000. С. 336—340.
2. Multi-Hazard risk analysis: case of a simple offshore structure. Technical Report NCEER-88-0023 Princeton University. Princeton, NY, 1988. 80 p.
3. Spouge J. (Principal Autor). A guide to Quantitative risk Assessment for offshore operation. DNV Technica publication 99/100a, СМРТ, 1999. 744 p.
4. Vinnem J. E. Offshore Risk Assessment. Kluwet, 2<sup>nd</sup> ed. 2007. 558 p.
5. Risk Assessment Application for Marine and Offshore Oil and Gas Industries. June 2000. American Bureau of shipping, Houston, TX, USA, 2000. 150 p.
6. Анисимов Л. А., Чурсина М. Е. Проблемы экологической и технологической безопасности при освоении месторождений Северного Каспия // Проблемы освоения Прикаспия и шельфа Каспийского моря. Волгоград, 2004. Вып. 63. С. 163—168.
7. Nadim F. and Kvalstad T. J. Risk Assessment and Management for Offshore Geohazards // ISGSR-2007. First Int. Symposium of Geotechnical Safety Risk. Oct. 18—19, 2007. Shanghai, China. P. 159—173.
8. Анисимов Л. А., Делия С. В. Природные опасности и проблемы освоения месторождений Северного Каспия // Юбилейная конференция, посвященная 75-летию ВНИГРИ «ТЭК России — основа процветания страны». Санкт-Петербург, 2004. С. 94—98.
9. Anisimov L. A., Deliya S. V. Natural hazards and risks in the North Caspian Basin // Natural cataclysms and global problems of the modern civilization. Int. Symposium, 24—27 September, 2007, Baku. P. 246—249.
10. Алексеев А. Г. Инженерно-техническое обеспечение экологической безопасности геолого-разведочных работ ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» на Каспийском море // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 5. С. 14—19.
11. Lacasse S., Nadim F. Probabilistic geotechnical analyses for offshore facilities // Georisk. Vol. 1. Iss. 1. 2007, pp. 21—42.
12. Анисимов Л. А. Анализ риска при освоении залежей сернистых газов в Каспийском регионе // Поиски и добыча нефти в трудных условиях: региональн. Междунар. конф., Санкт-Петербург, 15—18 июля, 2001 г. СПб., 2001. P. П-9.
13. Анисимов Л. А. Распространение сероводорода в регионе Каспийского моря и вопросы сероводородной безопасности // Проблемы экологической безопасности Нижнего Поволжья в связи с разработкой нефтегазовых месторождений с высоким содержанием сероводорода. Саратов : СГУ, 1998. С. 194—196.
14. Granneman C., Goris A. Kazakhstan, offshore Exploration on the Caspian Sea // Terra and Aqua. № 82, 2001. March. Pp. 20—36.

© Анисимов Л. А., Банькин К. И., Донцова О. Л., 2015

Поступила в редакцию  
в декабре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Анисимов Л. А., Банькин К. И., Донцова О. Л. Анализ рисков при строительстве и эксплуатации нефтегазовых сооружений в Северном Каспии // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 54—67.

Об авторах:

**Анисимов Леонид Алексеевич** — д-р геол.-минерал. наук, профессор, профессор кафедры морских нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [l\\_anisimov@yahoo.com](mailto:anisimov@yahoo.com)

**Банькин Кирилл Иванович** — аспирант кафедры морских нефтегазовых сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Донцова Ольга Леонидовна** — канд. географ. наук, доцент кафедры региональной и морской геологии, Кубанский государственный университет. Российская Федерация, г. Крансодар, ул. Ставропольская, 149, [anisimovaol@mail.ru](mailto:anisimovaol@mail.ru)

**L. A. Anisimov, K. I. Ban'kin, O. L. Dontsova**

## RISK ANALYSIS AT BUILDING AND OPERATION OF OIL AND GAS CONSTRUCTIONS IN THE NORTH CASPIAN OFFSHORE

Risk analysis methodology has been adapted for the oil and gas field development in the North Caspian offshore. The authors distinguish natural, technological, ecological, transport and political risks and evaluate them according to the realization of the concept of field development in the North Caspian offshore. On the basis of risk qualitative evaluation and ranking the remarkable operations and events are provided, on the basis of which risk quantitative assessment has to be carried out.

**Key words:** risk, oil and gas fields, North Caspian.

### REFERENSES

1. Anisimov L. A., Khudyakov G. I., Soldatkin S. I., Anisimova O. L. [Assessment of Toxicological Risk and Formation of Town-Planning Policy]. *Otsenka i upravlenie prirodnyimi riskami* [Assessment and Management of Natural Risks]. Moscow, Ankil Publ., 2000, pp. 336—340.
2. Multi-Hazard risk analysis: case of a simple offshore structure. Technical Report NCEER-88-0023 Princeton University. Princeton, NY, 1988. 80 p.
3. Spouge J. (Principal Autor). *A guide to Quantitative risk Assessment for offshore operation*. DNV Technical publication 99/100a, CMPT, 1999. 744 p.
4. Vinnem J. E. *Offshore Risk Assessment*. Kluwet, 2<sup>nd</sup> ed. 2007. 558 p.
5. *Risk Assessment Application for Marine and Offshore Oil and Gas Industries*. June 2000. American Bureau of shipping, Houston, TX, USA, 2000. 150 p.
6. Anisimov L. A., Chursina M. E. [Problems of Ecological and Technological Safety at Development of Fields in North Caspian]. *Problemy osvoeniya Prikaspiya i shel'fa Kaspiiskogo morya* [Problems of the Development of Caspian Sea Region and the Shelf of the Caspian Sea]. Volgograd, 2004. iss. 63, pp. 163—168.
7. Nadim F. and Kvalstad T. J. Risk Assessment and Management for Offshore Geohazards. *ISGSR-2007. First Int. Symposium of Geotechnical Safety Risk. Oct. 18—19, 2007*. Shanghai, China. Pp. 159—173.
8. Anisimov L. A., Deliya S. V. [Natural Dangers and Problems of the Development of Fields in North Caspian]. *Yubileinaya konferentsiya, posvyashchennaya 75-letiyu VNIGRI «TEK Rossii — osnova protsvetaniya strany»* [Fuel and Energy Complex of Russia — Basis of Prosperity of the Country. Proc. Conf.]. St. Petersburg, 2004, pp. 94—98.
9. Anisimov L. A., Deliya S. V. Natural hazards and risks in the North Caspian Basin. *Natural cataclysms and global problems of the modern civilization*. Int. Symposium, 24—27 September, 2007, Baku. Pp. 246—249.
10. Alekseev A. G. [Engineering and technical support of environmental safety of «LUKOIL—Nizhnevolzhskneft» Ltd. geological prospecting operations in the Caspian Sea]. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse* [Environment Protection in Oil and Gas Complex], 2013, no. 5, pp. 14—19.
11. Lacasse S., Nadim F. Probabilistic geotechnical analyses for offshore facilities. *Georisk*, 2007, 1(1), pp. 21—42.
12. Anisimov L. A. [Analysis of Risk at the Development of Deposits of Sulfur Gases in Caspian Region]. *Poiski i dobycha nefi v trudnykh usloviyakh: regional'naya Mezhdunarodnaya konferentsiya, Sankt-Peterburg, 15—18 iyulya, 2001 g.* [Searches and oil production under difficult conditions. Regional Int. Conf., St. Petersburg, July 15—18, 2001]. St. Petersburg, 2001. P.P-9.
13. Anisimov L. A. [Distribution of Hydrogen Sulfide in the Region of the Caspian Sea and Issues of Hydrosulphuric Safety]. *Problemy ekologicheskoi bezopasnosti Nizhnego Povolzh'ya v svyazi*

*s razrabotkoi neftegazovykh mestorozhdenii s vysokim sodержaniem serovodoroda* [Problems of Ecological Safety of Lower Volga Area due to the Development of Oil and Gas Fields with High Concentration of Hydrogen Sulfide]. Saratov, SGU Publ., 1998, pp. 194—196.

14. Granneman C., Goris A. Kazakhstan, offshore Exploration on the Caspian Sea. *Terra and Aqua*, no. 82, 2001. March. Pp. 20—36.

*For citation:*

Anisimov L. A., Ban'kin K. I., Dontsova O. L. [Risk analysis at building and operation of oil and gas constructions in the North Caspian offshore]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 54—67. (In Russ.).

*About authors:*

**Anisimov Leonid Alekseevich** — Doctor of Geological and Mineral Science, Professor, Professor of Sea Oil and Gas Constructions Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [l\\_anisimov@yahoo.com](mailto:l_anisimov@yahoo.com)

**Ban'kin Kirill Ivanovich** — Postgraduate student of Sea Oil and Gas Constructions Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Dontsova Ol'ga Leonidovna** — Candidate of Geographic Science, Docent of Regional and Sea Geology, Kuban State University. 149, Stavropol'skaya St., Krasnodar, Russian Federation, [anisimovaol@mail.ru](mailto:anisimovaol@mail.ru)

УДК 528.92:004

**В. Н. Анопин<sup>а</sup>, А. С. Рулев<sup>б</sup>, С. А. Матовников<sup>а</sup>, Н. Г. Матовникова<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

<sup>б</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации*

### **КАРТОГРАФИРОВАНИЕ УРБОЛАНДШАФТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Изложены результаты анализа и обобщения разработок в области картографирования деградированных ландшафтов для планирования их рационального использования и мелиорации. Представлены материалы исследований, раскрывающие особенности информационных технологий картографирования различных категорий урболандшафтов сухостепной зоны при проектировании городского зеленого строительства.

**Ключевые слова:** геоинформационное картографирование, урболандшафт, деградация, аэрокосмические исследования.

Главным назначением ландшафтного планирования и проектирования является выполнение разработок строительства хозяйственно эффективных, экологически благоприятных, высоко эстетичных объектов, представляющих собой предмет ландшафтного искусства [1, 2]. Проектирование работ зеленого строительства должно выполняться по материалам детального изучения состояния и последующего картографирования городских и пригородных территорий. Выполнение работ ландшафтно-эстетического дизайна базируется на разработках ландшафтных архитекторов и специалистов в области садово-паркового и лесопаркового строительства. Оно может быть рациональным только при использовании методик составления серий или блоков электронных ландшафтно-планировочных карт культурных ландшафтов, созданных с использованием географических информационных систем (ГИС), а также методов наложения и варьирования компонентными и отраслевыми векторными и растровыми картами применительно к модельным территориям микро- и мезорегиональных масштабов [1].

Проведение исследований в области картографирования антропогенно и, особенно, техногенно измененных урболандшафтов имеет сложности, обусловленные: а) большими объемами разнородной информации; б) необходимостью изучения и учета экологических и социально-экономических факторов, материалы о которых обычно представлены в виде качественных характеристик; в) недостаточной разработанностью методик проведения комплексной оценки экологических факторов и процессов; г) проблематичностью совмещения их показателей друг с другом в пространственно-временной динамике и, в итоге, сложностью построения оценочно-прогнозных моделей [3].

Преодоление изложенных трудностей возможно при использовании созданных на базе современных электронных средств обработки информации геоинформационных технологий (ГИС-технологий). ГИС-технологии дают возможность интеграции картографо-аэрокосмического мониторинга и методов математического моделирования и компьютерного картографирования в

единый процесс, обеспечивающий перевод исследований и обработку их результатов на качественно новый уровень.

В Западной Европе и США работы по созданию и использованию ГИС ведутся в течении последних 50 лет. В нашей стране первые публикации по ГИС появились в середине 1980-х годов [3]. Развитие ГИС происходило на базе информационно-поисковых систем, которые, в основном, использовались в качестве инструмента автоматизированного составления карт. Позднее ГИС стали выполнять функции математико-картографического моделирования и автоматизированного воспроизведения карт. Воспринимая карту как инструмент для пространственного анализа географического материала и выделяя подсистему пользователя [4, 5], ГИС нашли применение и в работах по направлениям использования карт. В настоящее время основной задачей практически всех ГИС является создание различных карт или выполнение разработок с использованием картографического материала как источника информации.

В процессе научных исследований и разработок в области ГИС на стыке геоинформатики и картографирования возникло новое направление — геоинформационное картографирование, являющееся продолжением комплексного или системного картографирования в электронной среде [6, 7].

Геоинформационное картографирование интегрирует достижения дистанционного зондирования, космического картографирования, картографического метода исследований и математико-картографического моделирования. При его выполнении обработка информации реализуется на основе системы математических моделей. В настоящее время используют три разновидности моделей: 1) модели, разработанные без пространственного координирования явлений; 2) модели, в которых исходные данные координируются, но без учета на этапе реализации математических алгоритмов пространственного аспекта; 3) модели, вообще не выполняющие пространственного учета явлений, характеризующиеся сложностью реализации математических расчетов [8, 9].

Наиболее перспективной является разработка моделей «пространственной статистики» [10, 11]. Пространственный статистический анализ включает математические и картографические модели в системе «создание — использование» карт [12]. Это комбинационное моделирование обеспечивает возможность использования сильных сторон каждой из компонент: математической для формализации и автоматизации исследований и картографической для придания им пространственной наглядности. В процессе математико-картографического моделирования могут быть созданы не только элементы, состоящие из одного звена модели, но и сложные — цепеобразные, сетевые и древовидные комбинации, в которых чередование модели и карты позволяет оптимизировать процесс моделирования.

В большинстве ГИС в качестве одного из основных элементов выступает блок визуализации данных, в котором важную роль играют графические и картографические построения. При этом картографический модуль ГИС, являясь элементом интерфейса пользователя и средством документирования итоговых результатов, обеспечивает картографическое представление исходных производных или результирующих данных в виде цифровых, компьютерных и электронных карт.

На современном этапе разработки ГИС вышли за пределы картографии, став основой для интеграции частных географических и других (геоэкологических, градостроительных, почвенных, гидрогеологических) дисциплин в комплексных системных исследованиях при изучении сложных антропогенно-природных урбогеосистем и проектировании на урбанизированных территориях природоохранных и мелиоративных мероприятий. Компьютерная визуализация экологических данных изучаемых объектов находит все более широкое использование, так как практически все экологические проблемы и кризисные экологические ситуации возникают в конкретных природно-антропогенных системах. Без информации о пространственно-временных закономерностях их развития невозможно разработка научно обоснованных адаптивно-ландшафтных мероприятий, в т. ч. и планирование работ зеленого строительства [13].

Одним из основных источников данных для ГИС являются данные дистанционного зондирования, объединяющие все виды материалов, получаемых с носителей авиационного и космического базирования.

В нашей стране, начиная с 1930-х годов, выполняются аэрофотосъемки ее территории. Для большей части площади России имеются материалы нескольких съемок, проведенных через определенные временные периоды, дающие возможность изучения динамики состояния ландшафтов. Материалы аэрофотосъемки, предназначенные для создания топографических карт, широко применяются в лесном хозяйстве, защитном лесоразведении, сельском хозяйстве, при разведке месторождений полезных ископаемых и т. д. При выполнении картографирования для оценки деградационных процессов обычно используются черно-белые аэрофотоснимки (АФС), сделанные в весенне-летне-осенний период в масштабах 1:10000—1:70000, характеризующиеся высокой информативностью. Начиная с 1960-х годов начали накапливаться космические снимки, и к настоящему времени их фонд исчисляется десятками миллионов [14, 15]. Для их получения (выполнения космического дистанционного зондирования) используются разнообразные космические аппараты.

Существуют две технологии космических съемок: с фотографическими и со сканерными системами. Наиболее широко применяются фотоснимки, сделанные в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Космоснимки, поступающие с пилотируемых кораблей, орбитальных станций и автоматических спутников, характеризуются достаточно высоким качеством изображения. Имея разрешение, соответствующее на местности десяткам, а зачастую даже единицам метров, они обеспечивают возможность детального стереоскопического изучения объектов. Но при этом высокое качество изображения на снимках достигается только при отсутствии облачности, в результате чего регулярное покрытие территории фотоснимками космической съемки пока не обеспечивается. Нередко необходимые для мониторинга качественные повторные снимки одной и той же территории отсутствуют.

Для ликвидации возникающих проблем целесообразно использование материалов других типов съемки — телевизионных и сканерных снимков высокого разрешения, производимых с регулярной повторяемостью с ресурсных спутников. По сканерным снимкам хорошего качества, особенно синтезированным цветным, можно изучать состояние тех же объектов, что и на

фотоснимках. Другим их достоинством является возможность автоматизированного ввода в базы данных материала, поступающего в цифровом виде.

Для целей картографирования урболандшафтов, так же как и для ландшафтной мелиорации, наибольшее применение нашло использование черно-белых космических фотографических снимков, выполненных в видимом диапазоне спектра 600...700 Нм [16]. При их отсутствии эффективно использование черно-белых снимков, сделанных в узких диапазонах: 510...600, 600...700, 700...850 Нм, так как на них достаточно отчетливо распознаются и строения, и рельеф, и растительность.

Для картографирования ландшафтов на разных масштабных уровнях можно применять как аэро-, так и космические снимки, выполненные различной аппаратурой на разных видах пленок. Следует отметить, что четких рекомендаций по наиболее целесообразному применению снимков, произведенных с использованием различных типов приборов и оборудования, к настоящему времени не разработано.

В настоящее время очень большую актуальность приобретают вопросы теории и практики ландшафтного дешифрирования. Наряду с топографическим дешифрированием разработаны специальные его виды (геоэкологическое, геоморфологическое, геоботаническое, почвенное и другие), основывающиеся на выявлении зависимостей между свойствами объекта и характером его изображения на снимках.

Эффективность и достоверность дешифрирования в первую очередь зависит от полноты информации исследователя о ландшафтах изучаемой территории. Основные теоретические положения ландшафтоведения, связанные с понятием ландшафта и его морфологической структуры, сформировались в конце 40-х — начале 50-х годов XX века. Существуют определенные различия в содержании понятия «ландшафт», но при этом ни одна из трактовок не ставит под сомнение объективность и реальность исследуемых природно-территориальных комплексов.

Использование современных, уточненных для условий степной зоны технологий ландшафтного дешифрирования космических фотоснимков природных геосистем ранга ландшафт-местность в сочетании с сопряженным анализом топографических и тематических карт позволило коллективу отдела аэрокосмических методов исследований ВНИАЛМИ разработать классификацию и выполнить картографирование ландшафтов Волгоградской области с вычислением площадей, занятых различными ландшафтами и типами местностей [17].

При выполнении работ по распознаванию объектов в первую очередь учитывают отражательную способность поверхности снимаемой территории. Количество отраженного света зависит отряда факторов: характеристик самих объектов, их цвета, удаленности от точки фотографирования, взаимного положения солнца и фотоаппарата [18]. Отражательная способность не является одинаковой для различных лучей солнечного спектра. При дешифрировании элементов урболандшафтов, отличающихся большим набором подлежащих отображению объектов, учет этого факта дает дополнительные возможности использования различных видов снимков, так как некоторые объекты, плохо фиксирующиеся в видимой зоне спектра, четко регистрируются в инфракрасном диапазоне.

Геосистемы степных ландшафтов региона ранга «фация» характеризуются высокой яркостью и имеют максимум спектральной прямой в зеленой зоне [19]. Однако при крупномасштабном картографировании отдельное исследование каждой фации урболандшафта нецелесообразно вследствие их большого количества даже в пределах одного вида урочищ. Объединение сходных или близких по происхождению и биоценозу фаций в группы и типы позволяет выделять укрупненные участки с определенными различиями в методах их рекультивации и озеленения.

Каждому типу ландшафта соответствует определенная структура урочищ, которая на аэрофотоснимках находит отражение в определенном типе рисунка и текстуре фотоизображения. В структуре пригородных степных ландшафтов выделяется одно образующее общий фон определенное господствующее урочище (урочище-доминант). На фоне доминанта в ландшафте присутствует ряд второстепенных небольших урочищ, занимающих в целом не более 20...30 % его площади. На снимках эти ландшафты отображаются одним тоном с разбросанными по нему пятнами другой тональности (общий фон — доминант, отдельные пятна — второстепенные урочища). Второстепенные урочища (урочища-субдоминанты) проявляются в резко отличающихся условиях увлажнения, геолого-геоморфологической обстановки или ограниченного по площади техногенного воздействия.

Основным этапом аэрокосмического картографирования является полевое эталонирование снимков на ключевых участках [20]. В таксономическом отношении подлежат изучению и оценке урочища или группы фаций, которые можно различить на фотоизображениях, охарактеризовать и экстраполировать в пределах изучаемого полигона; масштаб картографирования 1:10000 — 1:50000.

Для полевого дешифрирования аэро- и космических фотоснимков используется метод комплексного или ландшафтного профилирования. В зависимости от сложности ландшафта на ключевом участке закладывается один или несколько профилей. Предварительно намечаются на снимках, затем уточняются на местности линии профилей. В нужном направлении выполняют разбивку, нивелирование хода и вычерчивают его профиль. На каждом выделенном на снимке контуре определяют литологический состав поверхностных отложений, форму рельефа или его элемента, почвенно-лесорастительные условия, увлажнение, характер преобразующих ландшафт современных экзогенных процессов. Особое внимание обращают на быстро-динамичные процессы деградации элементов урболандшафта (загрязнение поллютантами и промышленными стоками, эрозия, дефляция и др.).

В пределах ландшафтного профиля в каждой фации производят описание компонентов ландшафта по программам полевых исследований [21]. Основная информация о картографируемых урочищах или фациях регистрируется в специальных бланках.

Экстраполяция включает операции по камеральному дешифрированию ландшафтов исследуемых территорий по признакам, выработанным на ключевых участках. При выполнении полевого контроля осуществляют выборочную оценку достоверности и детальности дешифрирования на участках экстраполяции. Достоверность границ контуров должна быть не менее 95 %, а состава 90 %.

В настоящее время современные технологии электронного и компьютерного картографирования находятся в области практической реализации. Методы компьютерного картографирования стали основными инструментами в ландшафтно-экологической (геоэкологической) и мелиоративной картографии. Составление изолинейных карт деградации позволяет выполнять разработки по снижению негативных процессов.

Однако выполнение картографо-аэрокосмических исследований урбандиапазона осложняется возникновением ряда проблем вследствие большого объема информации и недостаточного соответствия содержания существующих методов выполнения работ по комплексной оценке деградационных процессов целям исследований. Решение этих вопросов возможно при разработке и дальнейшем использовании компьютерных технологий математико-картографического моделирования различных процессов, основанных на геостатистическом или пространственном анализе. В основе анализа лежит версия, предполагающая, что при массовом проявлении определенного признака выделяется ряд закономерностей, картографически выражающихся в виде «статистического рельефа», его распределения [22]. Этот «рельеф» отражает большое число факторов, сочетание которых хотя и по-разному изменяется от одной точки пространства к другой, но содержит устойчивые инвариантные характеристики.

Статистическая процедура пространственного сглаживания «рельефа» признаков позволяет путем снятия флуктуаций выделить «фоновую поверхность» (тренд), отражающую характер пространственного проявления ведущего фактора. Разница исходного и выровненного «рельефа» дает остаточную поверхность (поверхность «отклика»), содержащую информацию о локальных особенностях развития территории.

Квалифицированное проведение картографических исследований возможно только при четком представлении поля масштабов основных источников геоизображений (топографические и тематические карты, аэро-, космоснимки). Поле масштабов отражает ряд имеющих большое значение четких закономерностей: во-первых, имеет место связь уровня исследований и масштабов изображений, во-вторых, существуют оптимальные диапазоны использования геоизображений на разных иерархических уровнях, в-третьих, на фациальном уровне исследований крупномасштабные карты и аэроснимки близки по своему информационному потенциалу, в-четвертых, поле масштабов обеспечивает возможность выбора оптимальных сочетаний геоизображений.

В математическом понимании географическое поле — это распределение по земной поверхности определенного вида количественной оценки, каждая точка которой характеризуется конкретным показателем (скаляр). Скаляры могут отражать морфометрические параметры объектов или показатели скорости процессов (например, деградации ландшафтов). При разных показателях в различных точках территории они могут быть охарактеризованы пространственным, а при изменении и на площади, и во времени — пространственно-временным полем [23].

Поле процесса деградации элемента ландшафта может быть представлено в виде функциональной зависимости. Поля подразделяют на стационарные и нестационарные. Если процесс является функцией координат и времени,

что соответствует зависимости  $d = f_1(x, y, z, t)$ , где  $x, y, z$  — координаты точки;  $t$  — время, то поле — нестационарное (градиент по времени  $dt/d\tau = 0$ ). Когда явление с течением времени не изменяется ( $dt/d\tau = 0$ ) и является функцией координат, поле стационарное.

Существуют поля одномерные (линейные), двумерные (плоские) и трехмерные (пространственные). Если в двумерном поле соединить точки с одинаковыми показателями, то образуется система линий (изолиний), соответствующих выбранным показателям.

В целях облегчения расчетов, графических построений и анализа данных изолинии проводят так, чтобы разность значений параметров между ними  $\Delta D$  была постоянной по всему полю.

Отношение  $\Delta D$  к расстоянию между изолиниями  $\Delta n$  по нормали к ним при стремлении  $\Delta n$  к нулю является градиентом показателя деградации, т. е.

$$\text{grad} = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta D}{\Delta n} = \frac{\partial D}{\partial n}.$$

Вышеизложенное справедливо и для трехмерного пространства, в котором после соединения точек с одинаковыми параметрами образуются не изолинии, а изолинейные поверхности (поля).

При изучении деградационных процессов часто приходится сталкиваться с необходимостью интерполяции полей природных явлений, т. е. уточнения по данным имеющихся наблюдений значений той или иной характеристики в узлах расчетной сетки. В настоящее время применяют различные методы интерполяции, а также пакеты прикладных интерполяционных программ, которые позволяют в значительной степени упростить и ускорить выполнение необходимых расчетов.

В исследованиях урболандшафтов Волгоградской агломерации, выполненных с учетом вышеизложенных положений, использовался пакет прикладных программ (ППП) SURFER WINDOWS 6.04, включающий следующие методы интерполяции:

метод взвешенного (скользящего) среднего, называемый в зарубежной литературе *inverse distance* и являющийся одним из самых распространенных;

метод линейного проектирования для восстановления полей с малыми пространственными градиентами (*minimum curvature*), основанный на вычислении локальных наклонов (углов падения) поверхности изучаемого поля в каждой контрольной точке;

сплайновые методы, основанные на аппроксимации поля посредством степенных многочленов (сплайнов);

метод крайгинг (*kriging*), являющийся самым сложным, но наиболее эффективным, особенно при интерполяции полей на основе нерегулярных сетей (наблюдения рассматриваются как реализация случайного однородного процесса со стационарным приращением, т. е. процесса, у которого математическое ожидание разности наблюдений в любых двух точках равно нулю и дисперсия разностей зависит только от расстояния между точками наблюдений).

Для обеспечения необходимой точности составления изолинейных карт динамики необходима информация о минимальных интервалах времени между съемками. Величины изменений должны быть существенно выше оши-

бок распознавания. В соответствии с разработками Б. В. Виноградова [23] территории с ежегодными изменениями площадей нарушенных земель 0,5 % и менее квалифицируются как стабильные; в них периодичность съемки может быть 8 лет и более. При изменении площадей около 1 % они слабодинамичные, периодичность съемки 6—7 лет; около 2 % — среднединамичные, интервалы съемки 4—5 лет; около 3 % — сильнодинамичные, интервалы съемки 2...3 года; 4 % и более в год — очень сильнодинамичные, необходимы частые съемки вплоть до ежегодных.

Изолинейные картографические материалы обеспечивают возможность представления процессов деградации ландшафтов в виде моделей, являющихся целостными континуальными образами. Они являются скалярными полями, в которых можно выполнять операции сложения, вычитания, умножения, деления, дифференцирования и интегрирования. При исследовании состояния урбандиафтов Волгоградской агломерации возможна автоматизация проведения этих операций с применением компьютерного пакета прикладных программ (ППП) SURFER 6.04. Обработка материала начинается с выполнения операции точечной дискретизации. На рабочую карту наносится регулярная или нерегулярная (при недостаточном количестве информации) сетка. Каждой точке присваивается значение ( $z$ ) с определенными координатами ( $x, y$ ), характеризующими всю территориальную ячейку, в пределах которой она расположена. В результате создается точечная модель распределения значений явления или процесса. Операция может быть автоматизирована на основе применения дигитайзеров, сканеров или автоматических картографов.

Использование пакета прикладных программ позволяет проводить операцию наложения изолинейных карт для получения информации по скорости изменения изучаемого показателя или прогнозу процесса.

При совмещении разновременных изолинейных карт можно построить изолинейную карту среднегодовой скорости изменения признака [24]. Для этого в контрольных точках изучаемого показателя в прошлом ( $x_1$ ) и настоящем ( $x_2$ ) состояниях можно рассчитать не только скорости его роста, но и прогнозировать его значения в будущем ( $y$ ) по формуле

$$y = x_2 + \frac{(x_2 - x_1)}{t_1} t_2,$$

где  $t_1$  — временной интервал (число лет во временном промежутке между прошлым и настоящим состоянием);  $t_2$  — срок прогноза (число лет во временном промежутке между настоящим и будущим состоянием).

При совмещении множества изолинейных карт одного и того же показателя за ряд лет можно получить в каждой из контрольных точек свой временной ряд показателя по годам. Выравнивать его можно способом наименьших квадратов с решением уравнения линейной регрессии:

$$y_1 = a + bt,$$

где  $y_1$  — вычисленное (теоретическое) значение картографируемого показателя в расчетном году;  $t$  — порядковый номер этого года;  $a$  — вычисленное значение признака при  $t = 0$ ;  $b$  — среднегодовой прирост.

Вычисленные в контрольных точках значения  $b$  используются для создания изолинейной карты тенденции развития явления, а  $y_1$  — изолинейной карты прогноза.

Модель линейного выравнивания временных рядов не всегда является оптимальной [25]. Изучаемый показатель может изменяться не с постоянной, а с переменной скоростью. В таких случаях необходимо использовать модели криволинейного выравнивания временных рядов, например с помощью параболы второго порядка:

$$y_1 = a + bt + ct^2.$$

Первая производная от этой функции характеризует интенсивность изменения показателей изучаемого процесса во времени, а вторая — величину его ускорения. Совмещение обоих параметров на одной картографической основе позволяет по изолиниям нулевых значений выделить участки ускоренного или замедленного изменения картографируемого показателя.

При совмещении множества изолинейных карт разного содержания открываются большие возможности изучения взаимосвязей пространственных явлений с помощью аппаратов множественной корреляции и регрессии, факторного и компонентного анализа.

Таким образом, компьютерное изолинейное картографирование на базе пакета прикладных программ SURFER 6.04 обеспечивает визуализацию данных о происходящих в урболандшафтах процессах, синтезирует новые параметры поля, характеризующие его свойства (фон, флуктуации, градиенты, вторые производные и др.), обеспечивает возможность автоматизации расчета и графического отображения процессов деградации или улучшения состояния урболандшафтов. В результате обеспечивается возможность решения одной из главных задач урболандшафтного картографирования — представления анализируемых явлений в виде численных картографических моделей диагностического и прогнозного характера.

Применение аналогичной методики картографо-аэрокосмических исследований и компьютерного картографирования позволило коллективу разработчиков ВНИАЛМИ под руководством А. С. Рулева провести оценку и картографирование процессов деградации различных ландшафтов Нижнего Поволжья на площади около 14 млн га и разработать локальные ландшафтные проекты противодеградационных мероприятий.

В рамках концепции адаптивно-ландшафтного обустройства урболандшафтов на основе интеграции достижений аэрокосмических исследований, мониторинга и компьютерного картографирования нами совместно с А. С. Рулевым разработана методология картографо-аэрокосмического мониторинга состояния урбанизированных земель [13, 17].

При использовании этого подхода предусматривается обязательное составление математико-картографических моделей ландшафтов в трех пространственно-временных срезах: естественных (природных), современных урбанизированных (деградированных) и культурных фитомелиорированных с обязательным прогнозом динамики хода деградационных или восстановительных процессов.

Картографо-аэрокосмический мониторинг техногенно измененных урболандшафтов должен включать ряд операций:

сопряженный картографический анализ и диагностику современного состояния ландшафтов по результатам, полученным с использованием полевых дистанционных методов и компьютерного картографирования;

изучение на основе ландшафтно-экологического дешифрирования аэрокосмических фотоснимков структуры и состава ландшафтов, близких к девственным и измененных в результате активизировавшихся под антропогенным воздействием экзогенных процессов;

разработку критериев оценки интенсивности деградации урбололандшафтов;

составление геоэкологических (ландшафтно-экологических) карт состояния городских и пригородных земель;

проведение ландшафтно-типологического районирования на основе АКФ;

разработку и составление региональных и локальных ландшафтных проектов противодеградационных, озеленительных и других мелиоративных мероприятий.

В урбололандшафтах происходит интенсивное взаимодействие природы и человека. Составляющие преобразованную геосистему природные и антропогенные компоненты в процессе трансформации солнечной энергии, влагооборота, биогеохимического круговорота вещества и энергии, выбросов предприятий промышленности, жилищно-коммунального хозяйства и автомобильного транспорта функционально объединяются. Имеет место исключительно сильно измененный по сравнению с естественными ландшафтами многообразный латеральный поток вещества и энергии. Материалы аэрокосмических съемок дают возможность даже в слабо расчлененных равнинных ландшафтах фиксировать малозаметные изменения плоскостного смыва и дефляции, а также ареалы активизации процессов воздействия поллютантов и рекреационной нагрузки.

Большинство критериев ухудшения свойств почв и состояния растительности надежно опознаются на аэрокосмических фотоснимках по рисунку, тону фотоизображения и приуроченности их к формам рельефа. С увеличением степени смытости становится более светлым тон снимка, меняется текстура изображения. Локализация участков смытых почв возрастает латерально по ландшафтной катене от общего площадного осветления при слабом смыве к линейно-площадным ареалам средне- и сильносмытых почв, четко выделяются территории с дигрессией как древесной, так и травяной растительности.

Территории, где деградационные процессы проявляются в очень слабой степени, целесообразно относить к фоновым ландшафтам. Они, как правило, приурочены к водораздельным поверхностям со слабой рекреационной нагрузкой и незначительной загазованностью атмосферного воздуха.

Умеренный уровень деградации характеризуется наличием небольших участков слабо- и среднесмытых почв и весьма умеренной рекреационной нагрузкой. Они, преимущественно, приурочены к приводораздельным склонам, характеризуются наличием древесной растительности и расположены на значительном расстоянии от селитебной застройки и автомобильных дорог.

Урочища с высоким уровнем нарушенности деградационными процессами обычно занимают среднюю, реже нижнюю части присетевых склонов и непосредственно примыкают к промышленным предприятиям химии и цветной металлургии, застроенной территории и транспортным артериям. Фото-

графическое изображение их характеризуется ярко выраженной ложбинно-потяженной сетью, разрезающей поверхность склонов на множество микроводораздельных участков, часто с сильно смытыми почвами. Эти участки имеют вид округлых (около источника выброса поллютантов) или вытянутых вдоль склона или дороги с интенсивным движением овальных пятен с достаточно четкими границами и значительной разницей в тоне.

Территории, где общая площадь земель, подверженных эрозии, а растительности — депрессии — превышает 50 %, относятся к очень сильно деградированным. Здесь наряду с дефляцией и плоскостным сливом обычно имеет распространение линейная эрозия.

В урболандшафтах сухостепной зоны большая часть признаков эрозионной деградации и депрессии растительности успешно дешифрируется в камеральных условиях по фотоснимкам без дополнительного полевого эталонирования.

Для оценки состояния почв целесообразно применять шкалу диагностических показателей степени их эродированности, учитывающую прямые и косвенные дешифровочные признаки, а также их расположение в ландшафтной катене. В классификации фототона рисунка смытых почв целесообразно использование четырехуровневой градации: очень светлый, светло-серый, серый, темно-серый.

Степень дефляции (ветровой эрозии) почв ландшафтов определяется рядом диагностических критериев. Основным прямым признаком, по которому распознаются на АКФ уровни дефляционной деградации, является тон фотоизображения (его рисунок и текстура меняются в значительно меньшей степени).

Таким образом, использование геоинформационных технологий при адаптивном обустройстве урболандшафтов обеспечивает высокий технический и экономический эффект, но необходимы дальнейшие уточнения и детализации особенностей выполнения работ, особенно при картографировании деградационных процессов и ландшафтном планировании противодеградационных, рекультивационных и озеленительных работ.

Разработанные оценочные шкалы экологической деградации ландшафтов дают возможность составлять ландшафтно-экологические карты, наиболее полно и объективно отражающие современное состояние городских и пригородных земель, и на их основе диагностировать экологическую ситуацию.

Использование оценочных шкал дистанционных критериев деградации почв урболандшафтов позволяет за счет сокращения времени на трудоемкие натурные обследования оперативно выполнять картографические работы. Полученные геоэкологические карты, обладая высокой достоверностью и информативностью, являются основой научно обоснованного проектирования адаптивно-ландшафтных мероприятий и выполнения архитектурно-планировочных работ зеленого строительства.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казаков Л. К. Ландшафтоведение : учебник. М. : Академия, 2011. 336 с.
2. Матовников С. А., Анопин В. Н., Матовникова Н. Г. Ландшафтно-архитектурные методы в зеленом строительстве Волгоградской агломерации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 36(55). С. 248—257.
3. Линник В. Г. Физическая география и геоинформационные системы. Современные проблемы физической географии // Современные вопросы географии. М. : МГУ, 1989. С. 65—73.

4. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование. М., 1997. 62 с.
5. Hosara M. Modeling of curbez and surfaces in CAD/CAM. Berlin : Heideelberg, 1996.
6. Берлянт А. М., Кошкарёв А. В., Тикунов В. С. Картография и геоинформатика // Итоги науки и техники. Картография. М., 1991. Т. 14. 176 с.
7. Лютый А. А., Малахова Н. Н. Аэрокосмическая информация в изучении и картографировании социально-экономических территориальных систем. М., 1987. 108 с.
8. Жуков В. Т., Сербенюк С. Н., Тикунов В. С. Математико-картографическое моделирование в географии. М., 1980. 224 с.
9. Тикунов В. С. Моделирование в социально-экономической картографии. М., 1985. 280 с.
10. Тикунов В. С. Моделирование в картографии. М., 1997. 405 с.
11. Червяков В. А. Концепция поля в современной картографии. Новосибирск, 1978. 149 с.
12. Кошкарёв А. В., Тикунов В. С., Трофимов А. М. Теоретические и методические аспекты развития географических информационных систем // География и природные ресурсы. 1991. С. 11—16.
13. Анопин В. Н., Рулев А. С. Картографирование деградированных ландшафтов Нижнего Поволжья. Волгоград : ВолГАСУ, 2007. 168 с.
14. Книжников Ю. Ф. Аэрокосмическое зондирование. М., 1997. 128 с.
15. Николаев В. А. Космическое ландшафтоведение. М., 1993. 80 с.
16. Кулик К. Н. Агролесомелиоративное картографирование Северо-Западного Прикаспия : автореф. дис... д-ра с.-х. наук. Волгоград, 1996. 48 с.
17. Рулев А. С. Ландшафтно-географический подход в агролесомелиорации. Волгоград, 2007. 160 с.
18. Афанасьева Т. В., Петрусевич Ю. М., Трифонова Т. А. Практикум по дешифрированию аэрофотоснимков при почвенных исследованиях. М., 1977. 157 с.
19. Рачкулик В. И., Ситникова М. В. Отражательные свойства и состояние растительного покрова. Л., 1981. 287 с.
20. Аэрофотографическое эталонирование и экстраполяция. Л., 1967. 156 с.
21. Спиридонов А. И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований и геоморфологического картографирования. М., 1970. 458 с.
22. Котляков В. М., Трофимов А. М., Селиверстов Ю. П. Моделирование экологических ситуаций // Изв. РАН. Сер. Географическая. 1995. № 1. С. 12.
23. Виноградов Б. В. Формы опустынивания по данным аэро- и космических съемок // Проблемы освоения пустынь. 1976. № 3-4. С. 35—44.
24. Гелета И. Ф., Червяков В. А. Аналитическое обоснование методики определения корреляций по скатам статистических поверхностей, отображаемых изолиниями // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1978. № 1. С. 48—52.
25. Математические методы в географии / Ю. Р. Архипов, Н. И. Блажко, С.В. Григорьев, Я. И. Заботин, А. М. Трофимов, Р. Г. Худеев. Казань, 1976. 352 с.

© Анопин В. Н., Рулев А. С., Матовников С. А., Матовникова Н. Г., 2015

Поступила в редакцию  
в декабре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Картографирование урболандшафтов с применением геоинформационных технологий / В. Н. Анопин, А. С. Рулев, С. А. Матовников, Н. Г. Матовникова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 68—81.

Об авторах:

**Анопин Владимир Николаевич** — д-р географ. наук, проф., зав. кафедрой геодезии, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [AnopinVi.Nik.48@yandex.ru](mailto:AnopinVi.Nik.48@yandex.ru)

**Рулев Александр Сергеевич** — д-р с.-х. наук, зав. отделом ландшафтного планирования и аэрокосмических методов исследований, Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации. Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97

**Матовников Сергей Алексеевич** — канд. арх., доцент, первый проректор, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [matovnikov4@yandex.ru](mailto:matovnikov4@yandex.ru)

**Матовникова Наталья Геннадьевна** — канд. географ. наук, доцент, доцент кафедры дизайна и монументально-декоративного искусства, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолГАСУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [matovnikova@yandex.ru](mailto:matovnikova@yandex.ru)

**V. N. Anopin, A. S. Rulev, S. A. Matovnikov, N. G. Matovnikova**

## URBAN LANDSCAPE MAPPING USING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

The results of the analysis and synthesis of the developments in the field of mapping of degraded landscapes in order to plan their rational use and reclamation are provided. Presented are the research papers that reveal particular features of the information technologies of mapping of various categories of urban landscapes in dry steppe zone when designing green city construction.

**Key words:** geoinformation mapping, urban landscape, degradation, aerospace researches.

### REFERENCES

1. Kazakov L. K. *Landshaftovedenie : uchebnik* [Landscape Science. Textbook]. Moscow, Academy Publ., 2011. 336 p.
2. Matovnikov S. A., Anopin V. N., Matovnikova N. G. [Landscape and architectural methods in green construction in Volgograd agglomeration]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2014, 36(55), pp. 248—257. (In Russ.).
3. Linnik V. G. [Physical Geography and Geographic Information Systems. Modern Problems of Physical Geography]. *Sovremennye voprosy geografii* [Modern Issues of Geography]. Moscow, MSU Publ., 1989, pp. 65—73.
4. Berlyant A. M. *Geoinformatsionnoe kartografirovaniye* [Geoinformational Mapping]. Moscow, 1997. 62 p.
5. Hosara M. *Modeling of curbez and surfaces in CAD/CAM*. Berlin, Heideelberg, 1996.
6. Berlyant A. M., Koshkarev A. V., Tikunov V. S. [Mapping and Geoinformatics]. *Itogi nauki i tekhniki. Kartografiya* [Results of Science and Engineering. Mapping]. Moscow, 1991, vol. 14, 176 p.
7. Lyutyi A. A., Malakhova N. N. *Aerokosmicheskaya informatsiya v izuchenii i kartografirovanii sotsial'no-ekonomicheskikh territorial'nykh sistem* [Aerospace Information in Research and Mapping of Social and Economic Territorial Systems]. Moscow, 1987. 108 p.
8. Zhukov V. T., Serbenyuk S. N., Tikunov V. S. *Matematiko-kartograficheskoe modelirovaniye v geografii* [Mathematical Mapping Modeling in Geography]. Moscow, 1980. 224 p.
9. Tikunov V. S. *Modelirovaniye v sotsial'no-ekonomicheskoi kartografii* [Modeling in Social and Economic Mapping]. Moscow, 1985. 280 p.
10. Tikunov V. S. *Modelirovaniye v kartografii* [Modeling in Mapping]. Moscow, 1997. 405 p.
11. Chervyakov V. A. *Kontseptsiya polya v sovremennoi kartografii* [Concept of a Field in Modern Mapping]. Novosibirsk, 1978. 149 p.
12. Koshkarev A. V., Tikunov V. S., Trofimov A. M. [Theoretical and Methodological Aspects of Development of Geographical Information Systems]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 1991, pp. 11—16.
13. Anopin V. N., Rulev A. S. *Kartografirovaniye degradirovannykh landshaftov Nizhnego Povolzh'ya* [Mapping of Degraded Landscapes of Lower Volga Region]. Volgograd, VSUACE Publ., 2007. 168 p.
14. Knizhnikov Yu. F. *Aerokosmicheskoe zondirovaniye* [Aerospace Sounding]. Moscow, 1997. 128 p.
15. Nikolaev V. A. *Kosmicheskoe landshaftovedeniye* [Space Landscape Science]. Moscow, 1993. 80 p.
16. Kulik K. N. *Agrolesomeliativnoye kartografirovaniye Severo-Zapadnogo Prikaspiya* [Agroforestry Mapping of North-West Caspian Sea Region. Diss. Dr. Agr. Sci.]. Volgograd, 1996. 48 p.
17. Rulev A. S. *Landshaftno-geograficheskii podkhod v agrolesomeliatsii* [Landscape and Geographical Approach in Agroforestry]. Volgograd, 2007. 160 p.

18. Afanas'eva T. V., Petrusevich Yu. M., Trifonova T. A. *Praktikum po deshifirovaniyu aerofotosnimkov pri pochvennykh issledovaniyakh* [Practical Course on Decoding of Aerophotos when Carrying Out Soil Exploration]. Moscow, 1977. 157 p.
19. Rachkulik V. I., Sitnikova M. V. *Otrazhatel'nye svoystva i sostoyanie rastitel'nogo pokrova* [Reflective Properties and State of Vegetation Cover]. Leningrad, 1981. 287 p.
20. *Aerofotograficheskoe etalonirovanie i ekstrapolyatsiya* [Aerophotographic Standardization and Extrapolation]. Leningrad, 1967. 156 p.
21. Spiridonov A. I. *Osnovy obshchei metodiki polevykh geomorfologicheskikh issledovaniy i geomorfologicheskogo kartografirovaniya* [Principals of General Technique of Field Geomorphological Researches and Geomorphological Mapping]. Moscow, 1970. 458 p.
22. Kotlyakov V. M., Trofimov A. M., Seliverstov Yu. P. [Modeling of Ecological Situations]. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya* [News of RAS. Series Geographical], 1995, no. 1, p. 12.
23. Vinogradov B. V. [Forms of Desertification on the Basis of Aero- and Space Shootings]. *Problemy osvoeniya pustyn'* [Problems of Desert Land Development], 1976, no. 3-4, pp. 35—44.
24. Geleta I. F., Chervyakov V. A. [Analytical Justification of a Technique of Determination of Correlations on Slopes of Statistical Surfaces Displayed by Isolines]. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka* [News of Higher Education Institutions. Geodesy and Aero Shooting], 1978, no. 1, pp. 48—52.
25. Arkhipov Yu. R., Blazhko N. I., Grig'orev S. V., Zabotin Ya. I., Trofimov A. M., Khudeev R. G. *Matematicheskie metody v geografii* [Mathematical Methods in Geography]. Kazan, 1976. 352 p.

*For citation:*

Anopin V. N., Rulev A. S., Matovnikov S. A., Matovnikova N. G. [Urban landscape mapping using geoinformation 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], 2015, iss. 39(58), pp. 68—81. (In Russ.).

*About authors:*

**Anopin Vladimir Nikolaevich** — Doctor of Geographic Science, Professor, the Head of Geodesy Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [AnopinVI.Nik.48@yandex.ru](mailto:AnopinVI.Nik.48@yandex.ru)

**Rulev Aleksandr Sergeevich** — Doctor of Agricultural Science, Head of the Department on Landscape Design and Aerospace Research Methods, All Russian Research Institute of Agrarian and Forest Reclamation. 97, Universitetskii Prospekt, Volgograd, 400062, Russian Federation

**Matovnikov Sergei Alekseevich** — Candidate of Architecture, Docent, first provost, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [matovnikov4@yandex.ru](mailto:matovnikov4@yandex.ru)

**Matovnikova Natal'ya Gennad'evna** — Candidate of Geographic Science, Docent, Docent of Design and Monumental and Ornamental Art Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [matovnikova@yandex.ru](mailto:matovnikova@yandex.ru)

УДК 624.131.31:624.131.22

**А. Н. Богомолов<sup>а, б</sup>, Ю. И. Олянский<sup>а</sup>, Е. В. Щекочихина<sup>а</sup>, Е. П. Канашинская<sup>в</sup>,  
А. Ф. Алексеев<sup>з</sup>, Б. Ф. Галай<sup>д</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

<sup>б</sup> *Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

<sup>в</sup> *Южно-Российский государственный политехнический университет*

<sup>з</sup> *Уральский горный институт*

<sup>д</sup> *Северо-Кавказский федеральный университет*

### **ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИЙ, СЛОЖЕННЫХ ЛЕССОВЫМИ ПРОСАДОЧНЫМИ И НАБУХАЮЩИМИ ПОРОДАМИ**

На основе обобщения природных факторов, определяющих устойчивость геологической среды Волгоградской области, основным компонентом которой являются просадочные и набухающие породы, выполнено инженерно-геологическое районирование территории. Результаты исследований дают возможность прогнозировать экологические последствия техногенеза посредством отнесения территорий к трем различным типам по уровню относительной биологической дискомфортности и могут служить основой для разработки пространственно-временной структуры мониторинга.

Ключевые слова: просадочные породы, набухающие породы, инженерно-геологическое районирование

**Инженерно-геологическая характеристика просадочных и набухающих пород.** Лессовые просадочные породы широко распространены на территории Волгоградской области и встречаются в различных геоморфологических условиях. Мощность лессового покрова варьирует от 2...10 м в центральной и северо-западных частях области (Окско-Донская равнина и Среднерусская возвышенность) до 15...20 м и более в южной и юго-восточной (Прикаспийская низменность, Ергенинская возвышенность). Инженерно-геологическим изучением лессового покрова в различные годы занимались А. И. Москвитин, С. К. Арбузова, С. Н. Егоров, Т. С. Кавеев, А. В. Минервин, В. Н. Синяков, Н. Н. Комиссарова, Н. В. Воляник, М. В. Трохимчук, Н. В. Коломийцев [1], Ю. И. Олянский, С. В. Кузнецова и др.

В настоящее время в пределах Волгоградской области выделяются лессовые породы верхнехвалынско-современные, верхнечетвертичные валдайского горизонта и верхнечетвертичные ательского горизонта [2—4].

Наиболее молодые верхнехвалынско-современные лессовые породы распространены на хвалынской террасе Прикаспийской низменности и занимают в основном Заволжье. Они представлены макропористыми лессовидными суглинками и супесями буровато-желтого, палевого, желто-серого и других цветов мощностью до 3...4 м, подстилающимися морскими нижнехвалынскими отложениями. Генезис пород преимущественно эоловый и элювиальный, а нижних горизонтов — аллювиальный. Гранулометрический состав следующий: песчаная фракция — 13...35 %, пылеватая — 35...59 %, глинистая 10...30 %. В минеральном составе глинистой фракции преобладают гидрослюда и монтмориллонит. Содержание воднорастворимых солей 0,03...0,05 %.

Верхнечетвертичные лессовые породы валдайского горизонта являются результатом сложных континентальных процессов осадкообразования в верхнечетвертичную эпоху и распространены к западу от р. Волги в бассейнах рек Иловля, Медведица, Хопер и Дон. Они перекрывают дочетвертичные породы различного возраста и состава и представлены толщей макропористых палево-желтых и серо-желтых суглинков иногда с прослойками и линзами супесей и песков. Мощность их весьма различная: от 1...5 м на склонах, до 10...12 м в водораздельных равнинах. В генетическом отношении это в основном делювиальные, эолово-делювиальные и пролювиальные образования, чем объясняется высокое содержание в них песчаной фракции (40...60 %). Доля других фракций: пылевой — 26...45 %, глинистой — 5...18 %. В минеральном составе дисперсной фракции преобладает гидрослюда, реже встречаются монтмориллонит и смешаннослойные образования. Содержание нерастворимых солей 0,03...0,05 %.

Верхнечетвертичные лессовые породы ательского горизонта представлены желто-бурыми, серовато-желтыми супесями и суглинками. Они чаще всего перекрыты морскими хвалынскими отложениями. На отдельных участках, где последние отсутствуют, ательские лессовые породы перекрываются верхнехвалынско-современными лессовыми отложениями. Время образования ательских лессовых пород соответствует континентальному периоду в Прикаспии между позднехазарской и раннехвалынской трансгрессиями. В генетическом отношении эти породы в основном водно-ледникового, аллювиального, эолового и пролювиального генезиса. Мощность их редко превышает 12 м и чаще колеблется от 4 до 8 м. Кровля слоя залегает на глубине от 1 до 10 м. Гранулометрический состав пород следующий: песчаная фракция — 35...60 %, пылеватая — 20...45 %, глинистая — 6...18 %. В минеральном составе дисперсной фракции преобладает монтмориллонит, несколько меньше гидрослюда.

Анализ показателей физических свойств лессовых пород свидетельствует о том, что в целом они достаточно близки между собой. Средние значения показателей свойств для указанных типов лессовых пород изменяются в следующих интервалах: предел текучести 0,26...0,27; предел раскатывания — 0,16; число пластичности 0,10...0,11; пористость 0,39...0,41; плотность 1,83...1,86 г/см<sup>3</sup>; влажность 0,15...0,17. Наиболее просадочными являются лессовые породы валдайского и верхнехвалынско-современного горизонтов:  $\varepsilon_{sl}^{0,3} = 0,036...0,039$ ,  $P_{sl} = 0,10...0,11$  МПа. Значительно менее просадочны лессовые породы ательского горизонта:  $\varepsilon_{sl}^{0,3} = 0,029$ ,  $P_{sl} = 0,14$  МПа. Лессовые массивы, распространенные в северо-западной и центральной частях области, относятся преимущественно к I типу грунтовых условий по просадочности, мощность просадочного слоя редко превышает 10 м. Лессовые массивы южной и юго-западной частей в пределах водоразделов Ергенинской и Приволжской возвышенностей относятся ко II типу грунтовых условий по просадочности. Мощность просадочного слоя здесь достигает 12...15 м и более, а возможная просадка толщи от собственного веса составляет 15...50 см, реже превышает 50 см.

Набухающие глинистые породы в пределах области представлены верхнечетвертичными хвалынскими шоколадными глинами, неогеновыми скиф-

скими, верхнепалеогеновыми майкопскими, среднепалеогеновыми мечеткинскими и юрскими глинами [2, 5]. Эти породы на описываемой территории выходят на поверхность либо залегают до глубины 20 м.

Верхнечетвертичные хвалынские глины распространены в Прикаспийской низменности и являются самыми молодыми из плейстоценовых глин Прикаспия, образовавшимися в период хвалынской трансгрессии. Им свойственны темно-коричневая окраска, связанная с присутствием гидроокислов железа, и тонкая слоистость. Мощность хвалынских глин зависит от условий их залегания. Если они заполняют депрессии между соляными куполами, она максимальная и достигает 10...15 м, если залегают на положительных солянокупольных структурах — она минимальная и составляет 1...5 м, либо хвалынские глины полностью здесь отсутствуют. Гранулометрический состав глин по данным 280 анализов следующий: песчаная фракция — 8,0 %; пылеватая — 36,4 %; глинистая — 55,6 %. Преобладает гидрослюда, в меньшем количестве содержится монтмориллонит и каолинит. Влажность глин различная и составляет 0,18...0,39; предел текучести — 0,41...0,63; предел раскатывания — 0,15...0,31; число пластичности — 0,18...0,31; пористость — 0,39...0,53; величина свободного набухания — 0,04...0,25 (среднее 0,13); давление набухания — 0,08...0,38 МПа (среднее 0,33 МПа).

Неогеновые скифские глины подстилают лессовую толщу, а иногда обнажаются на склонах правобережья р. Волги. Мощность их редко превышает 2,5...3,5 м, но в отдельных случаях может достигать 22 м. Они представлены красно-бурыми глинами с обилием известковистых конкреций и прослоек песка. Формирование их происходило в мелких эпиконтинентальных водоемах, отличающихся пониженной соленостью и нестабильностью гидродинамического режима, обусловленной частой сменой незначительных регрессий и трансгрессий. Из всех набухающих пород области это наименее дисперсные. Число пластичности колеблется от 0,17 до 0,24; предел текучести — 0,3...0,48; предел раскатывания — 0,18...0,24; пористость — 0,36...0,46; влажность — 0,10...0,28; плотность — 1,74...2,00 г/см<sup>3</sup>; величина свободного набухания — 0,03...0,1 (среднее 0,08); давление набухания — 0,04...0,12 МПа (среднее 0,09 МПа).

Майкопские глины широко распространены на юго-западе области в пределах Приволжской и Ергенинской денудационных равнин и представляют собой морские формации альпийского геотектонического цикла. В невыветрелом состоянии майкопские глины имеют серую, темно-серую, зеленовато-серую окраску. При подсыхании они становятся светло-коричневыми, оливковыми и др. Гранулометрический состав невыветрелых глин следующий: песчаная фракция — 13,7 %; пылеватая — 55,0 %; глинистая — 31,3 %. Пределы колебания показателей свойств следующие: текучести — 0,44...0,83; раскатывания — 0,25...0,48; число пластичности — 0,21...0,45; плотность — 1,45...2,02 г/см<sup>3</sup>; пористость — 0,41...0,61; влажность — 0,21...0,47; величина свободного набухания — 0,01...0,14 (среднее 0,11); давление набухания — 0,01...0,27 МПа (среднее 0,16 МПа).

Мечеткинские глины залегают на некоторых участках Приволжской и Ергенинской возвышенностей и обнажаются преимущественно в долинах небольших рек, балках и оврагах. В генетическом отношении они представляют собой осадок эпиконтинентального моря глубиной до 500 м, образо-

вавшийся за счет сноса материала с Украинского кристаллического щита и продуктов размыва карбонатных пород меловой системы. Цвет их преимущественно оливково-зеленый и зеленовато-серый. Характерно наличие тонких прослоек пыли и песка. Общая мощность слоя глин достигает 6 м. Пределы колебания показателей свойств следующие: текучести — 0,42...0,89; раскатывания — 0,18...0,58; числа пластичности — 0,18...0,57; влажность — 0,18...0,5; плотность — 1,74...2,00 г/см<sup>3</sup>; пористость — 0,36...0,63; величина свободного набухания — 0,04...0,18 (среднее 0,10); давление набухания — 0,05...0,22 МПа (среднее 0,09 МПа).

Юрские глины распространены в западной части Окско-Донской равнины и на севере Приволжской возвышенности и, как правило, перекрыты толщей лессовых пород. Мощность глин непостоянная и изменяется от 1 до 18 м. Пределы колебания показателей свойств следующие: текучести — 0,04...0,64; раскатывания — 0,20...0,36; число пластичности — 0,12...0,35; влажность — 0,20...0,36; плотность — 1,76...2,08 г/см<sup>3</sup>; пористость — 0,4...0,5; величина свободного набухания — 0,07...0,20 (среднее 0,11); давление набухания — 0,08...0,25 МПа (среднее 0,12 МПа).

**Инженерно-геологическое районирование Волгоградской области по особенностям просадочных и набухающих пород.** Целью исследований являются оценка устойчивости территории к возникновению неблагоприятных геологических процессов и рассмотрение экологических последствий ее освоения для проживающего населения. Анализируя понятие «устойчивость геологической среды», авторы [1] отмечают, что главными задачами при изучении устойчивости являются: выделение набора характеристик изучаемой системы, оценка их постоянства, выделение комплекса существенных для устойчивости факторов и определение элементов связи и отношений в изучаемой системе. Факторы, определяющие устойчивость геологической среды, делятся на природные и техногенные. Инженерно-хозяйственное освоение любой территории неизбежно сопровождается проявлением различных техногенных (активных) факторов, однако степень их воздействия на геологическую среду определяется набором существующих природных (пассивных) факторов. Комплексная геоэкологическая оценка территорий распространения просадочных и набухающих пород юга Русской платформы разрабатывалась в работах [6—10].

Для оценки степени устойчивости геологической среды Волгоградской области, составным компонентом которой являются просадочные и набухающие породы, обобщались и анализировались следующие природные факторы: геологическое строение и тектоника; генетический тип и возраст лессовых отложений и подстилающих пород; физические свойства, показатели просадочности и набухаемости образцов пород и их массивов; изменчивость свойств пород в плане и по глубине (мощности слоя); природные условия естественной дренированности территорий и глубина залегания подземных вод; особенности рельефа и геоморфологии. Их изученность и степень обобщения показателей приведены в табл. 1. Экологические последствия техногенных воздействий анализировались на территории г. Волгограда, характеризующейся широким распространением просадочных и набухающих пород и развитием связанных с ними инженерно-геологических процессов [11].

Основной целью исследований, связанных с оценкой влияния экзогеодинамики литосферы на существование биоты, включая человеческое сообщество, является изучение функциональных природных литосистем с учетом развивающихся в них геологических процессов и разработка геологического обоснования управляющих решений [12]. Для обобщения всех пассивных факторов, определяющих устойчивость геологической среды области (табл. 1), использован метод инженерно-геологического районирования, являющийся одним из ведущих методов систематизации материала об инженерно-геологических условиях территории. Использована схема однорядного (генетико-морфологического) районирования, разработанная В. Н. Синяковым и С. В. Кузнецовой [13], базирующаяся на формационном принципе районирования. В качестве таксономических единиц использована система таксонов: регион — область I порядка — область II порядка — район. Регион выделен по структурно-тектоническим признакам, области — по геоморфологическим признакам, район — по распространению пород определенного структурно-генетического комплекса.

Т а б л и ц а 1

*Природные факторы, определяющие устойчивость геологической среды массивов просядочных и набухающих пород и степень обобщения их показателей для Волгоградской области*

Природные (пассивные) факторы	Степень обобщения показателей природных факторов
Генетический тип и возраст лессовых и набухающих пород	Выделено три регионально-генетических типа лессовых и пять регионально-генетических типов набухающих пород
Условия залегания и распространения лессовых и набухающих пород	Составлена схематическая карта распространения лессовых и набухающих пород в масштабе 1:500 000
Минеральный состав и химические особенности лессовых и набухающих пород	Охарактеризованы показатели в пределах регионально-генетических типов пород
Механический состав лессовых и набухающих пород	Статистическая обработка содержания фракций в пределах регионально-генетических типов пород; составлены графики изменчивости трансостава по мощности толщи и в направлении основного сноса мелкозема
Физические свойства лессовых и набухающих пород	Статистическая обработка показателей в пределах регионально-генетических типов пород; охарактеризован режим изменчивости в направлении основного сноса мелкозема и мощности слоя пород
Показатели просядочных лессовых пород	Статистическая обработка показателей $\epsilon_{sl}$ и $P_{sl}$ в пределах регионально-генетических типов пород; изучен режим изменчивости в направлении основного сноса мелкозема и по мощности слоя; составлена карта типов и видов лессовых толщ в масштабе 1:500 000
Показатели набухаемости глинистых пород	Статистическая обработка в пределах регионально-генетических типов пород; выполнен корреляционно-региональный анализ зависимостей $\epsilon_{sw}$ и $P_{sw}$ от показателей состава и свойств; составлена карта распространения набухающих пород в масштабе 1:500 000
Природные условия естественной дренированности территорий и глубина залегания подземных вод	Выполнен качественный прогноз подтопления в соответствии со СНиП 2.02.01—83 и выделены типы территорий по потенциальной подтопляемости
Особенности рельефа и тектоники; генетический тип и возраст пород зоны аэрации	Учтены при типологическом инженерно-геологическом районировании территорий на основе формационного принципа

В пределах районов выполнено оценочное (типологическое) инженерно-геологическое районирование, в результате которого на основе использования некоторых качественных и количественных показателей (типы и виды лессовых толщ, наличие набухающих пород и величины их набухания) выделены участки и подучастки. Участки выделены в зависимости от классификации просадочных толщ, положенной в основу СНиП 2.02.01—83, с учетом их региональных особенностей: I тип грунтовых условий по просадочности: а) мощность просадочного слоя ( $H_{sl}$ ) менее 5 м, возможная просадка от собственного веса ( $S_{sl}$ ) отсутствует (П1); б)  $H_{sl} = 5...10$  м;  $S_{sl} = 0...5$  см (П2); в)  $H_{sl} = 10...15$  м;  $S_{sl} = 5...15$  см (П3); г)  $H_{sl}$  — более 15 м,  $S_{sl} = 15...50$  см (П4); д)  $H_{sl}$  — более 15;  $S_{sl}$  — более 50 см (П5).

Подучастки выделены с учетом классификации глин по величине свободного набухания: а) слабонабухающие  $\varepsilon_{sw} = 0,04...0,08$  (Н1); б) средненабухающие  $\varepsilon_{sw} = 0,08...0,12$  (Н2); в) сильнонабухающие  $\varepsilon_{sw} > 0,12$  (Н3).

Для каждого участка и подучастка дан прогноз подтопления посредством отнесения его к определенному типу по потенциальной подтопляемости (в соответствии со СНиП 2.02.01—83).

**Эколого-гигиенические последствия проявления просадочных и набухающих свойств пород, распространенных в Волгоградской области.** Лессовые просадочные и глинистые набухающие породы покрывают около 80 % территории Волгоградской области и являются важнейшим компонентом геологической среды. Интенсивное промышленно-хозяйственное освоение таких территорий ведет к серьезному нарушению баланса компонентов природной среды, в результате чего нарушается режим подземных вод и изменяется влажность массивов глинистых пород. Характерным примером негативных последствий техногенеза на окружающую среду являются города Волгоград, Волжский, Камышин. Вследствие деформаций зданий и сооружений на просадочных и набухающих грунтах, затопления подвалов и цокольных этажей, образования оползней, оврагов и т. д. здесь возникает ряд медико-биологических и санитарно-гигиенических проблем, негативно отражающихся на здоровье проживающего населения. По данным коммунального отдела Центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора г. Волгограда, более половины жалоб, поступающих от населения, связаны с неблагоприятными условиями проживания.

Вследствие деформации жилых и производственных зданий образуются трещины в несущих конструкциях, что является причиной повышения влажности комнатного воздуха выше предельно допустимых величин: 30...60 % относительной влажности в жилых помещениях и 50 % — в дошкольных учреждениях. Сочетание высокой влажности воздуха с низкой температурой вызывает переохлаждение организма за счет увеличения отдачи тепла и вызывает ощущение зябкости. Продолжительное и частое пребывание людей в условиях повышенной влажности и низкой температуры отягощает течение таких заболеваний, как нефрит, пиелонефрит, ангина, ревматизм, пневмония, грипп, катар верхних дыхательных путей и др.

Поверхности стен, находящихся в сырых помещениях, могут покрываться плесенью в виде пушистых, бархатистых и паутинных налетов различной

окраски, состоящих из спор и нитей мицелия. Споры плесени, попадая в воздух жилых помещений, оседают на коже и слизистых оболочках человека и способны вызывать расстройства в дыхательных путях, глазах, ушах, кишечнике и др. Кроме того, плесень приводит к разрушению строительных конструкций.

В последние десятилетия в ряде городов области наблюдается рост численности популяций кровососущих. Комары являются не только злостными кровососами, но и переносчиками ряда заболеваний, главным образом филляритоза и вирусного энцефалита.

В результате обобщения инженерно-геологических условий отдельных опорных участков, определения вида и анализа интенсивности протекающих на них инженерно-геологических процессов и возникающих при этом неблагоприятных явлений, а также санитарно-гигиенических условий проживания населения, выделено три типа территорий по уровню относительной биологической дискомфортности: относительно комфортные, средней дискомфортности, высокой степени дискомфортности [14]. Фрагмент схемы инженерно-геологического районирования территорий распространения просадочных и набухающих пород приведен в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Схема инженерно-геологического районирования территорий распространения просадочных и набухающих пород Волгоградской области (фрагмент)*

Инженерно-геологические районы	Тип участка	Вид подучастка	Тип по потенциальной подтопляемости по группам предпочтительных			Уровень биологической дискомфортности	Рекомендации по обеспечению функционирования оптимальной геологической среды
			Б	Г	Д		
Распространение нижнехвалыньских морских песчано-глинистых пород	—	НЗ	I	II	III	Высокий	Ликвидация набухаемости хвалыньских глин различными методами, конструктивные и водозащитные мероприятия. Постоянный контроль за состоянием водонесущих коммуникаций
	П1, П2	—	II	IV	IV	Относительно комфортный	Устранение просадочности в пределах сжимаемой толщи, водозащитные мероприятия
Распространение песчано-глинистых пород терригенной формации верхнего плиоцена	П1, П2	Н1	II	III	III	Средний	Устранение просадочности в пределах сжимаемости толщи, водозащитные и конструктивные мероприятия. Борьба с набухаемостью, систематический контроль за состоянием водонесущих коммуникаций
	П3, П4, П5	—	III	IV	IV	Высокий	Устранение просадочности на всю лессовую толщу, комплекс водозащитных и конструктивных мероприятий

Окончание табл. 2

Инженерно-геологические районы	Тип участка	Вид подучастка	Тип по потенциальной подтопляемости по группам предприятий			Уровень биологической дискомфортности	Рекомендации по обеспечению функционирования оптимальной геологической среды
			Б	Г	Д		
Распространение глин майкопской серии терригенной формации олигоцена	П1, П2	Н2	II	III	III	Средний	Устранение просадочности в пределах сжимаемости толщи, водозащитные и конструктивные мероприятия. Борьба с набухаемостью, систематический контроль за состоянием водонесущих коммуникаций
Распространение песчано-глинистых пород терригенно-кремнистой формации палеогена	П1, П2	—	II	IV	IV	Относительно комфортный	Устранение просадочности в пределах сжимаемости толщи, создание водонепроницаемых экранов под фундаментами, устройство дренажей
Распространение мергельно-меловой формации верхнего мела	П1, П2	Н2	II	III	III	Средний	Устранение просадочности в пределах сжимаемости толщи, водозащитные и конструктивные мероприятия. Борьба с набухаемостью; систематический контроль за состоянием водонесущих коммуникаций
	П3, П4, П5	—	III	IV	IV	Высокий	Устранение просадочности на всю лессовую толщу, комплекс водозащитных и конструктивных мероприятий
Распространение терригенной сероцветной формации юры и нижнего мела	П1, П2	Н2	II	III	III	Средний	Устранение просадочности в пределах сжимаемой толщи, водозащитные и конструктивные мероприятия. Борьба с набухаемостью, систематический контроль за состоянием водонесущих коммуникаций
Распространение ниже- и средне-четвертичных аллювиальных песчано-глинистых пород	П1, П2	—	II	IV	IV	Относительно комфортный	Устранение просадочности в пределах сжимаемой толщи, создание водонепроницаемых экранов под фундаментами, устройство дренажей

*Относительно комфортные территории.* Сложены преимущественно лессовыми толщами I типа по просадочности с мощностью просадочного слоя менее 10 м, подстилающимися мощными толщами песков либо скальными породами. Территории преимущественно неподтопляемые либо IV типа (СНиП 2.02.01—83) по потенциальной подтопляемости, набухающие глины отсутствуют. Вследствие инженерного освоения таких территорий ожидаемые негативные медико-биологические и санитарно-гигиенические последствия весьма минимальные. Просадка оснований сооружений из-за хорошей естественной дренированности территории и высоких значений начального просадочного давления может иметь единичный характер и обу-

словлена в основном некачественным выполнением работ по подготовке лессовых оснований.

*Территории средней дискомфортности.* К данному типу относятся сильно- и среднеподтопляемые участки, сложенные лессовыми просадочными толщами преимущественно I типа по просадочности с мощностью просадочного слоя не более 10 м или средне- и слабонабухающими глинами, залегающими в пределах глубин активной инженерной деятельности. Негативные медико-биологические и санитарно-гигиенические последствия освоения таких территорий довольно существенны и связаны с просадкой и набуханием грунтов в основании сооружений, а также с подтоплением и заболачиванием территории. На крутых склонах, сложенных набухающими глинами, возможно образование оползней. Поддержание баланса компонентов природной среды таких территорий требует выполнения комплекса специальных мероприятий по недопущению просадочности, набухаемости, подтопления, образования оползней и др.

*Территории высокой степени дискомфортности.* К ним относятся потенциально подтопляемые участки, сложенные лессовыми толщами II типа по просадочности, залегающие в основном на водораздел Ергенинской и Приволжской возвышенностей, а также I типа по просадочности и сильнонабухающими хвалынскими глинами, подстилающими лессовую толщу, залегающими на Прикаспийской низменности. Данная территория является наиболее уязвимой в экологическом отношении, медико-биологические и санитарно-гигиенические последствия ее освоения весьма серьезные. Даже незначительное повышение влажности лессовых и глинистых пород может привести к весьма серьезным деформациям инженерных сооружений. В условиях недостаточной естественной дренированности хвалынской равнины любое освоение территории будет неизбежно сопровождаться интенсивным подтоплением, вплоть до заболачивания, что уже и наблюдается в г. Волжском и других участках. Это, в свою очередь, ведет к возникновению неблагоприятных инженерно-геологических явлений: просадке, набуханию, оползанию бортов карьеров и котлованов и существенно влияет на условия жизнеобитания. Так, по данным В. Н. Синякова, количество деформаций зданий в Волгограде и Волжском по причине замачивания просадочных грунтов составило 63, а хвалынских глин — 92.

Выполненное инженерно-геологическое районирование и создание картографической модели массивов просадочных и набухающих пород Волгоградской области с учетом основных выводов, полученных при анализе экологических последствий изменений геологической среды на территории г. Волгограда, позволяет разработать рекомендации и мероприятия по обеспечению и функционированию оптимальной геологической среды и может служить основой для разработки пространственно-временной структуры мониторинга.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимов В. Т., Герасимова А. С. Устойчивость геологической среды и факторы, ее определяющие // Геозкология. 1995. № 2. С. 18—28.
2. Синяков В. Н., Олянский Ю. И. Эколого-геологическая оценка территорий распространения просадочных и набухающих пород Волгоградской области // Научный ежегодник. Вып. 2. Волгоград: Издательство, 2002. С. 19—26.

3. *Синяков В. Н.* Инженерно-геологические особенности лессовых пород Прикаспийской низменности // Региональные особенности покровов и западного микро рельефа Украины (Препринт Ин-та геол. наук АН УССР). Киев, 1980. С. 35—37.
4. *Синяков В. Н.* Инженерно-геологические особенности верхнечетвертичных лессовых пород Нижнего Поволжья в связи с историей их формирования // Инженерная геология. 1981. № 5. С. 65—71.
5. *Синяков В. Н.* О роли соляной тектоники в формировании инженерно-геологических крупных солянокупольных бассейнов // Инженерная геология. 1984. № 2. С. 61—72.
6. Геоэкологическая оценка территорий распространения просадочных и набухающих пород / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, С. И. Махова, С. А. Чарькова, Т. М. Тихонова // Экология урбанизированных территорий. М., 2012. С. 89—91.
7. Опыт предупреждения деформаций оснований на замедленно-просадочных грунтах / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, С. И. Шиян, Т. М. Тихонова, О. В. Киселева // Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2012 г). Сергеевские чтения. Вып. 14. М.: РУДН, 2012. С. 253—256.
8. Инженерно-геологические особенности освоения территорий распространения структурно-неустойчивых грунтов / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, С. А. Чарькова // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. Пермь, 2012. Т. 4. С. 74—79.
9. *Олянский Ю. И., Шиян С. И., Богомолова О. А.* Экологические проблемы строительства на просадочных грунтах // Городские агломерации на оползневых территориях: материалы V Международной конф. по геотехнике, 22—24 сентября 2010 г. Волгоград: ВолгГАСУ, 2010. С. 240—244.
10. *Олянский Ю. И., Богомолов А. Н., Тихонова Т. М.* Сарматские глины. Состав, физико-механические свойства, типизация по устойчивости к обводнению. Palmarium academic publishing, 2013. 239 с.
11. *Синяков В. Н., Кузнецова С. В.* Геологические проблемы Волгоградской области // Экологическая наука — практике. М., 1997. Т. 1. С. 81—84.
12. *Трофимов М. В., Зилинг Д. Г.* Содержание, объект и предмет экологической геологии // Геоэкология. 1996. № 6. С. 43—54.
13. *Синяков В. Н., Кузнецова С. В.* Инженерно-геологическое районирование Нижнего Поволжья и прилегающих территорий // Инженерная геология. 1981. № 4. С. 26—37.
14. *Слепян Э. И.* Охрана геологической среды территорий городов и городских агломераций — необходимое условие обеспечения экологического комфорта для населения // Современные проблемы инженерной геологии территорий городов и городских агломераций. М., 1987. С. 284—286.

© *Богомолов А. Н., Олянский Ю. И., Щекочихина Е. В.,  
Канашинская Е. П., Алексеев А. Ф., Галай Б. Ф., 2015*

*Поступила в редакцию  
в феврале 2015 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Геоэкологическая оценка территорий, сложенных лессовыми просадочными и набухающими породами / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина, Е. П. Канашинская, А. Ф. Алексеев, Б. Ф. Галай // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 82—93.

*Об авторах:*

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

**Олянский Юрий Иванович** — д-р геол.-минерал. наук, доц., проф. кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [olyansk@list.ru](mailto:olyansk@list.ru)

**Щекочихина Евгения Викторовна** — канд. геол.-минерал. наук, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [karnat.1@yandex.ru](mailto:karnat.1@yandex.ru)

**Канашинская Елена Павловна** — канд. геол.-минерал. наук, доц., доц. кафедры прикладной геологии, Южно-Российский государственный политехнический университет. Российская Федерация, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, [VS-mirpi100@ya.ru](mailto:VS-mirpi100@ya.ru)

**Алексеев Алексей Федорович** — канд. геол.-минерал. наук, доц., доц. кафедры инженерной геологии и геоэкологии, Уральский горный институт. Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, [alekseev\\_af@mail.ru](mailto:alekseev_af@mail.ru)

**Галай Борис Федорович** — д-р геол.-минерал. наук, проф., проф. кафедры строительства, Северо-Кавказский федеральный университет. Российская Федерация, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, [galaybf@mail.ru](mailto:galaybf@mail.ru)

**A. N. Bogomolov, Yu. I. Olyanskii, E. V. Shchekochikhina, E. P. Kanashinskaya,  
A. F. Alekseev, B. F. Galai**

## **GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORIES FORMED BY LOESSIAL SAGGING AND SWELLING ROCKS**

On the basis of generalization of the natural factors that determine the stability of the geological environment in Volgograd Oblast, the main component of which are sagging and swelling rocks, engineering and geological zoning of the territory is done. The research results provide the opportunity to predict the environmental consequences of technogenesis referring areas to three different types according to the level of relative biological discomfort and they can serve as a basis for the development of special and time structure of monitoring.

**Key words:** sagging rocks, swelling rocks, engineering and geological zoning.

### REFERENCES

1. Trofimov V. T., Gerasimova A. S. [Stability of the geological environment and the factors determining it]. *Geoekologiya* [Geoecology], 1995, no. 2, pp. 18—28.
2. Sinyakov V. N., Olyanskii Yu. I. [Ecological and Geological Assessment of Territories of Distribution of Collapsing and Swelling Rocks in Volgograd Oblast]. *Nauchnyi ezhegodnik*. [Scientific yearbook], iss. 2. Volgograd, Publishing house, 2002, pp. 19—26.
3. Sinyakov V. N. [Engineering and geological characteristics of loess rocks at Caspian lowlands]. *Regional'nye osobennosti podov i zapadinnogo mikrorel'efa Ukrainy* [Regional characteristics of pods and pitted microrelief of Ukraine]. Kiev, 1980. Pp. 35—37.
4. Sinyakov V. N. [Engineering and geological characteristics of upper Quaternary loess rocks of the Lower Volga region in connection with the history of their formation]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology], 1981, no. 5, pp. 65—71.
5. Sinyakov V. N. [On the role of salt tectonics in the formation of geological engineering major salt dome basins]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology], 1984, no. 2, pp. 61—72.
6. Bogomolov A. N., Olyanskii Yu. I., Makhova S. I., Charykova S. A., Tikhonova T. M. [Geoecological assessment of the area of distribution of collapsing and swelling rocks]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii* [Ecology of urban territory], Moscow, 2012, pp. 89—91.
7. Bogomolov A. N., Olyanskii Yu. I., Shiyan S. I., Tikhonova T. M., Kiseleva O. V. [Experience of prevention of deformations of bases in slow collapsing soil]. *Materialy godichnoi sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoi geologii i gidrogeologii (22 marta 2012 g)*. *Sergeevskie chteniya. Vyp. 14* [Proc. of year session of Scientific council of RAS on problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology (March 22, 2012)]. *Sergeevskie chteniya*, iss. 14]. Moscow, PFUR Publ., 2012. Pp. 253—256.
8. Bogomolov A. N., Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Charykova S. A. [Engineering and geological characteristics of the development of territories of distribution of structural and unstable soils]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse* [Modernization and scientific researches in transport complex]. Perm, 2012, vol. 4, pp. 74—79.
9. Olyanskii Yu. I., Shiyan S. I., Bogomolova O. A. [Environmental problems of construction on collapsing soils]. *Gorodskie aglomeratsii na opolznevnykh territoriyakh: materialy V Mezhd-*

*narodnoi konferentsii po geotekhnike, 22—24 sentyabrya 2010 g.* [City agglomerations on landslide territories. Proc. of V Int. conf. on geotechnics, 22—24 September, 2010]. Volgograd, VSUACE Publ., 2010, pp. 240—244.

10. Olyanskii Yu. I., Bogomolov A. N., Tikhonova T. M. *Sarmatskie gliny. Sostav, fiziko-mekhanicheskie svoystva, tipizatsiya po ustoichivosti k obvodneniyu* [Sarmatian clays. Structure, physical and mechanical properties, typing according to resistance to flood]. Palmarium academic publishing, 2013. 239 p.

11. Sinyakov V. N., Kuznetsova S. V. [Geological problems in Volgograd Oblast]. *Ekologicheskaya nauka — praktike* [Ecological science — practice]. Moscow, 1997, vol. 1, pp. 81—84.

12. Trofimov M. V., Ziling D. G. [Contents, object and subject of ecological geology]. *Geoekologiya* [Geoecology], 1996, no. 6, pp. 43—54.

13. Sinyakov V. N., Kuznetsova S. V. [Engineering and geological zoning of Lower Volga region and adjacent territories]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology], 1981, no. 4, pp. 26—37.

14. Slepyan E. I. [Protection of geological environment of territories of cities and city agglomerations — necessary condition to ensure ecological comfort for the population]. *Sovremennye problemy inzhenernoi geologii territorii gorodov i gorodskikh aglomeratsii* [Modern problems of engineering geology of territories of cities and city agglomerations]. Moscow, 1987, pp. 284—286.

*For citation:*

Bogomolov A. N., Olyanskii Yu. I., Shchekochikhina E. V., Kanashinskaya E. P., Alekseev A. F., Galai B. F. [Geoecological assessment of the territories formed by loessial sagging and swelling rocks]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 82—93. (In Russ.).

*About authors:*

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

**Olyanskii Yuri Ivanovich** — Doctor of Geological and Mineral Science, Docent, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [olyansk@list.ru](mailto:olyansk@list.ru)

**Shchekochikhina Evgeniya Viktorovna** — Candidate of Geological and Mineral Science, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [karnat.1@yandex.ru](mailto:karnat.1@yandex.ru)

**Kanashinskaya Elena Pavlovna** — Candidate of Geological and Mineral Science, Docent, Docent of Applied Geology Department, South-Russian State Polytechnical University. 132, Prosvesheniya St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation, [VS-mirpi100@ya.ru](mailto:VS-mirpi100@ya.ru)

**Alekseev Aleksei Fedorovich** — Candidate of Geological and Mineral Science, Docent, Docent of Engineering Geology and Geo-ecology Department, Federation Ural Mining Institute. 30, Kuibyshev St., Ekaterinburg, Russian Federation, [alekseev\\_af@mail.ru](mailto:alekseev_af@mail.ru)

**Galai Boris Fedorovich** — Doctor of Geological and Mineral Science, Professor, Professor of Construction Department, North Caucasian Federal University. 1, Pushkin St., Stavropol', 355009, Russian Federation, [galaybf@mail.ru](mailto:galaybf@mail.ru)

УДК 699.841(05)

**А. В. Масляев**

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

**ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ЖИЗНИ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ РОССИИ  
В ЗДАНИЯХ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ В ФЕДЕРАЛЬНЫХ ЗАКОНАХ  
И НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТАХ РФ**

Основная причина отсутствия защиты жизни и здоровья населения России в зданиях при землетрясении — в упрощенном подходе авторов Федеральных законов № 384-ФЗ и № 190-ФЗ и СНиП 14.13330.2014 и СНиП 42.13330.2011. Объективной характеристикой защиты жизни населения в зданиях при землетрясении может служить нормативный индивидуальный сейсмический риск  $P \geq 5 \cdot 10^{-6}$ , который по сравнению с риском ряда европейских стран допускает примерно в 25 раз большую гибель людей в зданиях при землетрясении [1]. Причина заниженного индивидуального сейсмического риска, по мнению автора, заключается в отсутствии в документах РФ прежде всего положений по сейсмозащите населенных пунктов России при землетрясении.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** землетрясение, сейсмозащита зданий, населенный пункт, сейсмический риск, защита жизни и здоровья людей при землетрясениях.

Так как большая часть зданий и сооружений располагается на территориях населенных пунктов, они в данной статье и являются основными объектами рассмотрения.

Как известно, степень сейсмозащиты зданий и сооружений при землетрясении зависит в основном от показателя равенства (повышенного или заниженного) между расчетным сейсмическим воздействием и интенсивностью реального землетрясения. Как известно, расчетная сейсмическая опасность для зданий и сооружений в сейсмоопасных районах России принимается на основе комплекта карт общего сейсмического районирования (ОСР-97), разработанного учеными Института физики Земли О. Ю. Шмидта РАН. При этом в работе [2] четко поясняется, что при выборе карты (уровня сейсмической опасности) следует в первую очередь учитывать длительность жизненного цикла объекта капитального строительства. И это справедливо, так как в природе действует устойчивая закономерность, согласно которой за больший промежуток времени вероятность проявления опасного природного явления с повышенной интенсивностью возрастает. Эта закономерность природы отражена в комплекте карт общего сейсмического районирования (ОСР-97) территории РФ в виде учета периода ( $T$ ) повторяемости землетрясения. Так, например, при минимальном периоде повторяемости землетрясения  $T = 500$  лет в карте А указывается минимальная сейсмическая опасность, а при максимальном периоде  $T = 5000$  лет в карте С — максимальная интенсивность землетрясения. Поэтому положение по определению длительности жизненного цикла объекта капитального строительства следует считать «центральным местом» в документах РФ.

Однако в ФЗ № 384 и № 190, СП 14.13330.2014 и СП 42.13330.2011 из-за упрощенного рассмотрения зданий и сооружений в виде «отдельно стоящих объектов» (без важнейшего учета расположения на территориях населенных пунктов) длительность их жизненных циклов принята в короткие 50 лет.

Именно поэтому для расчета большей части зданий и сооружений на территории России используется карта А с периодом повторяемости землетрясения  $T = 500$  лет и самой минимальной сейсмической опасностью. Поэтому это положение федеральных законов и нормативных документов РФ изначально как бы «силовым способом» рекомендует для проектировщиков использовать минимальную степень сейсмозащиты для большей части зданий и сооружений населенных пунктов, что не может обеспечить защиту жизни людей в зданиях при максимальной интенсивности землетрясения по карте С. При этом в СП 14.13330.2014 ни слова не говорится о том, что комплект карт ОСР-97 допускает на территории любого населенного пункта России проявление первого (очередного) сейсмического события землетрясения с максимальной интенсивностью по карте С.

Не требует доказательства тот факт, что в действительности большая часть зданий и сооружений располагается на территориях населенных пунктов России, что, в свою очередь, автоматически меняет парадигму их сейсмозащиты при землетрясении. Основная суть поднимаемой в этой статье проблемы заключается в том, что если рассматривать населенный пункт в виде большой территории с множеством расположенных на ней капитальных зданий и сооружений (отдельных капитальных объектов), его необходимо, согласно п. 10 статьи 1 Федерального закона РФ № 190, считать самым ответственным федеральным объектом капитального строительства в России. Но признание населенного пункта России объектом капитального строительства почему-то отсутствует в вышеперечисленных ФЗ и СП. Как известно, согласно СП 14.13330.2014 при землетрясении сейсмозащита должна решаться только для объектов капитального строительства. Поэтому авторы Федеральных документов РФ, чтобы не решать дорогостоящую сейсмозащиту населенного пункта России, пошли по пути непризнания его объектом капитального строительства. Как говорится, если нет такого объекта капитального строительства, как населенный пункт, в сейсмоопасных районах России, то и отсутствует проблема по его сейсмозащите при землетрясении. Если признать населенный пункт России объектом капитального строительства, то такие его основные характеристики, как непрерывное пребывание в нем многих тысяч людей, длительность его жизненного цикла в 1 тысячу лет [2] потребуют для его сейсмозащиты использовать только максимальную сейсмическую опасность по карте С.

Но при этом известно, что сейсмозащита населенного пункта при землетрясении зависит только от сейсмозащиты его основных зданий и сооружений. Поэтому для сейсмозащиты населенного пункта следует его основные здания и сооружения также рассчитывать на максимальную сейсмическую опасность, а не на минимальную сейсмичность. Но для расчетов основных зданий и сооружений на территории населенного пункта на максимальную сейсмическую опасность необходимо знать их конкретный перечень. Поэтому в статье [3] предлагается перечень основных зданий и сооружений (повышенной ответственности) на территории населенного пункта России определять только рабочей группе региональных специалистов. Главная задача для специалистов при определении перечня основных зданий и сооружений для конкретного населенного пункта — это защита жизни населения в зданиях

при максимальной интенсивности землетрясения на данной территории. Для правильного определения перечня основных зданий и сооружений необходимо прежде всего располагать конкретными данными об общей численности населения в данном населенном пункте, количестве и этажности зданий, в которых размещается основная часть людей. Согласно расчетам, в некоторых населенных пунктах России основными объектами могут стать даже жилые здания 3—4-этажной застройки, в которых размещается основная часть населения. Так как населенный пункт является федеральной собственностью, федеральная исполнительная власть России не имеет юридических полномочий поручать определять перечень его основных зданий и сооружений любой коммерческой организации.

Другого способа сейсмозащиты населенного пункта и его основных зданий и сооружений при землетрясении просто не существует. Для сравнения с этим способом сейсмозащиты зданий и сооружений с повышенной ответственностью при землетрясении напомним читателю порядок решения этого вопроса в федеральных документах. Во-первых, в вышеназванных федеральных законах и СНиПах для всех населенных пунктов России установлен единый узкий перечень зданий и сооружений повышенной ответственности. И это несмотря на то, что почти каждый населенный пункт России имеет свои строго определенные особенности, которые только и определяют перечень основных зданий и сооружений: 1) численность населения; 2) этажность, структура капитальной застройки и т. д. Поэтому узкий перечень зданий и сооружений повышенной ответственности в федеральных документах РФ есть результат «слепой» работы специалистов. Так, например, почти в каждом населенном пункте основную часть застройки образуют жилые и общественные здания. В перечне зданий и сооружений повышенной ответственности в федеральных документах РФ указываются только жилые и общественные здания выше 25 этажей, которых просто нет на территориях большей части населенных пунктов России. Отсюда можно сделать вывод, что многие населенные пункты России в сейсмоопасных районах возводятся жилыми и общественными зданиями только с нормальной ответственностью, которые рассчитываются на минимальную сейсмическую опасность по карте А. При этом известно, что для территорий большей части населенных пунктов России разница между сейсмическими опасностями по картам А и С составляет 2 балла, что значительно повышает вероятность разрушения зданий и гибель людей при землетрясении с максимальной интенсивностью.

Здесь также следует сказать и о том, что СП 14.13330.2014 определение уровня ответственности зданий и сооружений поручает делать заказчику по представлению генпроектировщика, который, как известно, просто не может решать проблему сейсмозащиты населенного пункта. Поэтому такое положение нормативного документа автор считает коррупционным.

Как известно, территории многих населенных пунктов России могут подвергаться воздействиям нескольких опасных природных явлений. При этом воздействия некоторых из природных явлений на здания и сооружения могут суммироваться и приводить к разрушительным последствиям. Эффект усиления общего силового воздействия на здания и сооружения при одновременном проявлении двух и более опасных природных явлений (землетря-

сение, оползневые участки) с большой вероятностью возможен, когда генплан населенного пункта разрабатывается (разработан) без их учета и при отсутствии перечня основных зданий и сооружений. Особенно это касается определения местоположения основных зданий и сооружений на генплане населенного пункта с учетом воздействия опасных природных явлений. Как известно, на территории почти любого населенного пункта могут быть участки благоприятные и неблагоприятные в сейсмическом отношении. Поэтому расположение основных зданий и сооружений на благоприятных в сейсмическом отношении участках, как известно, является наиболее надежным способом их сейсмозащиты.

Как отмечалось в [3, 4], в СП 42.13330.2011 отсутствует положение об указании в документации генплана каждого населенного пункта перечня всех опасных воздействий природного и техногенного характера, что является значительной его недоработкой. Квалифицированной достаточной документацией для разработки генплана населенного пункта можно считать только материалы с учетом геологических и гидрогеологических характеристик грунтовых условий на территории населенного пункта, данных о наиболее вероятных амплитудных уровнях воздействий природного и техногенного характера за период времени в 1 тысячу лет. Так как перечень основных зданий и сооружений требуется для разработки генплана населенного пункта (до расчета на сейсмическое воздействие отдельных объектов), над его разработкой должна работать только рабочая группа региональных специалистов.

Как известно, главной целью ФЗ № 384 является «защита жизни и здоровья граждан». Более того, в ст. 7 этого закона четко указывается об ответственности непосредственно самих зданий для решения указанной цели: «Строительные конструкции и основание здания или сооружения должны обладать такой прочностью и устойчивостью, чтобы в процессе строительства и эксплуатации не возникало угрозы причинения вреда жизни или здоровью людей...». Специалистам известно, что требования федеральных законов РФ в обязательном порядке должны распространяться на все другие федеральные нормативные документы соответствующего содержания. И если в каком-нибудь федеральном нормативном документе строительного содержания отсутствует требование федерального закона по защите жизни и здоровья людей в зданиях, то он автоматически теряет свою юридическую легитимность.

Но, к сожалению, указание ФЗ № 384 по защите жизни и здоровья людей в зданиях при максимальной интенсивности землетрясения на местности отсутствует, например, в СП 14.13330.2014. Более того, расчетные положения СП допускают при воздействии основного подземного толчка образование в зданиях предельно допустимой 3-й степени повреждения по шкале MSK-64, при которой обрушение конструкций не наступает. Согласно положениям шкалы MSK-64, это означает, что при землетрясении в здании с 3-й степенью повреждения образуется максимально возможное сейсмическое воздействие на людей, при котором наибольшее число населения потеряет здоровье на длительное время. Другими словами, расчетные положения этого СП за счет допустимости образования в зданиях максимальной 3-й степени повреждения

по шкале MSK-64 при землетрясении не выполняют указание ФЗ № 384 о защите здоровья населения России в зданиях при сейсмических воздействиях [5, 6]. Получается, что, несмотря на выводы в многочисленных научных работах медиков о том, что при сильных землетрясениях люди в зданиях по причине получения ими психической травмы теряют здоровье на длительное время, в федеральном нормативном документе СП 14.13330.2014 даже слово «здоровье» не упоминается.

Поэтому сотрудники научно-исследовательской сейсмологической лаборатории ВолгГАСУ, используя данные ученых-медиков о потерях здоровья людей в зданиях при ряде сильных землетрясениях, а также результаты своих исследований о поэтажной реакции людей в зданиях разного типа при Газлийском 1984 г., Кайраккумском 1985 г., Кишиневском 1990 г. землетрясениях, разработали новый метод по расчету потерь здоровья людей в зданиях в зависимости от интенсивности и длительности участка сейсмического воздействия, объемно-планировочных и конструктивных решений зданий [7]. В конце октября 2012 г. заведующий сейсмолабораторией направил письмо директору Департамента гражданской защиты МЧС России С. Л. Диденко с предложением предоставить метод расчета потерь здоровья людей в зданиях при землетрясениях для дальнейшего изучения и применения. На данный момент ответ не поступил. В 2013 г. в адрес начальника военного научного комитета Минбороны РФ было направлено аналогичное предложение, но ответа так и не было. Получается, что чиновники высокого ранга в России не выполняют требование федерального закона № 384 по защите жизни и здоровья людей в зданиях при землетрясении. В соответствующих нормативных документах в развитых странах [8—10] не предусматривается предлагаемая в данной статье защита здоровья населения в зданиях при землетрясении.

#### *Выводы.*

1. В Федеральных законах № 384 № 190 и нормативных документах СП 14.13330.2014 и СП 42.13330.2011 отсутствует признание населенного пункта России объектом капитального строительства, что не позволяет специалистам решать задачу защиты жизни и здоровья населения в зданиях при максимальной интенсивности землетрясения.

2. Защита жизни и здоровья людей в зданиях при землетрясении может решаться только при обеспечении сейсмозащиты населенного пункта.

3. Для сейсмозащиты населенного пункта следует использовать следующие характеристики:

длительность жизненного цикла населенного пункта России определить в тысячу лет, а для крупных городов в неограниченное время;

перечень основных (ответственных) зданий и сооружений должна определять рабочая группа региональных специалистов;

основные (ответственные) здания и сооружения населенных пунктов следует рассчитывать на интенсивность землетрясения по карте В с учетом первых повторных сильных толчков.

4. Для каждого населенного пункта России должен быть определен перечень всех опасных природных воздействий, которые должны учитывать разработчики генпланов населенных пунктов.

5. Для защиты здоровья населения следует в расчетах зданий предусматривать минимальную степень повреждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кофф Г. Л., Рюмина Е. В. Сейсмический риск (виды, оценка, управление). М. : Полтекс, 2003. 108 с.
2. Уломов В. И., Шумилина Л. С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Масштаб 1: 1000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмических районах. М., 1999.
3. Масляев А. В. Защита населенных пунктов России от воздействия опасных природных явлений // Жилищное строительство. 2014. № 4. С. 40—43.
4. Масляев А. В. Анализ федеральных законов РФ по сейсмозащите зданий с большим числом людей при землетрясении // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2013. № 5. С. 27—30.
5. Масляев А. В. Занижение сейсмозащиты зданий с большим числом людей на этапах проектирования, строительства и эксплуатации // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2012. № 3. С. 31—37.
6. Александровский Ю. А. Введение // Психические расстройства у пострадавших во время землетрясения в Армении: сб. науч. тр. М., 1989. С. 3—7.
7. Масляев А. В. Сохранение здоровья людей, находящихся в зданиях при землетрясении // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2014. № 2. С. 38—42.
8. Okamoto S. Introduction to earthquake engineering. University of Tokyo Press, 1973.
9. Eurocode-8. Design provisions for earthquake resistance of structures.
10. Ghoch S. K. Trends in the Seismic Design Provisions of the U. S. Building Codes // PCJ Journal. 2001. Vol. 46. № 5. Pp. 98—102.

© Масляев А. В., 2015

Поступила в редакцию  
в декабре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Масляев А. В. Обоснование защиты жизни и здоровья населения России в зданиях при землетрясении в федеральных законах и нормативных документах РФ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 94—100.

Об авторе:

**Масляев Александр Викторович** — канд. техн. наук, доц., научно-исследовательская сейсмологическая лаборатория ВолгГАСУ, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, maslaev@mail.ru, victor3705@mail.ru

**A. V. Maslyayev**

**SUBSTANTIATION OF PROTECTION OF LIFE AND HEALTH OF THE POPULATION OF RUSSIA IN BUILDINGS AT EARTHQUAKE IN FEDERAL LAWS AND NORMATIVE DOCUMENTS OF THE RUSSIAN FEDERATION**

The main reason of lack of life and health protection of the population of Russia in buildings at earthquake is in the simplified approach of the authors to the Federal laws and normative documents. The objective characteristic of life protection of the population in buildings at earthquake can be served by normative individual seismic risk  $P \geq 5 \cdot 10^{-6}$ , which in comparison with risk in a number of European countries supposes approximately 25 times higher loss of life in buildings at earthquake. The reason of the underestimated individual seismic risk, in the opinion of the author, is the absence of rules on earthquake protection of the settlements in Russia in the documents of the Russian Federation.

**К е у w o r d s:** earthquake, earthquake protection of buildings, settlement, seismic risk, life and health protection of people at earthquakes.

---

REFERENCES

1. Koff G. L., Ryumina E. V. *Seismicheskii risk (vidy, otsenka, upravlenie)* [Seismic risk (types, assessment, management)]. Moscow, Polteks Publ., 2003. 108 p.
2. Ulomov V. I., Shumilina L. S. *Komplekt kart obshchego seismicheskogo raionirovaniya territorii Rossiiskoi Federatsii OSR-97. Masshtab 1: 1000000. Ob'yasnitel'naya zapiska i spisok gorodov i naseleennykh punktov, raspolozhennykh v seismicheskikh raionakh* [A set of maps of general seismic zoning of the territory of the Russian Federation OSR-97. Scale 1: 1000000. An explanatory note and the list of cities and settlements situated in seismic countries]. Moscow, 1999.
3. Maslyayev A. V. [Protection of Russian settlements against effect of dangerous natural phenomena]. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction], 2014, no. 4, pp. 40—43.
4. Maslyayev A.V. [Antiseismic Protection of Buildings with Large Number People at Earthquake under Requirements of Federal Laws of Russian Federation]. *Natural and Technogenic Risks. Safety of Structures*, 2013, no. 5, pp. 27—30.
5. Maslyayev A.V. [Understatement of Seismic Protection for Buildings with Great Numbers of Occupants at Design, Construction and Operation Stages]. *Natural and Technogenic Risks. Safety of Structures*, 2012, no. 3, pp. 31—37.
6. Aleksandrovskii Yu. A. [Introduction]. *Psikhicheskie rasstroistva u postradavshikh vo vremya zemletryaseniya v Armenii: sbornik nauchnykh trudov* [Mental disorders of victims of the earthquake in Armenia. Proc.]. Moscow, 1989. Pp. 3—7.
7. Maslyayev A.V. [Preservation the People's Health in Buildings at Earthquake]. *Natural and Technogenic Risks. Safety of Structures*, 2014, no. 2, pp. 38—42.
8. Okatoto S. *Introduction to earthquake engineering*. University of Tokyo Press, 1973.
9. Eurocode-8. Design provisions for earthquake resistance of structures.
10. Ghoch S. K. Trends in the Seismic Design Provisions of the U. S. Building Codes. *PCJ Journal*, 2001, 46(5), pp. 98—102.

*For citation:*

Maslyayev A. V. [Substantiation of protection of life and health of the population of Russia in buildings at earthquake in federal laws and normative documents of the Russian Federation]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 94—100. (In Russ.).

*About author:*

**Maslyayev Aleksandr Viktorovitch** — Candidate of Engineering Science, Docent, Scientific-and-research Seismological Laboratory, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, maslaev@mail.ru, victor3705@mail.ru

УДК 634.93:551.4

**Г. А. Рулев, В. Н. Анопин**

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ГЕОТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ИССЛЕДОВАНИЯХ СОСТОЯНИЯ ПРИДОРΟЖНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

Приведены полученные с применением геотопологического подхода материалы оценки состояния придорожных защитных лесонасаждений в различных условиях произрастания. Представлены результаты анализа объемов суммарного поступления атмосферных осадков с поверхностного стока на различные формы микрорельефа, а также изменения водно-физических свойств и динамики увлажнения почвогрунтов.

**Ключевые слова:** геотопологическая концепция, ГИС-технологии, придорожные защитные лесные полосы, лесорастительные условия.

Введенный В. Б. Сочава термин «геотопология» [1] в настоящее время представляет направление в ландшафтоведении [2, 3] и защитном лесоразведении [4], изучающее низшие таксономические ранги в пределах фаций и биогеоценозов геосистем. Геотопологическая концепция была впервые обозначена в русской школе ландшафтоведения в 1904 г. Г. Н. Высоцким, затем в 1934 г. М. А. Первухиным при создании карт типов местопроизрастаний, или фитотопологических карт. В дальнейшем развитии ландшафтоведения вследствие преобладания генетических представлений [2] геотопологический подход не получил широкого применения, ограничившись рамками учения о морфологии ландшафта. Наибольшее значение в формировании геотопологической концепции геоботаники имели работы Л. Г. Раменского [5, с. 165—173], который рассматривал местоположение в условиях однородного климатического фона в качестве местообитания растительных сообществ, а позже — в качестве топологической основы различных категорий земель. Им же было сформулировано и наиболее важное положение данной концепции о возможности, а следовательно, и целесообразности строгой, однозначной и доступной регистрации характерных параметров конкретного участка земной поверхности, раскрывающее значимость геотопологического подхода при почвенно-геоботанических исследованиях земель.

Для разграничения топологии в географии от имеющего такое же название направления геометрии В. Б. Сочава [1] добавил в нее частицу «гео» и обозначил этим термином дифференциацию географической оболочки на самые низшие единицы таксономического ранга.

Нами с использованием ГИС-технологии [6—9] была выполнена оценка эффективности применения геотопологического подхода при анализе взаимосвязи распределения отрицательных элементов микрорельефа, имеющих широкое распространение в правобережье Волгоградской области [10, 11], на территории под придорожными защитными лесными насаждениями автомагистрали Волгоград — Москва и их состояния.

Придорожные лесные насаждения являются многофункциональными объектами дорожной инфраструктуры. Их основное назначение — предот-

вращение или снижение воздействия на автомобильные дороги и движущийся по ним транспорт неблагоприятных факторов внешней среды и защита прилегающих территорий от вредного воздействия токсичных соединений и тяжелых металлов поллютантов автомобилей [12—15]. Эффективное выполнение этих функций в первую очередь зависит от соответствия конструкции и параметров насаждения, определяемых состоянием и сохранностью древесного, его расчетным параметрам.

Оценка сохранности придорожных насаждений была проведена по космоснимкам на трех тестовых участках автомобильной дороги Волгоград — Москва: «Городище», «Фастов» и «Новая Паника», расположенных вблизи населенных пунктов с одноименными названиями. Для выявления линейного тренда исследование проводилось по двум временным срезам 2009 и 2011 годов. Для этого было выполнено дешифрирование космокарт тестовых участков (рис. 1, 2, 3). В табл. 1 приведены результаты изучения сохранности лесных насаждений.

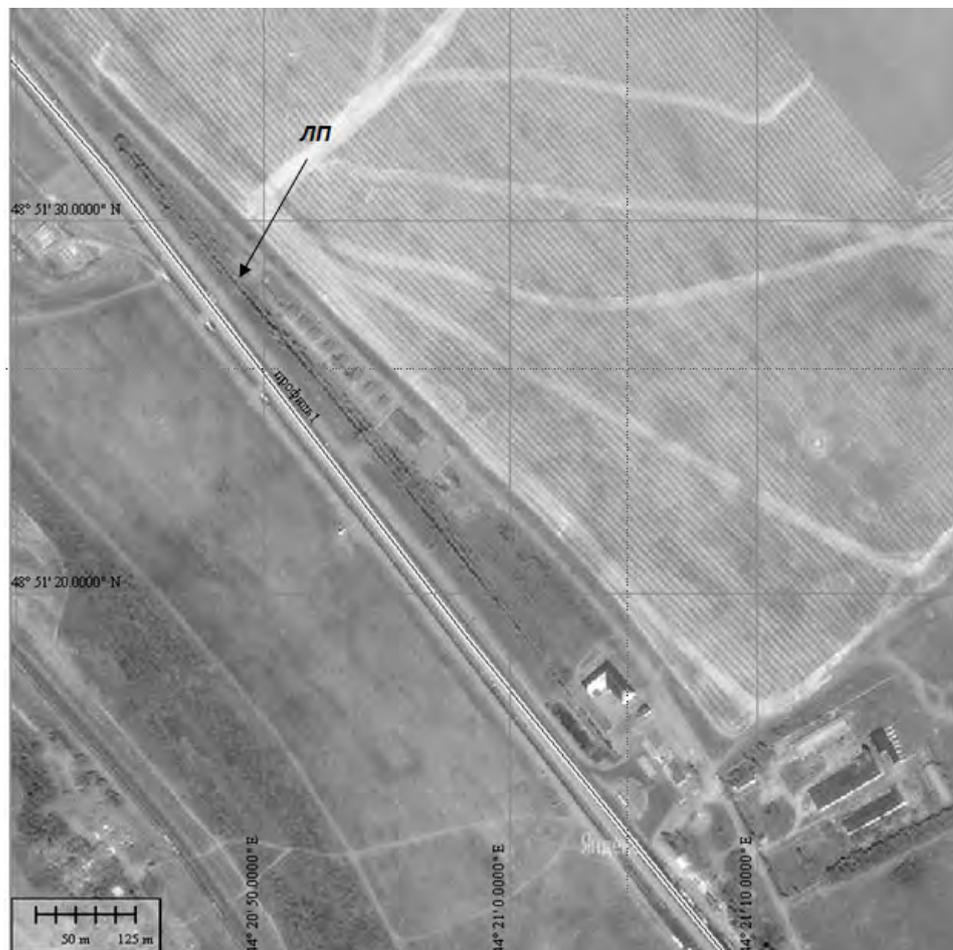


Рис. 1. Космокарта тестового участка «Городище», 2009 г.

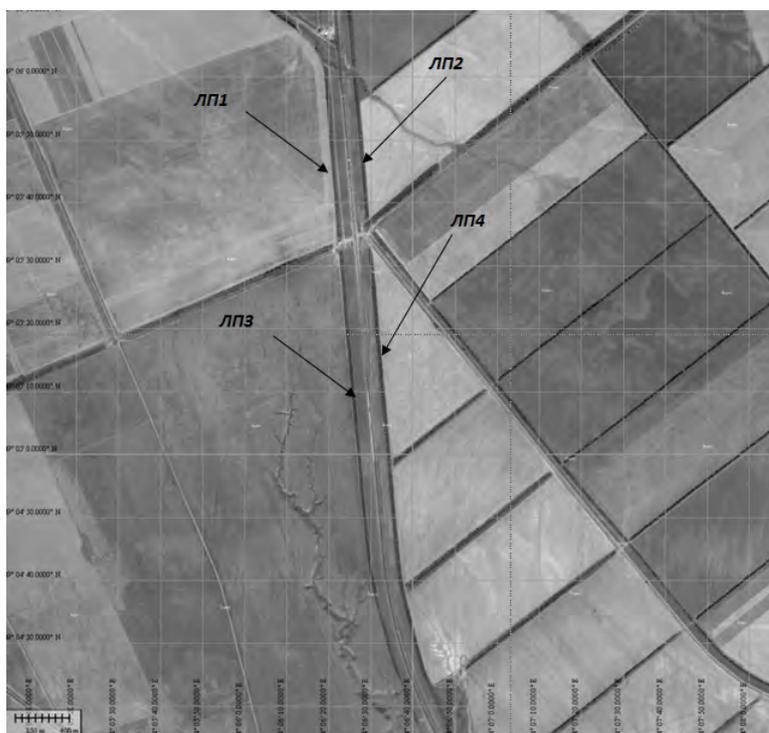


Рис. 2. Космокарта тестового участка «Фастов», 2009 г.



Рис. 3. Космокарта тестового участка «Новая Паника», 2009 г.

Т а б л и ц а 1

*Состояние придорожных лесных полос на автомагистрали Волгоград — Москва*

№ лесной полосы	Год	Площадь лесного насаждения, га	Площадь полога, га	Сохранность, %
Тестовый участок «Городище»				
1	2009	2,79	0,67	24,0
	2011	2,20	0,54	19,2
		Изменение	-0,13	-4,8
Тестовый участок «Фастов»				
1	2009	1,58	1,19	75,1
	2011	1,58	1,08	68,5
		Изменение	-0,7	-6,6
2	2009	1,43	1,051	73,3
	2011	1,43	1,049	73,2
		Изменение	-0,02	-0,1
3	2009	2,59	1,78	68,8
	2011	2,59	1,72	66,6
		Изменение	-0,02	-2,2
4	2009	2,64	1,88	71,2
	2011	2,64	1,82	69,2
		Изменение	-0,06	-2,0
Тестовый участок «Новая Паника»				
1	2009	3,32	2,35	70,7
	2011	3,32	2,25	67,7
		Изменение	-0,10	-3,0
1	2	3	4	5
2	2009	8	5,1	63,2
	2011	8	3,8	43,9
		Изменение	-1,3	-15,4

Тополевая придорожная лесная полоса шириной 18 м на тестовом участке «Городище» находится в состоянии распада. Сохранность ее древостоя по отношению к нормативному в 2009 г. составляла всего 24 %. Последующее техногенное воздействие в сочетании с неблагоприятными почвенно-грунтовыми условиями сократило ее площадь еще на 0,59 га. В результате общая сохранность снизилась до 19 %. На космокарте виден результат — гибель большей части древостоя, указывающий на необходимость раскорчевки существующего и создания нового лесонасаждения.

На тестовом участке «Фастов» состояние лесных полос в целом было удовлетворительным и за два последних года изменилось очень незначительно. Сохранность на 2011 г. составила 67...73 %, что свидетельствует о приемлемых условиях для роста лесонасаждений. Но при этом, несмотря на практически аналогичные почвенные условия, количество древесных растений под воздействием определенных недостаточно благоприятных факторов в полосе № 1 уменьшилось за два года на 6,6 %, в то время как в полосах № 2, 3 и 4 — всего на 0,1...2,2 %. Это указывает на необходимость рассмотрения вопроса о проведении в полосе № 1 определенных мероприятий для восстановления эффективности ее функционирования.

На тестовом участке «Новая Паника» было изучено состояние двух придорожных лесных насаждений: одинарной лесной полосы № 1 шириной 24 м и двойной (состоящей из двух кулис) — № 2. Придорожная кулиса имеет ширину 35 м, прилегающая к полю — 15 м.

Сохранность одинарной придорожной полосы на 2011 г. составляла 67,7 %, причем уменьшение за 2 года было всего 3 %. В придорожной кулисе полосы № 2 за два года выпало 15,4 % деревьев, и к 2011 г. сохранилось только 43,9 % древостоя. Необходимы неотложные мероприятия по улучшению лесорастительных условий и восстановлению этой полосы. Близкие показатели имели насаждения и в полевой кулисе.

Результаты сопряженного анализа состояния лесонасаждений и орографии территории свидетельствовали о том, что на всей протяженности обследованного участка автомобильной дороги лучшие показатели имели лесные полосы, произрастающие в местах понижений микрорельефа.

В потяжинах, отличающихся самыми лучшими лесорастительными условиями, формируются своеобразные экотопы или фациальные комплексы (группы фаций). Их лугово-каштановые почвы, по сравнению с зональными, имеют более мощный и плодородный гумусовый горизонт, более тяжелый гранулометрический состав и, как следствие, высокие показатели максимальной гигроскопичности. Сравнительные показатели водно-физических свойств почв приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Объемная масса и полевая влагоемкость лугово-каштановой и каштановой почв придорожно-лесных полос автомагистрали Волгоград — Москва*

Горизонт, см	Лугово-каштановая почва			Каштановая почва (контроль)		
	объемная масса, г/см <sup>3</sup>	наименьш. влагоемкость		объемная масса, г/см <sup>3</sup>	наименьш. влагоемкость	
		%	мм		%	мм
0...10	1,45	27,8	40,3	1,41	20,8	29,3
10...20	1,45	23,2	33,6	1,41	22,0	31,0
20...30	1,44	21,6	31,1	1,41	19,6	27,6
30...40	1,31	20,0	26,4	1,45	18,9	27,4
40...50	1,32	18,8	24,8	1,52	18,3	27,8
50...60	1,32	18,8	24,8	1,52	14,6	22,1
60...70	1,46	10,8	15,8	1,52	14,6	22,1
70...80	1,46	10,8	15,5	1,49	13,2	19,6
80...90	1,46	8,2	11,9	1,49	13,2	19,6
90...100	1,46	8,2	11,9	1,49	10,6	15,7
100...110	1,50	7,6	11,4	1,49	9,5	14,2
110...120	1,50	7,6	11,4	1,49	9,5	14,2
120...130	1,50	11,2	16,8	1,49	7,8	11,6
130...140	1,50	14,8	22,2	1,49	6,2	9,2
140...150	1,50	14,8	22,2	1,49	6,2	9,2
0...50			156,2			143,1
50...100			79,9			99,1
100...150			84,0			58,4
0...150			320,1			300,6

Плотность лугово-каштановой почвы в пахотном горизонте  $A_{\text{пах}}$  была выше, чем на контроле, постепенно увеличиваясь к глубине одного метра до  $1,5 \text{ г/см}^3$ .

Наименьшая влагоемкость перегнойно-аккумулятивного горизонта  $A_1$  в лугово-каштановой почве достигала величины 23...28 %, в каштановой почве — 21...22 %, влагоемкость безгумусовых горизонтов обоих видов почв практически была одинакова, токсичного для древесной растительности засоления почв обнаружено не было.

Основным источником поступления влаги в почвы исследуемых лесонасаждений являются атмосферные осадки (грунтовые воды в районе исследований залегают глубоко и во влагообороте ризосферы не участвуют). Наблюдения за влажностью почв показали, что лугово-каштановые почвы характеризуются лучшим увлажнением в течение всего вегетационного периода. Величина весеннего запаса влаги в отдельные годы достигла 345 мм, что было в два раза больше, чем на контроле. В середине лета разница снижалась до 65 мм и практически сохранялась до осени. Постоянных четких различий по вариантам в осенний период установлено не было, однако в отдельные годы запасы влаги в лугово-каштановой почве потяжин были выше, чем на контроле, почти на 100 мм.

Детальный анализ данных динамики влажности показал, что при емкости потяжины  $3...6 \text{ м}^3$  (площадь  $200...400 \text{ м}^2$ ) может происходить перераспределение поступления влаги в почву не только в процессе весеннего снеготаяния, но и при выпадении ливневых осадков.

Для установления возможных величин перераспределения выпавших осадков на участках с выраженным микрорельефом нами были выполнены соответствующие расчеты. По общепринятой методике<sup>1</sup> был проведен расчет значений поступления дождевого стока в понижения по формуле

$$Y_{p\%} = A_{1\%} Q H_{1\%} L'_{p\%} F,$$

где  $H_{1\%}$  — суточный слой осадков вероятностью превышения ( $P = 1\%$ ) 100 мм;  $Q$  — коэффициент стока (зависит от категории почв, суточного слоя осадков  $H_{1\%}$  и площади водосбора) — 0,58;  $L'_{p\%}$  — переходный коэффициент расхода вероятностей превышения  $p = 1\%$  к расходам других вероятностей (зависит от площади водосбора,  $\text{км}^2$ ), при  $F = 1 \text{ км}^2$  он составил для обеспеченности  $p\% = 5$  — 0,40;  $p\% = 10$  — 0,23;  $p\% = 25$  — 0,08;  $A_{1\%}$  — максимальный модуль дождевого стока,  $\text{м}^3/\text{с}$ , в % (0,52).

Дождевой сток,  $\text{м}^3/\text{с}$ , составил, при:

$$Q_{5\%} = 0,52 \cdot 100 \cdot 0,58 \cdot 0,40 = 12,0;$$

$$Q_{10\%} = 0,52 \cdot 100 \cdot 0,58 \cdot 0,23 = 8,94;$$

$$Q_{25\%} = 0,52 \cdot 100 \cdot 0,58 \cdot 0,08 = 2,41.$$

Объем дождевого стока определяли по формуле:

<sup>1</sup> Определение расчетных гидрологических характеристик (СНиП 2.01.14—83). М., 1985. 36 с.

$$W_{p\%} = 1000h_{p\%}F,$$

где  $W$  — объем стока вероятностью превышения  $p\%$ ,  $m^3$ ; 1000 — коэффициент размерности;  $h_{p\%}$  — слой дождевого стока, мм;  $F$  — площадь водосбора,  $km^2$ .

Для площади водосбора микропонижения равной  $0,001 km^2 = 0,1 га$ :

$$W_{5\%} = 1000 \cdot 7,1 \cdot 0,001 = 7,1;$$

$$W_{10\%} = 1000 \cdot 4,08 \cdot 0,001 = 4,08;$$

$$W_{25\%} = 1000 \cdot 1,42 \cdot 0,001 = 1,42.$$

Для определения емкости микропонижений, использовали формулу

$$V = \frac{\pi hr^2}{2},$$

где  $h$  — высота порога;  $r$  — радиус круга, равновеликого по площади микропонижению.

С учетом того, что средняя площадь микропонижений была близка к  $200 m^2$ , его емкость составляла  $3,13 m^3$ .

Расчеты показали, что понижение с водосбором  $0,1 га$  может дополнительно аккумулировать за один ливень при стоке 5%-й обеспеченности  $7 m^3$  осадков, при стоке 10%-й обеспеченности —  $4 m^3$ , при стоке 25%-й обеспеченности —  $1 m^3$  осадков.

Приведенные материалы свидетельствуют о том, что применение параллельно с традиционными способами оценки лесорастительных условий территорий методов, основанных на геотопологической концепции, позволяет выполнить анализ распределения естественных понижений (западин, педин, потяжин), получающих дополнительное поверхностное увлажнение за счет поступления в них стока выпадающих осадков, и разработать рекомендации по их учету, а также созданию искусственных микропонижений, необходимых для обеспечения благоприятных условий для роста придорожных лесонасаждений и выполнения ими защитных функций.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сочава В. Б. Геотопология как раздел учения о геосистемах // Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1974. С. 3—38.
2. Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М. : Высшая школа, 1991. 366 с.
3. Мильков Ф. Н. Человек и ландшафты. Очерки антропогенного ландшафтоведения. М. : Мысль, 1973. 224 с.
4. Павловский Е. С. Основные направления экологических исследований на ландшафтно-географической основе в агролесомелиорации // Экологическая роль защитных насаждений в лесоаграрном ландшафте. Волгоград, 1982. Вып. 2(76). С. 3—18.
5. Раменский Л. Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Избранные работы. Л. : Наука, 1971. 334 с.
6. Анопин В. Н., Рулев А. С., Березовикова О. Ю. Использование ГИС-технологий при картографировании урболандшафтов г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 26(45). С. 200—207.
7. Анопин В. Н., Рулев А. С. Геоинформационное картографирование урболандшафтных комплексов // Наука и образование : архитектура, градостроительство и строительство: материалы международной конф., посвящ. 60-летию ВолгГАСУ. Т. 2. Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. С. 16—20.

8. Рулев Г. А., Анопин В. Н. Анализ и оценка придорожных лесных полос с использованием ГИС-технологий // Агролесомелиорация в системе адаптивно-ландшафтного земледелия: поиск новой модели: материалы Международной науч.-практич. конф. аспирантов и молодых ученых. Волгоград : ВНИАЛМИ, 2013. С. 22—25.

9. Анопин В. Н., Юферев В. Г., Рулев Г. А. Технология мониторинга состояния полос отвода автомобильных дорог и придорожных территорий с использованием ГИС // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 35(54). С. 160—166.

10. Молодоженов В. А. Выраженность локальных поднятий в рельефе правобережья Нижней Волги // Геоморфология. 1985. № 1. С. 91—93.

11. Молодоженов В. А. О выраженности тектонических структур в рельефе северо-восточной части Волгоградского Правобережья Волги // Геоморфология. 1988. № 2. С. 92—96.

12. Автомобильные дороги в экосистемах (проблемы взаимодействия) / Д. Н. Кавтарадзе, Л. Ф. Николаева, Е. Б. Поршнева, Б. Фролова. М. : ЧеРО, 1999. 240 с.

13. Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzenfahrzeugen in der BRD für das Bezugsjahr 1990 / D. Hassel, P. Jost, F. J. Weber, F. Dursbeck, K. S. Sonnborn ; TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, VFO PLAN 10405151 / 02. Berlin : Erich Schmidt, 1995. 276 s.

14. Трофименко Ю. Ф., Евгеньев Г. И. Экология : Транспортное сооружение и окружающая среда : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. М. : Академия, 2008. 400 с.

15. Трофименко Ю. В., Лобиков А. В. Биологические методы снижения загрязнения придорожной полосы. М. : Информавтодор, 2011. 96 с.

© Рулев Г. А., Анопин В. Н., 2015

Поступила в редакцию  
в ноябре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Рулев Г. А., Анопин В. Н. Геотопологический подход в исследованиях состояния придорожных лесных насаждений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 101—109.

Об авторах:

**Рулев Глеб Александрович** — аспирант кафедры геодезии, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

**Анопин Владимир Николаевич** — д-р географ. наук, проф., зав. кафедрой геодезии, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [AnopinVl.Nik.48@yandex.ru](mailto:AnopinVl.Nik.48@yandex.ru)

**G. A. Rulev, V. N. Anopin**

## GEOTOPOLOGICAL APPROACH TO THE RESEARCH OF ROADSIDE FOREST PLANTING STATE

The article provides the materials of the evaluation of the protective roadside forest planting in different conditions of growth. The materials were received with use of geotopological approach. The authors show the results of the analysis of the volume of total precipitation from surface runoff on various forms of micro-relief, as well as changes in water and physical properties and dynamics of soil moisture.

**Key words:** geotopological concept, GIS-technology, protective roadside forest planting, forest conditions.

### REFERENCES

1. Sochava V. B. [Geotopology as sector of study about geosystems]. *Topologicheskie aspekty ucheniya o geosistemakh* [Topological aspects of study about geosystems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974. Pp. 3—38.

2. Isachenko A. G. *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe raionirovanie* [Landscape study and physical and geographical zoning]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991. 366 p.

3. Mil'kov F. N. *Chelovek i landshafty. Ocherki antropogenno landshaftovedeniya* [Person and landscapes. Essays on anthropogenic landscape study]. Moscow. Mysl' Publ., 1973. 224 p.
4. Pavlovskii E. S. [Main spheres of ecological researches on landscape and geographical basis in agroforestry]. *Ekologicheskaya rol' zashchitnykh nasazhdenii v lesoagromom landshafte* [Ecological role of protective plantings in forest-agrarian landscape]. Volgograd, 1982, iss. 2(76), pp. 3—18.
5. Ramenskii L. G. *Problemy i metody izucheniya rastitel'nogo pokrova. Izbrannye raboty* [Problems and methods of research of vegetation cover. Selected works]. Leningrad, Nauka Publ., 1971. 334 p.
6. Anopin V. N., Rulev A. S., Berezovikova O. Yu. [GIS-technologies using for mapping of Volgograd urban territory]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2012, iss. 26(45), pp. 200—207.
7. Anopin V. N., Rulev A. S. [Geoinformational mapping of urban landscape complexes]. *Nauka i obrazovanie : arhitektura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo: materialy mezhdunarodnoi konferentsii. T. 2* [Science and education: architecture, town planning and construction. Proc. of Int. Conf. V. 2]. Volgograd: VSUACE Publ., 2012, pp. 16—20.
8. Rulev G. A., Anopin V. N. [Analysis and assessment of roadside forest strips with the use of GIS-technologies]. *Agrolesomeliorsiya v sisteme adaptivno-landshaftnogo zemledeliya: poisk novoi modeli: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Agroforestry in the system of adaptive and landscape agriculture: search of a new model. Proc. of Int. Sci. and Prac. Conf.]. Volgograd, VNIALMI Publ., 2013. Pp. 22—25.
9. Anopin V. N., Yuferev V. G., Rulev G. A. Technology of monitoring of the state of right of way and roadside territories using GIS. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2014, iss. 35(54), pp. 160—166.
10. Molodozhenov V. A. [Extent of local swell in the relief on the right bank of the Lower Volga]. *Geomorfologiya* [Geomorphology], 1985, no. 1, pp. 91—93.
11. Molodozhenov V. A. [To extent of tectonic structures in the relief in the north-east part of the Volgograd Right bank of the Volga]. *Geomorfologiy* [Geomorphology], 1988, no. 2, pp. 92—96.
12. Kavtaradze D. N., Nikolaeva L. F., Porshneva E. B., Frolova B. *Avtomobil'nye dorogi v ekosistemakh (problemy vzaimodeistviya)* [Highways in ecosystems (problems of interoperation)]. Moscow, CheRO Publ., 1999. 240 p.
13. Hassel D., Jost P., Weber F. J., Dursbeck F., Sonnborn K. S. Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzenfahrzeugen in der BRD für das Bezugsjahr 1990. TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, VFO PLAN 10405151 / 02. Berlin : Erich Schmidt, 1995. 276 s.
14. Trofimenko Yu. F., Evgen'ev G. I. *Ekologiya : Transportnoe sooruzhenie i okruzhayushchaya sreda : uchebnoe posobie* [Ecology: Transport construction and environment. Study guid]. Moscow, Academy Publ., 2008. 400 p.
15. Trofimenko Yu. V., Lobikov A. V. *Biologicheskie metody snizheniya zagryazneniya pri dorozhnoi polosy* [Biological methods of restriction of roadside strip pollution]. Moscow, Informator Publ., 2011. 96 p.

*For citation:*

Rulev G. A., Anopin V. N. [Geotopological approach to the research of roadside forest planting state]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 101—109. (In Russ.).

*About authors:*

**Rulev Gleb Aleksandrovich** — Postgraduate student of Geodesy Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Anopin Vladimir Nikolaevich** — Doctor of Geographic Science, Professor, the Head of Geodesy Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [AnopinVI.Nik.48@yandex.ru](mailto:AnopinVI.Nik.48@yandex.ru)

УДК 502.17(470.45)

***Е. В. Шагиева, Е. А. Баранская, О. Г. Чеснокова***

***Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет***

## **ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ ГОРОДА ВОЛГОГРАДА**

В статье освещены проблемы экологии города Волгограда. Проведен локальный мониторинг экологического состояния города. Представлен перечень вопросов, требующих незамедлительного решения. Перечислены направления и пути их решения в архитектурно-градостроительном аспекте.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** экология города, городской ландшафт, городская среда, экологические проблемы.

Волгоград является одним из крупных городов России, в котором сформировалась достаточно неблагоприятная экологическая обстановка. Это связано с увеличивающейся с каждым годом плотностью автомобильного транспорта и сохранившимся в городе большим числом промышленных предприятий.

Атмосферный воздух города имеет высокий уровень загрязнения [1]. Это остается острой экологической проблемой городской среды [2]. По оценкам специалистов-экологов, основную часть загрязнений воздушной среды приносят автомобильный транспорт и промышленные предприятия. По объему выбросов наибольший вклад в загрязнение атмосферы Волгограда вносят заводы, работающие в сфере металлургии, топливной, химической и нефтехимической промышленности [3]. «Лидером» в этом отношении является Красноармейский район, где сосредоточено в настоящее время 11 % всех предприятий города.

На сегодняшний день в Волгоградской области утверждена концепция развития территориальной системы наблюдения за состоянием воздуха в регионе до 2015 года. Данная система позволит получать оперативную информацию о состоянии атмосферного воздуха, о превышении предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ. Эта информация впоследствии будет использоваться при разработке целевых программ и мероприятий в сфере охраны воздуха. Сейчас в регионе работают 15 стационарных постов, которые наблюдают за состоянием атмосферы города и области, 8 из них находятся в Волгограде, 5 — в Волжском, 1 — в Краснослободске. Кроме этого в регионе работают специальные передвижные лаборатории, исследующие загазованность воздуха.

Состояние водных ресурсов нашего региона также оставляет желать лучшего [4]. Реки, пруды и озера Волгограда страдают от сбросов в них сточных вод, недостаточно очищенных или вовсе не прошедших очистку. Источником загрязнения водоемов города являются жилищно-коммунальное хозяйство и промышленные предприятия, причем подавляющая часть сбрасываемых вод приходится на предприятия ЖКХ — до 70 %. Именно объекты ЖКХ сегодня вносят основной вклад в загрязнение двух главных рек области — Волги и Дона. Ежегодно в реки Волго-Донского бассейна сбрасывается более 200 млн кубометров сточных вод. Для улучшения состояния гидросфе-

ры города и региона в целом необходимо оперативное выявление и обеззараживание загрязненных водоемов, строительство новых очистных сооружений и реконструкция старых, благоустройство прибрежных зон и т. д.

Наряду с проблемами загрязнения воздуха и водоемов Волгограда остро стоит проблема загрязнения почв. Основными источниками их загрязнения являются выбросы промышленных предприятий и автомобильного транспорта, несанкционированные свалки промышленных и бытовых отходов, а также нерациональное внесение удобрений и средств защиты растений. В почвах Волгограда наблюдается превышение допустимой нормы содержания формальдегидов и фенола. Наиболее сильно загрязнены почвы территорий промышленных предприятий Волгограда, но даже в пределах зеленых зон Красноармейского и Советского районов наблюдается превышение предельно допустимой концентрации ряда тяжелых металлов. Радует, что в последние годы для защиты сельскохозяйственных культур все чаще стали использоваться биологические средства. Это обеспечивает благоприятную экологическую ситуацию агроэкосистем. В целом содержание экотоксикантов в почве и сельскохозяйственной продукции соответствует действующим нормативам и оценивается как допустимое.

Неотъемлемой частью ландшафта являются леса и городские зеленые насаждения Волгограда. Они выполняют экологические, санитарно-гигиенические, микроклиматические, рекреационные и эстетические функции, жизненно важные для каждого жителя города. Помимо пагубного влияния промышленных и транспортных выбросов, к невосполнимым потерям «зеленого щита» ведет также человеческий фактор. Это неорганизованный отдых горожан и незаконная вырубка лесов и насаждений с целью освобождения территории для строительства. На сегодняшний день в черте города насчитывается 1300 га зеленых насаждений, 80 % из которых — это посадки довольно старого возраста. В рамках долгосрочной муниципальной целевой программы «Озеленение Волгограда» планируется ряд мероприятий, направленных на сохранение и расширение лесных массивов. Она предполагает реконструкцию и благоустройство существующих зеленых насаждений города и строительство новых парковых зон. Программа должна быть реализована в 2012—2018 годы.

Экология Волгограда требует оперативного внедрения новых идей, программ, предложений, направленных на улучшение экологической ситуации в городе. В регионе есть понимание существующей проблемы и принимаются реальные меры для ее решения. Стартовала долгосрочная муниципальная целевая программа «Чистый Волгоград» на 2012—2018 годы. В рамках этих программ проводится целый комплекс природоохранных мероприятий, осуществляется модернизация и техническое перевооружение экологически вредных производств, решаются вопросы очистки выбросов, сбросов и утилизации отходов, проводятся работы по благоустройству и озеленению санитарно-защитных зон. Активное участие в сохранении экологии Волгограда принимают студенты и учащиеся города. В частности, студенты-архитекторы ВолгГАСУ, которые реализуют под руководством преподавателей кафедры архитектуры зданий и сооружений различные молодежные экологические акции по благоустройству нашего города и, в частности, Ворошиловского района, а также территории университета ВолгГАСУ. Проводится масштаб-

ный сбор мусора, высадка деревьев и кустарников и многое другое. Большое внимание уделяется научному анализу мирового опыта решения экологических проблем [5].

Остро стоит проблема с размещением отходов на территории города. Ежегодно в Волгограде образуется до 2,0 млн т отходов производства и потребления, номенклатура которых насчитывает 300 наименований. Основная их часть (около 90 %) складывается на пяти полигонах твердых бытовых отходов и девяти промышленных полигонах. На сегодняшний день уже накоплено около 50,0 млн т отходов. Примером образования стихийных свалок может служить овраг, впадающий в балку р. Царица. Находясь в Центральном районе города, овраг (с крупными отрогами) протянулся на 7,5 км, расчленив территорию района. Жители прилегающих к оврагу домов сбрасывают в него мусор, который является основной частью твердых бытовых отходов. Свалки бытового мусора расположены на склонах оврага, преимущественно по осям прилегающих к оврагу улиц.

Переходя к общей характеристике проблемы отходов производства [6] и потребления на территории г. Волгограда и его окрестностей, необходимо сказать о том, что город находится в кольце объектов, представляющих экологическую опасность и угрожающих здоровью населения. Этими объектами являются: 1) свалки твердых отходов; 2) хранилища сточных отходов; 3) комплексы очистки; 4) поля фильтрации; 5) шламонакопители промстоков; 6) мелиоративная система.

Промышленные предприятия на территории г. Волгограда группируются в две зоны: северную и южную [7]. Здесь функционируют наиболее крупные заводы, которые определяют экологическую обстановку на территории города, дают основной объем выбросов и создают основные проблемы для захоронения и утилизации своих отходов. В центральной части города основную антропогенную нагрузку несет о. Голодный, на котором расположены основные очистные сооружения шести районов.

Анализ размещения отходов в северной промзоне показал, что места для полигонов выбраны целенаправленно в отвешках оврагов и балок, прорезающих Приволжскую возвышенность. Этот выбор обусловлен, прежде всего, психологическими факторами, стремлением использовать понижения рельефа для скрытого захоронения отходов. В результате отходы располагаются в зоне, где происходят наиболее активные эрозионные процессы, и продукты естественной переработки отходов сносятся в Волгу по оврагам и балкам.

Размещение отходов в южной промзоне Волгограда ведет к загрязнению зон Сарпинского понижения и бессточных районов к югу от Волгограда, где расположены пруды-накопители. Здесь происходит концентрация растворимых загрязнителей и окончательное их депонирование в этих природных ландшафтах.

Геоморфологические условия каждого района определяют условия складирования жидких, твердых бытовых и промышленных отходов и дальнейшую миграцию продуктов их трансформации. Наиболее активная миграция возможна в условиях интенсивных эрозионных процессов при оврагообразовании и их росте на Приволжской возвышенности и Ергенях. Здесь продукты переработки жидких, твердых бытовых и промышленных отходов мигрируют в Волгу [8].

Особые условия для загрязнения р. Волги [9] создаются при организации очистки городских стоков на острове Голодном. Здесь особое значение имеет контроль за функционированием технологических процессов на станции аэрации.

Овражно-балочная сеть имеет особое значение для территории города Волгограда. С одной стороны, это вывод из хозяйственного оборота ценных для города земель, несанкционированное складирование отходов, миграция загрязняющих веществ, с другой, основная дренажная система города, через которую осуществляется разгрузка грунтовых вод, а также благоприятная аэрация. Возможность использования овражно-балочной сети в качестве рекреационной зоны особенно актуальна в настоящее время.

Являясь наиболее неустойчивой пограничной зоной в геоморфологической системе, где наиболее активны экзогенные геологические процессы, овражно-балочная сеть обеспечивает геодинамическую и геохимическую связь между «геоморфоблоками», объединяя их между собой [10].

При организации правильной градостроительной политики овражно-балочная сеть может как существенно изменить архитектурный облик города, так и решить многие санитарные и рекреационные вопросы. Для понимания их сущности и важности для социального развития города особое значение приобретает просветительская и образовательная экологическая деятельность. Овраги и балки самой природой созданы как объекты, где человек в наиболее яркой и доходчивой форме может понять сущность природных процессов и что нужно сделать, чтобы облагородить среду своего обитания.

Волгоград — один из тех городов, где проблема с зонами отдыха и озеленением стоит очень остро [11], [12]. Их малочисленность приводит к тому, что горожанам негде проводить свое свободное время, что влечет за собой множество социальных проблем.

В 1999 г. профессор ВолГАСУ А. В. Антюфеев и другие преподаватели предложили модель градостроительного развития «Большой Волгоград». Согласно этой модели, мероприятия по архитектурно-художественному и пространственному совершенствованию «Большого Волгограда» должны быть направлены на формирование привлекательного имиджа города — столицы Прикаспийского региона. В соответствии с этой концепцией решающую роль в экологической устойчивости г. Волгограда играют естественные природные комплексы, приходящиеся на земли городской овражно-балочной сети. Площадь оврагов и балок на территории Волгограда составляет около 10 000 га, и лишь небольшая часть их озеленена и благоустроена. Поэтому по планам архитекторов-проектировщиков комплексное озеленение, проникая вглубь городской селитебной территории по склонам и тальвегам, позволит этим зонам соединиться с насаждениями набережных и сформирует решетку природоохранного каркаса Волгограда.

В настоящее время в городе остро стоит проблема с зонами отдыха горожан, во многих районах они просто отсутствуют. Большая роль при создании рекреационных зон должна отводиться овражно-балочной системе, которая расчленяет всю территорию города, его жилые районы на отдельные части городской территории [11]. По существу это единственный вид неосвоенных земель города. Ценность земель оврагов и балок в качестве застройки жилыми и промышленными сооружениями невысока, и в то же время это наиболее благоприятные места для создания зон отдыха.

Являясь своего рода зелеными клиньями Волгограда, в настоящее время овраги и балки стали «отхожим местом» миллионного города и несут на себе огромную антропогенную нагрузку, становятся местом стихийных свалок, сброса промышленных стоков и т. д.

Архитекторами Волгограда разработаны варианты благоустройства ряда оврагов города, например оврага реки Царицы, Ельшанки, поймы р. Мокрой Мечетки. Студентами-архитекторами в течение ряда последних лет созданы дипломные проекты по благоустройству и озеленению городских овражных территорий, например, разработан проект парковой зоны р. Мокрая Мечетка. Она разделяет Тракторозаводской район города на две части — старую заводскую зону и жилой поселок Спартановка с общей численностью населения порядка 300 тыс. человек. Обустроенные парковые зоны в районе отсутствуют. Пойма р. Мокрой Мечетки в рассматриваемом районе имеет корытообразный профиль и делится на две части: нижнюю — затопляемую во время половодья, и верхнюю — между автомобильными дамбами. Для затопляемой нижней части поймы благоустройство должно учитывать весеннее половодье с затоплением почти всего участка. Здесь предусматриваются мероприятия, используемые для лесопарковых зон. Для верхней, незатопляемой зоны можно предусмотреть разработку парка с выполнением свойственных ему функций. Данная работа имеет для района особую срочность, т. к. на этой территории происходит расширение стихийных свалок, рост боковых оврагов и несанкционированное освоение территории.

Другим примером благоустройства балок и оврагов является пойма реки Царица [13], находящаяся в месте соединения Ворошиловского и Центрального районов, представляющая собой историческую ценность, живой памятник в истории образования города и его прежнего имени — Царицын. Согласно Генеральному плану Волгограда, утвержденному решением Волгоградской городской думы в 2007 г., долина реки Царицы с притоками и балками отнесена к зонам охраняемого природного ландшафта, хотя точные ее границы до сих пор не установлены. При этом пойма является одним из наиболее привлекательных мест под развитие в центре города. На настоящий момент эта территория не благоустроена, на склонах оврагов имеются стихийные свалки, которые влияют на грунтовые воды. В 2008 г. на площадке Дома архитектора уже проводилась выставка проектов, в рамках которой авторы предлагали разноплановые варианты обустройства этой территории — от торгового центра до спортивно-развлекательного комплекса с миниатюрным горнолыжным спуском. Однако ни один из проектов так и не претворили в жизнь.

ВолгГАСУ, так же как и многие проектные организации, неоднократно предлагал варианты благоустройства этого участка. Однако администрация настаивает, что земля в пойме реки Царицы может быть предоставлена инвестору только при наличии единой, цельной концепции, главным условием которой должно стать устройство территории для отдыха горожан. Киес Шиперс, архитектор, проектировавший Казань, автор проекта коттеджного поселка «Лебяжья Поляна» в Волго-Ахтубинской пойме, предложил Концепцию нового проекта — семейный досуг. Должны быть зоны для активного отдыха и пассивного времяпрепровождения. Парковочные места, по задумке архитектора, разместят возле цирка, а в самой пойме Царицы должны быть

зеленые и пешеходные зоны. То есть планируется развить рекреационную зону с минимальным набором коммерческих объектов. Проект впишется во все природоохранные нормы и не будет предусматривать строительство крупных торговых центров, жилья, точечных застроек. В то же время перед нами задача — сделать эту зону визитной карточкой, лицом города.

Главным украшением территории могут стать аквапарк и аттракционы. Архитектор также считает важным уделить внимание размещению детских площадок, а также другой инфраструктуры, необходимой для семейного отдыха.

Среди других «изюминок» плана — «зеленая эстрада» для выступлений творческих коллективов и вернисаж для художников. Предусмотрено также сохранение детской железной дороги. Впрочем, пока дальше обсуждения этого и других возможных вариантов благоустройства поймы дело двинуться не может. Прежде всего необходимо составить техническое задание и проработать целостную концепцию развития этой зоны.

В связи с тем, что экологическая обстановка Волгоградской области нуждается в значительном улучшении, необходимо внедрение в экополитику нашего региона определенных идей, предложений и проектов, связанных с преобразованием технологий производства и утилизации отходов, направленных на снижение негативного влияния их на окружающую среду [14].

Руководители страны, регионов, а также экологическое законодательство [15] предлагают ряд мер, которые позволят существенно улучшить экологическую ситуацию как в регионах, так в целом по стране, особенно эти меры будут полезны для Волгоградской области, т. к. для нашего региона характерна острая экологическая ситуация.

В последние годы Волгоградская областная дума и администрация области приняли ряд документов для улучшения экологической ситуации, например постановление № 358-п «О долгосрочной областной целевой программе “Охрана окружающей среды и рациональное природопользование на территории Волгоградской области” на 2010—2015 годы». В этом документе, в частности, говорится, что стратегической целью государственной политики в области экологии является сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций для устойчивого развития общества, повышения качества жизни, улучшения здоровья населения и демографической ситуации, обеспечения экологической безопасности региона.

Далее в документе говорится, что для достижения этой цели необходимо:

сохранение и восстановление природных систем, их биологического разнообразия и способности к саморегуляции как необходимого условия существования человеческого общества;

обеспечение рационального природопользования и равноправного доступа к природным ресурсам ныне живущих и будущих поколений людей;

обеспечение благоприятного состояния окружающей среды как необходимого условия улучшения качества жизни и здоровья населения.

Основные программные направления вышеназванного документа для улучшения экологической ситуации:

охрана и воспроизводство биологических ресурсов;

экологическое образование населения;

развитие системы особо охраняемых природных территорий;

организация и ведение государственного мониторинга окружающей среды;  
рациональное использование водных ресурсов;  
развитие и возрождение защитных лесных полос и других лесонасаждений;  
государственное регулирование в сфере обращения с отходами;  
радиационная безопасность.

Экономическое развитие области, улучшение окружающей среды, качества жизни и здоровья населения обеспечиваются практической реализацией принципов экологической доктрины Российской Федерации, природоохранными программами, повышением эффективности государственного и муниципального управления в сфере природопользования, сохранением природного потенциала и формированием нормативного качества объектов окружающей среды [15].

На протяжении многих лет власти области попросту не замечали стремительно нарастающую проблему экологии. Хорошо, что теперь для решения этой проблемы принята специальная программа. Однако ни содержание этой программы, ни первый год ее реализации не дает оснований надеяться, что проблема отходов в области будет удовлетворительно решена в ближайшем будущем.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ источников загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсной пылью / А. Б. Стреляева, Н. С. Барикаева, Е. А. Калюжина, Д. А. Николенко // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 3(34). Ст. 11. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
2. Азаров В. Н., Донцова Т. В. О балансах вредных веществ в атмосфере крупных городов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 1(31). Ст. 12. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
3. Сидельникова О. П., Козлов Ю. Д. Эффективная удельная активность природных радионуклидов в строительных материалах Волгоградской области // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). Ст. 34. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
4. Мусаелян С. М., Бартоломей Л. А. О некоторых аспектах изменения климата и его влиянии на водные ресурсы Волгоградской области // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). Ст. 33. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
5. Baabereyir A. BA, MPhil Urban environmental problems: a case study of social and environmental injustice in solid waste management in accra. // Thesis submitted to the School of Geography, University of Nottingham, for the degree of Doctor of Philosophy. January, 2009
6. Анисимов Л. А. Проблемы отходов производства и потребления: системный подход // Экологическая безопасность и экономика городских и теплоэнергетических комплексов: материалы Международной науч.-практ. конф. 18—20 мая 1999 г. Волгоград, 1999. С. 225—227.
7. Анисимов Л. А., Худяков Г. И., Солдаткин С. И. Оценка токсикологического риска и формирование градостроительной политики // Оценка и управление природными рисками: Материалы Общеросс. конф. «Риск-2000». М. : Анкил, 2000. С. 336—340.
8. Локальный мониторинг Волгоградского водохранилища на территории Саратовской области // Геологические, геофизические, геохимические исследования юго-востока Русской плиты: материалы межведомст. конф., посвящ. 70-летию геологического факультета Саратовского госуниверситета. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2001. С. 96—97.
9. Anisimov L., Aleshin A. Hydrologic basins in the Volgograd urban area: waste storage, catchment and water contamination // Research Basins and Hydrological Planning / Xi Gu & Seiler (eds). Taylor & Fransis Group, London, 2004. Pp. 99—105.
10. Проблемы захоронения и утилизации отходов г. Волгограда // Актуальные вопросы мониторинга экосистем антропогенно-нарушенных территорий: материалы Всеросс. науч.-практ. конф. Ульяновск, 2000. С. 88—89.
11. Основные методы планировочной организации рекреационных территорий Нижнего Поволжья / И. И. Соколов, Г. В. Павлов, Е. И. Горюнова, А. И. Соколов, В. Ф. Сидоренко // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 1(25). Ст. 7. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

12. Ковалева Г. Н. Состояние рекреационных пространств в г. Волгограде на современном этапе и их влияние на социокультурную жизнь города // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2010. Вып. 3(13). Ст. 11. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

13. Использование овражно-балочной сети на территории г. Волгограда в рекреационных целях // Кафедре геоморфологии и геоэкологии Саратовского университета 70 лет. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2003. С. 99—104.

14. Кудрявцева Т. Н., Мороз В. В. Реконструкция систем водоснабжения на примере объектов Волгоградской области // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 3(17). Ст. 10. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

15. Кремер Л., Винтер Г. Экологическое право Европейского союза. М.: Городец, 2007. 144 с.

© Шагиева Е. В., Баранская Е. А., Чеснокова О. Г., 2015

Поступила в редакцию  
в январе 2015 г.

Ссылка для цитирования:

Шагиева Е. В., Баранская Е. А., Чеснокова О. Г. Проблемы экологии города Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 110—118.

Об авторах:

**Шагиева Елизавета Владимировна** — студентка, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [liza-2609@mail.ru](mailto:liza-2609@mail.ru)

**Баранская Елена Аркадьевна** — преподаватель кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Чеснокова Оксана Геннадьевна** — доцент кафедры архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [oxxana72@yandex.ru](mailto:oxxana72@yandex.ru)

**E. V. Shagieva, E. A. Baranskaya, O. G. Chesnokova**

## ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN VOLGOGRAD

This article describes the environmental problems of the city of Volgograd. Local monitoring of environmental conditions in the city is carried out. The list of issues that require immediate solution is provided. The directions and solutions from the point of view of architecture and urban development are listed.

**К e y w o r d s:** urban ecology, urban landscape, urban environment, environmental issues.

### REFERENCES

1. Strel'yeva A. B., Barikaeva N. S., Kalyuzhina E. A., Nikolenko D. A. [Analysis of sources of air pollution by fine dust]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 3(34), paper 11. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

2. Azarov V. N., Dontsova T. V. [Balances of pollutants in the atmosphere of largest cities]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 1(31), paper 12. Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

3. Sidelnikova O. P., Kozlov Yu. D. [Effective specific activity of natural radionuclides in construction materials in Volgograd Oblast]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2013, no. 2(27), paper 34. Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

4. Musaelyan S. M., Bartolomei L. A. [Some aspects of climate change and its influence on water resources in Volgograd Oblast]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2013, no. 2(27), paper 33. Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

5. Baabereyir A. BA, M. Phil. Urban environmental problems: a case study of social and environmental injustice in solid waste management in Accra. *Thesis submitted to the School of Geography*. University of Nottingham, for the degree of Doctor of Philosophy. January, 2009.

6. Anisimov L. A. [Problems of wastes of production and consumption: system approach]. *Ekologicheskaya bezopasnost' i ekonomika gorodskikh i teploenergeticheskikh kompleksov: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Ecological safety and economy of city and heat power complexes. Proc. of Int. Sci. and Prac. Conf.]. Volgograd, 1999. Pp. 225—227.
7. Anisimov L. A., Khudyakov G. I., Soldatkin S. I. [Assessment of toxicological risk and formation of urban planning policy]. *Otsenka i upravlenie prirodnyimi riskami: Materialy Obshcherossiiskoi konferentsii «Risk-2000»* [Assessment and management of natural risks. Proc. of All-Russian Conf. "Risk-2000"]. Moscow, Ankil, Publ. 2000. Pp. 336—340.
8. [Local monitoring of the Volgograd water storage reservoir on the territory of Saratov Oblast]. *Geologicheskie, geofizicheskie, geokhimicheskie issledovaniya yugo-vostoka Russkoi plity: materialy mezhdovedomstvennoi konferentsii* [Geological, geophysical, geochemical surveys of the south-east of the Russian plate. Proc. of multi-agency conf.]. Saratov, Publishing house of Saratov University, 2001. Pp. 96—97.
9. Anisimov L., Aleshin A. Hydrologic basins in the Volgograd urban area: waste storage, catchment and water contamination. *Research Basins and Hydrological Planning*. Taylor & Francis Group, London, 2004. Pp. 99—105.
10. [Problems of waste disposal and recycling in Volgograd]. *Aktual'nye voprosy monitoringa ekosistem antropogennno-narushennykh territorii: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Topical issues of monitoring of the ecosystems of anthropogenic disrupted territories. Proc. of All-Russian Sci. and Prac. Conf.]. Ul'yanovsk, 2000. Pp. 88—89.
11. Sokolov I. I., Pavlov G. V., Goryunova E. I., Sokolov A. I., Sidorenko V. F. [Main methods of planning organization of recreational territories of Lower Volga area]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2013, no. 1(25), paper 7. Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
12. Kovaleva G. N. [Condition of recreational spaces in Volgograd at the present stage and their influence on socio-cultural life of the city]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2010, no. 3(13), paper 11. Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
13. [Use of ravine network on the territory of Volgograd for recreative purposes]. *Kafedre geomorfologii i geoekologii Saratovskogo universiteta 70 let* [Geomorphology and Geoecology Department of the Saratov university is 70 years old]. Saratov, Publishing house of Saratov University, 2003. Pp. 99—104.
14. Kudryavtseva T. N., Moroz V. V. [Water system redesign by example of Volgograd Region objects]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2011, no. 3(17), paper 10. Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
15. Kremer L., Vinter G. *Ekologicheskoe pravo Evropeiskogo soyuza* [Ecological right of the European Union]. Moscow, Gorodets Publ., 2007. 144 p.

*For citation:*

Shagieva E. V., Baranskaya E. A., Chesnokova O. G. [Environmental problems in Volgograd]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 110—118. (In Russ.).

*About authors:*

**Shagieva Elizaveta Vladimirovna** — student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [liza-2609@mail.ru](mailto:liza-2609@mail.ru)

**Baranskaya Elena Arkad'evna** — Lecturer of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Chesnokova Oksana Gennad'evna** — Docent of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [oxxana72@yandex.ru](mailto:oxxana72@yandex.ru)

УДК 625.7/8.62-50

**В. С. Боровик, В. В. Боровик**

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ АВТОДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ**

Пространственное моделирование процессов автодорожного комплекса осуществляется на основе мультипликативной функции. В функцию вводятся дифференциалы  $dx_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  относительно соответствующих факторов  $x_i$ , что позволяет осуществлять активное управление на модели. На примере управления системой с помощью квазипреобразования Лоренца и пространства Минковского сделана попытка моделирования управления в пространстве 4D, объединяющем физическое трехмерное пространство и время.

**Ключевые слова:** управление, четырехмерное пространство, мультипликативная функция, квазипреобразование Лоренца, пространство Минковского.

**Введение.** Наглядное представление управления процессами автодорожного комплекса играет важную роль не только как обладающее большой познавательной и доказательной силой, но и как инструмент, способствующий лучшему пониманию этих процессов [1]. Инновационный тип развития создает предпосылки для коренного изменения структуры и содержания моделей, учитывающих взаимосвязь производственных процессов и темпов их выполнения [2, 3]. В современных условиях время выступает как ресурс, в значительной мере определяющий цели систем автодорожного комплекса [4—6].

Дж. Уитроу, отстаивая мнение о реальности и объективности времени, отмечает, что «центральным пунктом дискуссии является статус “становления” или совершающегося, а также прошлого, настоящего и будущего; другими словами, тех черт времени, для которых не имеется пространственных аналогий» [7]. В этой связи пространственное моделирование управления с включением параметра времени в качестве четвертого измерения является весьма актуальной задачей.

**Постановка проблемы.** Задачи повышения пропускной способности автомобильных дорог, безопасности движения, транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог, качества дорожно-строительных работ, совершенствования водно-теплого режима земляного полотна, повышения финансовой устойчивости предприятия и др. решаются как многофакторные управляемые процессы, развивающиеся во времени. Такие требования неизбежно приводят к необходимости решения задач автодорожного комплекса в многомерном пространстве.

Пространство-время (п.-в.) — геометрическая конструкция, описывающая пространственные и временные отношения в физических теориях, в которых эти отношения рассматриваются как взаимозависящие. Разработка основных положений п.-в. связана с формулированием и систематизацией основных положений теории относительности. П.-в. в этой теории является четырехмерным псевдоевклидовым пространством с линейным элементом

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2, \quad (1)$$

где  $x, y, z$  — пространственные координаты, а  $t$  — временная координата,  $c$  — скорость света.

Эта система координат называется в физике галилеевой и соответствует инерциальной системе отсчета (и.с.о.)<sup>1</sup>. (В специальной теории относительности и.с.о. обычно задаются галилеевой системой координат, в классической механике — декартовой системой координат). В исследованиях Галилея заслуживает внимания способность преобразования Галилея сохранять пространственные размеры тел и длительности физических процессов<sup>2</sup>. Переход между различными галилеевскими системами координат при соответствующих и.с.о., движущихся друг относительно друга, осуществляется с помощью преобразования Лоренца [8]. Это преобразование дает возможность осуществлять пространственное отражение множества точек во времени, которое с позиций физики является преобразованием перехода от одной инерциальной системы отсчета к другой, движущейся относительно первой со скоростью  $V$ .

Инерциальные системы отсчета — физические модели, в которых мы можем указать хотя бы одну «неподвижную точку» (или «неподвижное тело»). При решении задач автодорожного комплекса в качестве неподвижной точки, например при управлении транспортно-эксплуатационным состоянием, можно задаться максимальным значением обобщенного показателя качества и состояния дороги. В рассматриваемой системе временная координата оказывается выраженной как через временную, так и через пространственные координаты.

Учитывая, что преобразование Лоренца является аналогом ортогональных преобразований (или обобщением понятия движения) в евклидовом пространстве, можно связать в пространстве Минковского [9] две галилеевы системы координат (рис. 1) [10].

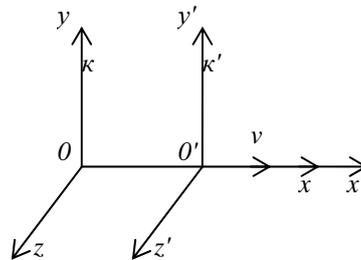


Рис. 1. Геометрическая интерпретация преобразования Лоренца

Принимая во внимание также, что система координат Галилея отличается от декартовой системы координат только приложениями системы отсчета<sup>3</sup>, можно принять с достаточной степенью обоснованности приведенный способ визуализации четырехмерного пространства в качестве первого приближения.

<sup>1</sup> Математическая энциклопедия. Т. 4. М.: Советская энциклопедия, 1984. С. 719.

<sup>2</sup> Там же, с. 148.

<sup>3</sup> Математическая энциклопедия. Т. 1. М.: Советская энциклопедия, 1984. С. 843.

Полезно отметить, что «теорию относительности часто критиковали за то, что она неоправданно приписывает *центральную теоретическую роль явлению распространения света*, основывая понятие времени на его законах. Положение дел, однако, примерно таково. Чтобы придать понятию времени физический смысл, нужны какие-то процессы, которые дали бы возможность установить связь между различными точками пространства. *Вопрос о том, какого рода процессы выбираются при таком определении времени, несущественен*. Для теории выгодно, конечно, выбирать только те процессы, относительно которых мы знаем что-то определенное. Распространение света в пустоте благодаря исследованиям Максвелла и Лоренца подходит для этой цели в гораздо большей степени, чем любой другой процесс, который мог бы стать объектом рассмотрения»<sup>4</sup> (выделено авторами статьи).

Отсюда можно сделать очень важный вывод. В системе (1)  $c$  — скорость света в вакууме — константа. Для решения прикладной задачи ее можно заменить на константу, которая в наибольшей мере удовлетворяет требованиям анализируемого процессам [15]. Например, можно принять максимально возможную (или расчетную) скорость движения, дорожно-климатические условия с установленными характеристиками и др.

Следовательно, процессы, развивающиеся в системе автодорожного комплекса, рассматриваемые во времени, могут стать объектом прикладного анализа с помощью теории п.-в. В модели в качестве факторов могут выступать технические, технико-экономические, географические элементы, а также технические, экономические и географические и др. факторы, развивающиеся во времени [10].

Имеющийся опыт визуализации касается в основном математических зависимостей, сложных функций и функций с тремя переменными в 4D-пространстве с помощью интерактивной среды, например [12]. Однако этот опыт носит несколько абстрактный характер без привязки к каким-либо техническим, производственным или экономическим процессам.

Целью исследования является визуализация моделирования управления процессами автодорожного комплекса, позволяющая наглядно представить результаты анализа и решения задач в четырехмерном пространстве, способствующая лучшему пониманию процессов, а также оценке и поиску оптимального управления.

**Модель управления процессом в трехмерном пространстве.** Одна из главных задач — предложить теоретическую платформу, позволяющую выполнять анализ пространственного распределения, обоснование вероятных ситуаций и прогнозирование результатов процессов в системе автодорожного комплекса. В качестве наиболее универсальной формы анализа функционирования предлагается использовать мультипликативную функцию, например, вида

$$Y = C_0 \prod_{i=1}^n x_i^{\alpha_i}, \quad (2)$$

где  $Y$  — расчетный индекс (например, интенсивность движения, обобщенный показатель качества и состояния дороги (ОПКСД) и др.);  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  — факто-

<sup>4</sup> Эйнштейн. Сущность теории относительности. Электронный ресурс. URL: <http://murzim.ru/jenciklopedii/100-velikih-knig/4190-eynshteyn-suschnost-teorii-otnositelnosti.html>

ры, влияющие на  $Y$ ;  $\alpha_i, i = \overline{1, n}$  — «веса», характеризующие вклад  $x_i$  в  $Y$ ;  $C_0$  — коэффициент, характеризующий совокупное влияние факторов, не учтенных моделью.

Рассмотрим трехмерную графическую модель (рис. 2) функции вида (2). Функция наиболее доступна для понимания ввиду возможности ее наглядного представления в трехмерном пространстве [4, 13]. Кривые  $1Y$  и  $2Y$  соединяют точки с одинаковыми численными значениями ОПКСД. Их проекции  $1Y_1, 2Y_1, 1Y_2, 2Y_2, 1Y_3, 2Y_3$  — изокванты.

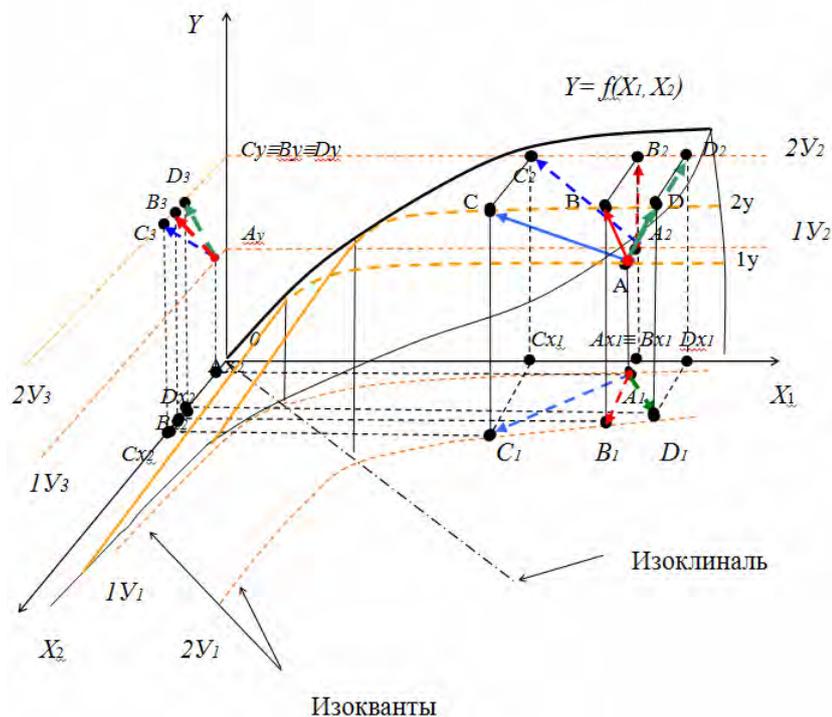


Рис. 2. Пространственная модель 3D на основе функции, отображающей поверхность с управлением, характеризуемым различными сочетаниями  $X_1$  и  $X_2$  при перемещении с уровня  $1Y$  на  $2Y$

Как видно на рис. 2, из точки  $A$ , характеризуемой, например, ОПКСД уровнем  $1Y$ , более высокий уровень  $2Y$  может быть достигнут на конкретной дороге путем реализации соответствующих мероприятий бесконечным множеством сочетаний мероприятий [14]. Например, точки  $B, C$  и  $D$ , показывающие некоторые варианты выхода на достижение, характеризуемого как  $2Y$ . В зависимости от возможностей системы, наличия средств, дорожно-климатических условий, качества управления, качества ресурсов, цели, задач и др. выбирается тот или иной вариант выхода на  $2Y$ .

Рассмотрим три варианта выхода с  $1Y$  на более высокий уровень  $2Y$ , обеспечиваемый реализацией соответствующих мероприятий. Рассмотрим векторы  $\overline{AB}, \overline{AC}$  и  $\overline{AD}$ . Каждому из них соответствует свое сочетание мероприятий:  $Bx_1, Bx_2, Cx_1, Cx_2, Dx_1, Dx_2$ . Будем считать оптимальным с ма-

тематических позиций вариант  $\overline{AB}$ , т. к.  $\overline{AB} \perp 2Y$  (к касательной в точке  $B$ ) и является кратчайшим расстоянием между  $1Y$  и  $2Y$ .

Известно, что каждая система (дорога, ее конструктивный элемент, проектное решение, предприятие и др.) характеризуется индивидуальной, присущей только конкретной системе реализацией мероприятий [4]. Поэтому управление, в котором в качестве критерия оптимальности принято кратчайшее расстояние между изоквантами, может рассматриваться для реальной системы только как идеальный вариант.

В качестве примера рассмотрим функции двух дорог:

$$Y_1 = 2,231x_1^{1,123}x_2^{0,934}x_3^{0,567};$$

$$Y_2 = 1,037x_1^{0,672}x_2^{0,785}x_3^{0,467},$$

где  $Y$  — ОПКСД,  $x_1$  — КПд (комплексный показатель транспортно-эксплуатационного состояния дороги);  $x_2$  — Коб (показатель инженерного оборудования и обустройства);  $x_3$  — Кэ (показатель уровня эксплуатационного содержания).

Допустим, что у этих дорог абсолютно одинаковые  $x_1, x_2, x_3$ . Однако показатели степени у первой дороги больше, чем у второй. Это свидетельствует о том, что у первой дороги вклад КПд, Коб и Кэ в ОПКСД выше, чем у второй. Кроме этого, влияние факторов  $C_0$ , не учтенных моделью, у первой в два с лишним раза больше, чем у второй. В конечном итоге получим  $Y_1 \succ Y_2$ . Подчеркнем: при совершенно одинаковых  $x_1, x_2, x_3$ .

В этой связи реализацию мероприятий, связанных с повышением ОПКСД, нами предлагается рассматривать как алгебраическое введение в ее функцию некоторых дифференциалов  $dx_i, i=\overline{1,n}$  относительно соответствующих факторов  $x_i$ . Такая постановка обусловлена необходимостью осуществлять либо приращение, либо уменьшение  $x_i$ .

Например, реализация мероприятий на участках этих дорог будет способствовать увеличению КПд, Коб и Кэ, что равносильно введению в функцию (2)  $dx_1, dx_2, dx_3$ . Априори можно констатировать, что при всех прочих равных условиях введение в функцию первой дороги дифференциалов  $dx_i, i=\overline{1,3}$  даст больший прирост  $\Delta Y$ , т. к. вклад КПд, Коб и Кэ в ОПКСД у первой дороги больше, чем у второй.

**Обоснование модели управления процессом с помощью квазипреобразования Лоренца и пространства Минковского.** По Минковскому, положение события задается четырьмя координатами — тремя пространственными и одной временной [2]. Обычно используются координаты  $x_1 = x, x_2 = y, x_3 = z$ , где  $x, y, z$  — прямоугольные декартовы координаты события в некоторой (ИСО) и  $x^0 = ct$ , где  $t$  — время события,  $c$  — скорость света в вакууме. Геометрические свойства четырехмерного пространства определяются выражением для квадрата расстояния между двумя событиями (интервала)  $s^2$ :

$$s^2 = (dx^\circ)^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2, \quad (3)$$

где  $dx^2, dy^2, dz^2$  — разности координат событий, а  $dt$  — разность их моментов времени. Пространство с таким  $s^2$  — псевдоевклидово.

Для решения задачи управления, например, транспортно-эксплуатационным состоянием дороги, в обобщенном четырехмерном пространстве выражение (3) может быть представлено как

$$s^2 = (dx^\circ)^2 - dx_1^2 - dx_2^2 - dy^2. \quad (4)$$

Тогда  $x^\circ = Qt$ , где  $Q$  — максимальное значение ОПКСД для данной категории дороги;  $q$  — ОПКСД, характеризующий дорогу, в которой планируется реализация целенаправленных мероприятий, связанных с повышением ОПКСД.

При переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой пространственные координаты и время преобразуются друг через друга посредством квазипреобразования Лоренца. Общая группа преобразования состоит из комбинаций пространственных отображений во времени и преобразований, которые с физической точки зрения являются преобразованиями перехода от одной инерциальной системы отсчета к другой [8]. Преобразование в плоскости с псевдоевклидовой метрикой является специфической чертой преобразования, что чрезвычайно важно для нашего исследования.

Преобразования в процессе управления осуществляются при коллинеарных пространственных осях, если инерциальная система отсчета  $\hat{E}'$  движется относительно инерциальной системы отсчета  $K$  с постоянной скоростью (см. рис. 1). В нашей задаче под скоростью мы понимаем ОПКСД, характерный для инерциальной системы отсчета, в которой планируется реализация мероприятий. Начала координат совпадают в начальный момент времени в обеих системах [9]. Тогда прямые квазипреобразования Лоренца для решения задачи управления в трехмерном пространстве и времени получают вид:

$$x_1' = \frac{x_1 qt}{\sqrt{1 - \frac{q^2}{Q^2}}}, \quad x_2' = x_2, \quad y' = y, \quad t' = \frac{t - \left(\frac{q}{Q^2}\right)x_1}{\sqrt{1 - \frac{q^2}{Q^2}}}. \quad (5)$$

Рассмотрим графическую модель (рис. 3) двухфакторной функции (2) в трехмерном пространстве. Допустим, вся совокупность возможных сочетаний КПд, Коб, формализованных поверхностью  $Y = f(x_1, x_2)$ , перемещается во времени, куда идут мировые линии материальных объектов, образуя какую-то гиперповерхность. Тогда оптимальное управление, характеризуемое вектором  $\overline{AB}$ , условно перемещаясь, образует плоскость  $ABA'B'$ , которая характеризует процесс управления во времени (рис. 3).

Для практических целей допускаем относительную стабильность параметров функции  $Y = f(x_1, x_2)$  во времени [15]. Задача состоит в том, чтобы показать, как реализуется управление при постоянно изменяющихся условиях выполнения работ, развивающихся во времени.

**Практическая реализация модели визуализации управления в трехмерном пространстве и времени.** Рассмотрим два частных варианта модели управления. Первый — идеальный. Рассмотрим перемещение вектора управления  $\overline{AB}$  во времени в пределах заданных параметров. Преобразование при коллинеарных пространственных осях осуществляется при перемещении с определенной скоростью  $q$ , а начала координат совпадают в начальный момент времени в обеих системах. В результате перемещения без пространственных поворотов в заданной системе объекта  $Y = f(x_1, x_2)$  образуются гиперповерхность и плоскость  $ABA'B'$ . Тогда длина отрезка  $\overline{A'B'}$ , характеризующая проекцию вектора оптимального управления во времени, будет равна длине вектора, характеризующего оптимальное управление  $\overline{AB}$  в соответствии с принятым критерием оптимальности.

Второй вариант. Внесем незначительное изменение в идеальную модель. Известно, что в силу влияния различных внешних и внутренних причин в реальных условиях производства и эксплуатации дороги в управляемой и управляющей системах допускаются отклонения в параметрах управления. Тогда, например, вектор  $\overline{CD}$  под влиянием этих причин получит отклонение и, перемещаясь в пространстве производственных отношений и во времени, преобразуется в вектор  $\overline{C'D'}$ . Параметры вектора управления  $\overline{CD}$ , построенного по указанному выше критерию оптимальности, получают искажение, и его вид может быть представлен, например, как  $\overline{C'D'}$ . Положение  $\overline{C'D'}$  не перпендикулярно  $2Y'$ , и, следовательно,  $\overline{CD} \neq \overline{C'D'}$  и положение  $\overline{C'D'}$  не соответствует принятому критерию оптимальности.

Допустим, в реальных условиях управление в пространстве начинается от точки  $A$  на  $1Y$  (от достигнутого ОПКСД) в направлении точки  $B$  на  $2Y$  (планируемого результата). Фактическое развитие процесса завершается с течением времени от  $A_1$  к  $B_1$ . В зависимости от процессов, связанных с управлением, развивающихся во времени, точка  $B$  вектора  $\overline{AB}$  описывает достаточно сложную траекторию (рис. 4). В силу совокупности факторов, влияющих на выполнение работ, не учтенных проектом, изменяющихся условий, запаздывания в реакции управляющей системы на изменения в процессе производства, в том числе и перерегулирование [16], и других причин траекторию перемещения вектора управления во времени в общем виде можно представить, например, рядом последовательных кривых (рис. 4).

Например, вектор  $\overline{AB}$  под влиянием реальных условий и реакции управляющей системы для компенсации отклонений от заданных параметров совершает колебания во времени относительно заданного направления. Несмотря на эти процессы, управляемой системе удалось выйти на уровень  $2Y$  в точке  $B'$ , и  $\overline{A'B'} = \overline{AB}$ .

Рассуждая аналогично, по отношению  $\overline{CD}$  (рис. 5) показано, что управляющая система не обеспечила решение задачи управления, связанной с выходом на  $2Y$  по кратчайшему расстоянию в соответствии с принятым нами критерием оптимальности (см. рис. 3)  $\overline{CD} \neq \overline{C'D'}$ , что характеризует качество управления.

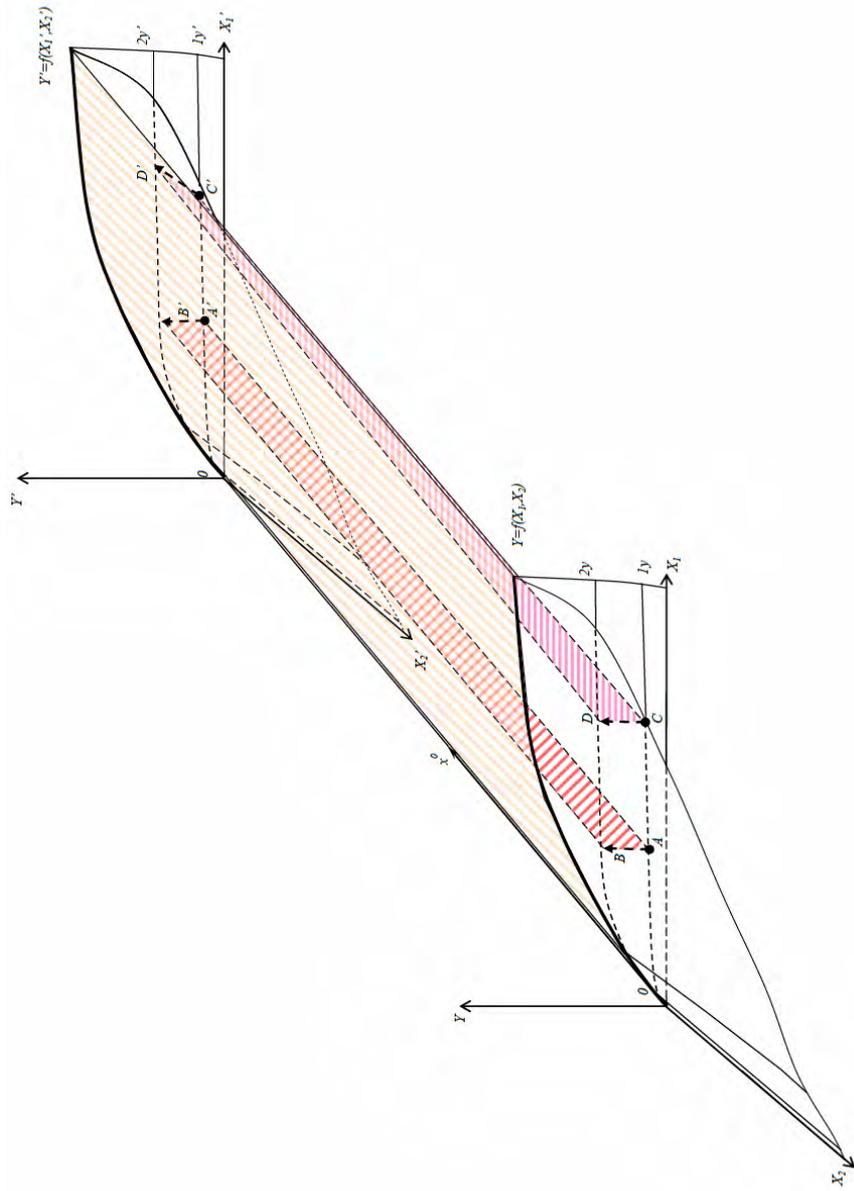


Рис. 3. Пространственная модель в п.-в., иллюстрирующая временные сечения пространства Минковского для векторов управления  $\overline{AB}$  и  $\overline{CD}$  (преобразования  $\overline{AB}$  в  $\overline{A'B'}$  и  $\overline{CD}$  в  $\overline{C'D'}$ )

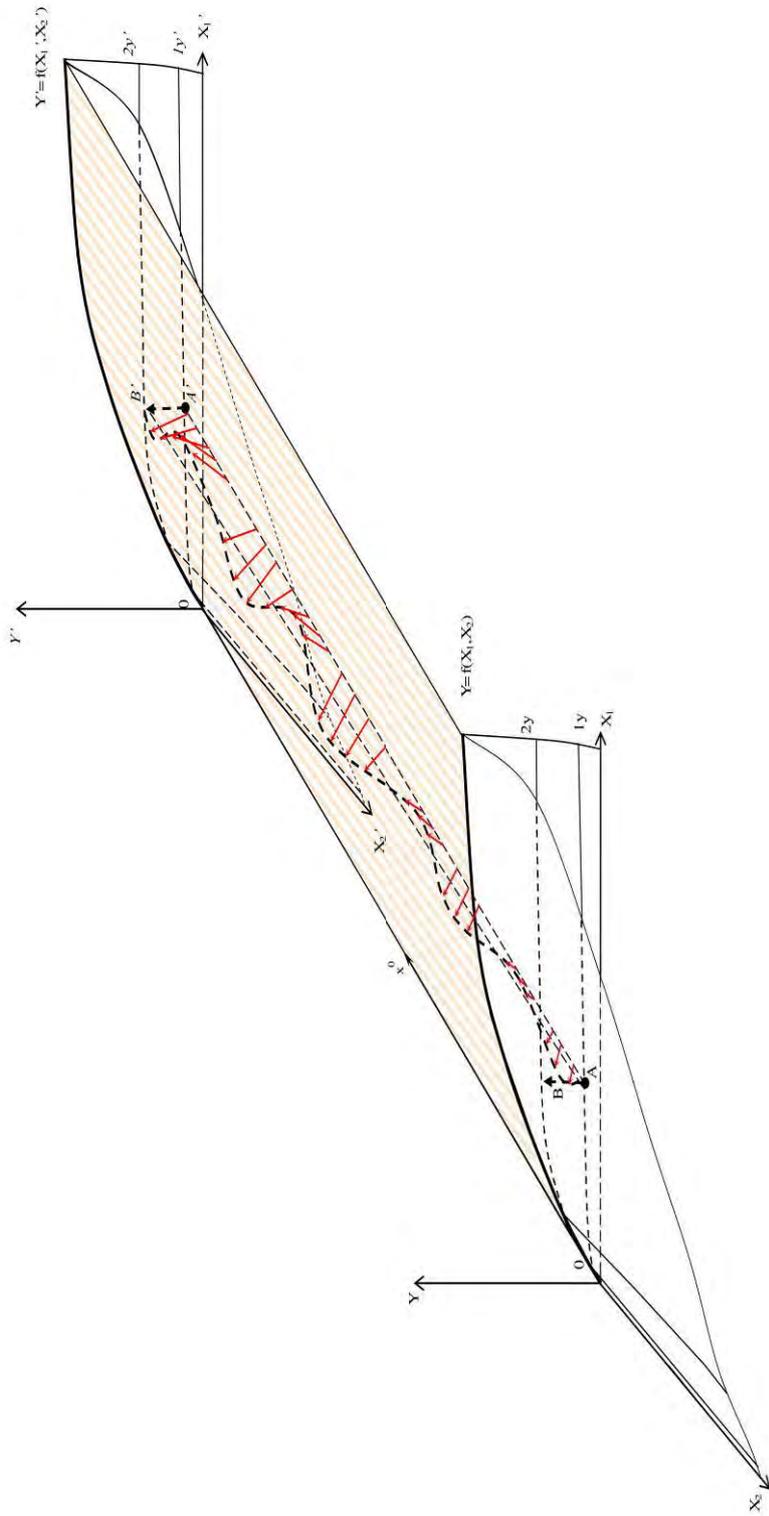


Рис. 4. Пространственная модель, иллюстрирующая временные сечения пространства Минковского для векторов управления  $\overline{AB}$  (преобразование  $\overline{AB}$  в  $\overline{A'B'}$  и ) с учетом реакции векторов управления на влияние внешних и внутренних факторов в ИЭС

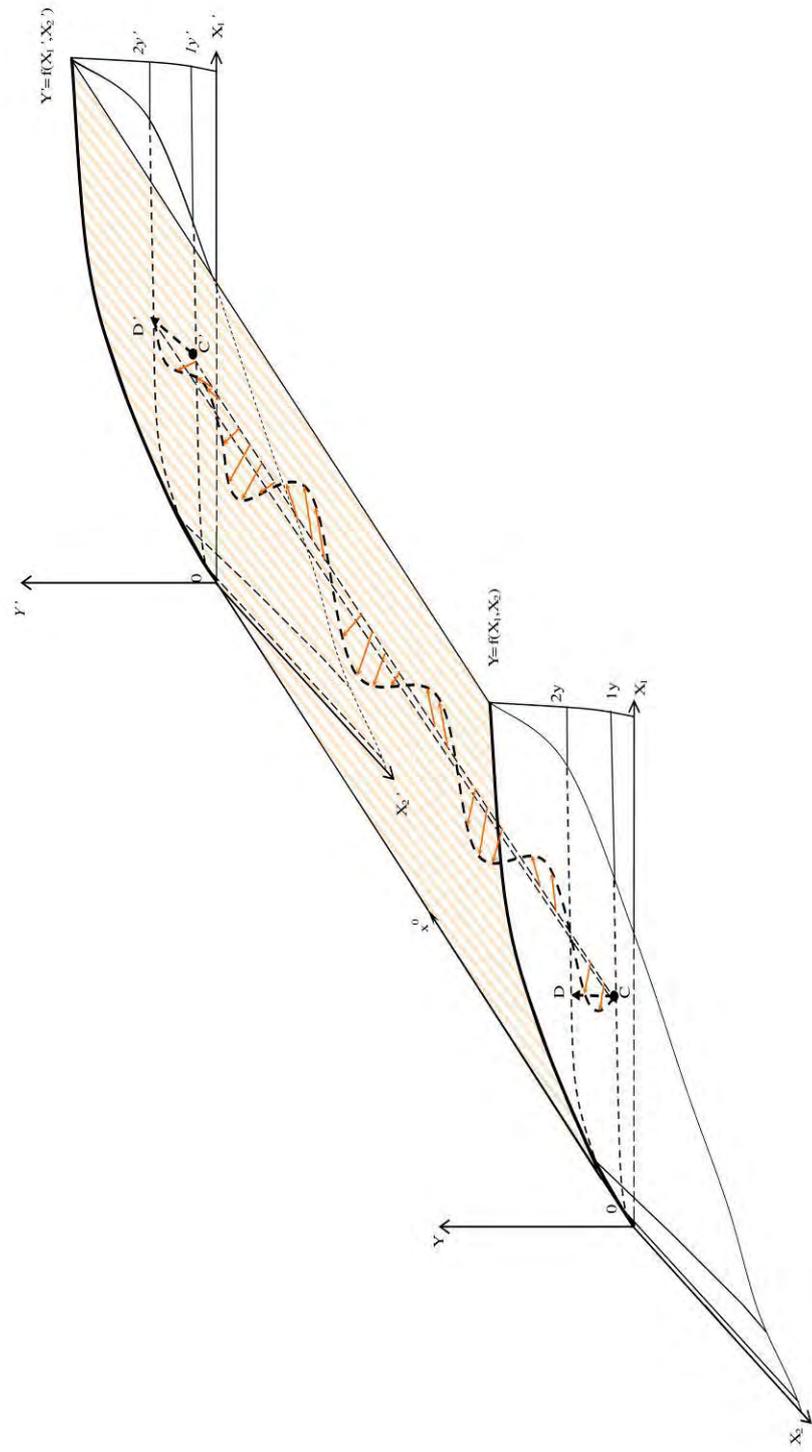


Рис. 5. Пространственная модель, иллюстрирующая временные сечения пространства Минковского для векторов управления  $\overline{CD}$  (преобразованием  $\overline{CD}$  в  $\overline{C'D'}$ ) с учетом реакции векторов управления на влияние внешних и внутренних факторов в ИЭС

Следует отметить, что весьма сложная поверхность, образованная перемещением вектора  $\overline{AB}$  или  $\overline{CD}$  во времени (см. рис. 4 и 5), также является количественной характеристикой процесса. В частности, как мы условились в (5), в нашей задаче под скоростью понимается  $q$ , характерное для ИЭС. Тогда площадь поверхности, образованная при перемещении вектора во времени  $t$ , характеризует, в конечном счете, затраты на реализацию проекта. Чем меньше площадь поверхности, тем ближе сумма затрат на достижение заданного ОПКСД к оптимальной.

Моделирование управления процессов в пространстве 4D открывает возможности для более полного анализа, исследования пространственных структур объектов в системе автодорожного комплекса, отражает важнейшие сведения о свойствах реальных процессов.

**Заключение.** Методология развития пространственного анализа создает предпосылки для разработки моделей управления системами автодорожного комплекса, которые способны обеспечить приращение качества анализа. Основой пространственного моделирования управления процессом выбрана мультипликативная функция. Алгебраическое введение дифференциалов параметров факторов в функцию системы позволяет визуализировать процесс и прогнозировать эффективные варианты его реализации. Квазипреобразование Лоренца и обобщенное пространство Минковского позволяют визуализировать управление процессом в четырехмерном пространстве, объединяющем физическое трехмерное пространство и время. Наглядное представление управления в пространстве 4D играет важную роль не только как обладающее большой познавательной и доказательной силой, но и как инструмент, способствующий лучшему пониманию процессов в оценке и поиске оптимального управления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Cohn-Vossen S., Hilbert D.* Anschauliche Geometri. Berlin: Verlag von J. Springer, 1932. 325 p.
2. *Crevoisier O.* The Innovative Milieus Approach: Toward a Territorialized Understanding of the Economy? // *Economic Geography*. 2004. Vol. 80. Issue 4. P. 367—379. DOI: 10.1111/j.1944-8287.2004.tb00243.x
3. *Maillat D., Crevoisier O., Vasserot J.-Y.* Innovation et district industriel: l'Arc jurassien-suisse // *Maillat D., Perrin J.-C.* (eds.) *Entreprises innovatrices et developpement territorial*. Neuchatel: GREMI/EDES, 1992. P. 105—125.
4. *Боровик В. С., Боровик В. В., Прокопенко Ю. Е.* Модель управления внедрением новой технологии на основе производственной функции // *Экономический анализ: теория и практика*. 2013. № 42(345). С. 25—30.
5. *Казарян В. П.* Понятие времени в структуре научного знания. М. : МГУ, 1980. 225 с.
6. *Хакимов А. М., Ярмолинский В. А.* Повышение эффективности использования производственных ресурсов в условиях неопределенности финансирования дорожных объектов // *Вести Тихоокеанского государственного университета*. 2011. № 1(20). С. 107—114.
7. *Whitrow G. J.* *The Natural Philosophy*. Oxford University Press, 1981. 410 p.
8. *Moshe C.* *Group Theory and General Relativity, Representations of the Lorentz Group and Their Applications to the Gravitational Field*. McGraw-Hill, New York, 1977. 311 p.
9. *Minkowski H.* *Geometrie der Zahlen*. Leipzig — Berlin: R. G. Teubner, 1910. 320 p.
10. *Фацевский А. Б.* Графическое изображение четырехмерного пространства // *Perpetuum Mobile*. URL: <http://khd2.narod.ru/authors/fshvsky/spc4d.htm>
11. *Эйнштейн А.* *Собрание научных трудов*. Т. II. М., 1966. С. 120.
12. *Yukihito Sakai and Shuji Hashimoto.* Four-dimensional Mathematical Data Visualization via “Embodied Four-dimensional Space Display System”. URL: <http://www.scipress.org/journals/forma/pdf/2601/26010011.pdf>

13. Гасанов Г. М. Управление транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог. М. : МАДИ (ГТУ), 2004. 172 с.
14. Сильянов В. В., Домке Э. Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц. М. : Академия, 2008. 352 с.
15. Терехов Л. Л. Производственные функции. М. : Статистика, 1974. 127 с.
16. Михайлов В. С. Теория управления. Киев : Выща школа. Головное издательство, 1988. 312 с.

© Боровик В. С., Боровик В. В., 2015

Поступила в редакцию  
в декабре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Боровик В. С., Боровик В. В. Визуализация управления системами автодорожного комплекса в трехмерном пространстве и времени // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 119—131.

Об авторах:

**Боровик Виталий Сергеевич** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой экономики и управления дорожным хозяйством, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [borovikv@mail.ru](mailto:borovikv@mail.ru)

**Боровик Виталий Витальевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [borovikvv70@mail.ru](mailto:borovikvv70@mail.ru)

**V. S. Borovik, V. V. Borovik**

## IMAGING OF THE SYSTEMS OF ROAD COMPLEX MANAGEMENT IN THREE-DIMENSIONAL SPACE AND TIME

Spatial modeling of the processes of the highway facility is based on multiplicative functions. In the function you enter the differentials  $dx_i$ ,  $i = 1, n$ , with respect to the relevant factors  $x_i$ , which allows the active management on the model. By the example of the control system using Lorentz quasitransformation and Minkowsky space an attempt was made to simulate the control in the 4D space, combining the physical three-dimensional space and time.

**Key words:** management, four-dimensional space, multiplicative function, Lorentz quasitransformation, Minkowsky space.

### REFERENCES

1. Cohn-Vossen S., Hilbert D. *Anschauliche Geometri*. Berlin, Verlag von J. Springer, 1932. 325 p.
2. Crevoisier O. The Innovative Milieus Approach: Toward a Territorialized Understanding of the Economy? *Economic Geography*, 2004, 80(4), pp. 367—379. DOI: 10.1111/j.1944-8287.2004.tb00243.x
3. Maillat D., Crevoisier O., Vasserot J.-Y. Innovation et district industriel: l'Arc jurassien-suisse. Maillat D., Perrin J.-C. (eds.) *Entreprises innovatrices et developpement territorial*. Neuchatel, GREMI/EDES, 1992. Pp. 105—125.
4. Borovik V. S., Borovik V. V., Prokopenko Yu. E. [The model of management the introduction of new technology on the basis of the production function]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika* [Economic analysis: theory and practice], 2013, 42(345), pp. 25—30.
5. Kazaryan V. P. *Ponyatie vremeni v strukture nauchnogo znaniya* [Concept of time in the structure of scientific knowledge]. Moscow, MSU Publ., 1980. 225 p.
6. Khakimov A. M., Yarmolinskii V. A. [Increase in utilization efficiency of productive resources under uncertainty of financing the road projects]. *Vesti Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of PNU], 2011, no. 1(20), pp. 107—114.
7. Whitrow G. J. *The Natural Philosophy*. Oxford University Press, 1981. 410 p.

8. Moshe C. *Group Theory and General Relativity, Representations of the Lorentz Group and Their Applications to the Gravitational Field*. McGraw-Hill, New York, 1977. 311 p.
9. Minkowski H. *Geometrie der Zahlen*. Leipzig, Berlin, R. G. Teubner, 1910. 320 p.
10. Fashchevskii A. B. [Graphic representation of four-dimensional space]. *Perpetuum Mobile*. URL: <http://khd2.narod.ru/authors/fshvsky/spc4d.htm>
11. Einstein A. *Sobranie nauchnykh trudov. T. II*. [Collection of scientific works. V. II]. Moscow, 1966. P. 120.
12. Yukihito Sakai and Shuji Hashimoto. *Four-dimensional Mathematical Data Visualization via "Embodied Four-dimensional Space Display System"*. Available at: <http://www.scipress.org/journals/forma/pdf/2601/26010011.pdf>
13. Gasanov G. M. *Upravlenie transportno-ekspluatatsionnym sostoyaniem avtomobil'nykh dorog* [Management of transport and operational state of highways]. Moscow, MADI (GTU), 2004. 172 p.
14. Sil'yanov V. V., Domke E. R. *Transportno-ekspluatatsionnye kachestva avtomobil'nykh dorog i gorodskikh ulits* [Transport and operational qualities of highways and city streets]. Moscow, Academy Publ., 2008. 352 p.
15. Terekhov L. L. *Proizvodstvennye funktsii* [Production functions]. Moscow, Statistika Publ., 1974. 127 p.
16. Mikhailov V. S. *Teoriya upravleniya* [Management theory]. Kiev, Vysha shkola Publ., 1988. 312 p.

*For citation:*

Borovik V. S., Borovik V. V. [Imaging of the systems of road complex management in three-dimensional space and time]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 119—131. (In Russ.).

*About authors:*

**Borovik Vitalii Sergeevich** — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Economy and Administration of Public Roads Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [borovikv@mail.ru](mailto:borovikv@mail.ru)

**Borovik Vitalii Vital'evich** — Candidate of Engineering Science, Docent of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [borovikvv70@mail.ru](mailto:borovikvv70@mail.ru)

УДК 656.05:656.13

**С. В. Витолин**

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

### **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА СВЕТОФОРНЫХ ОБЪЕКТАХ И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

Приводится обзор и оценка эффективности некоторых современных методов светофорного регулирования транспортных потоков на основе российского и зарубежного опыта.

Ключевые слова: светофорный объект, адаптивное регулирование, транспортно-зависимое регулирование, моделирование.

Причиной 5...10 % всех заторов движения<sup>1</sup> (250 млн часов простоя транспорта) на основных автомагистралях США является неэффективность светофорного регулирования (по данным на 31.08.2009 г.). На автомагистралях с регулируемым движением в России по крайней мере не меньшее число заторов возникает по той же причине.

Если для г. Волгограда на сегодняшний день характерны жесткие режимы регулирования на светофорных объектах (СО) и наличие координированных режимов работы на отдельных участках УДС<sup>2</sup>, то в Германии сегодня широко распространено адаптивное регулирование, обеспечение приоритета общественному транспорту на СО, сетевое регулирование. По результатам исследования в городах Германии [1] распределение применяемых методов светофорного регулирования представлено на рис. 1.

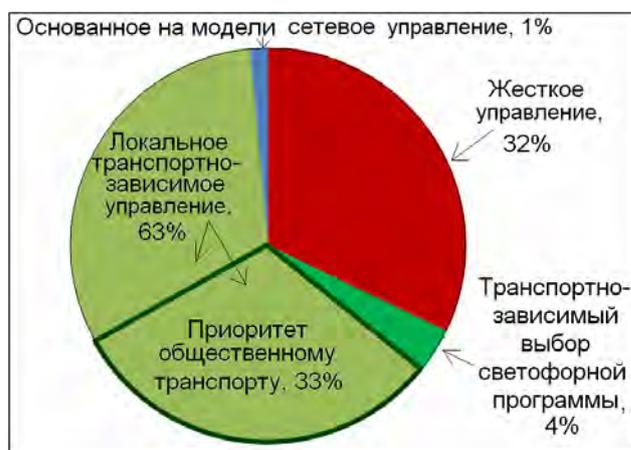


Рис. 1. Применяемые в настоящее время в Германии методы управления на светофорных объектах [1]

<sup>1</sup> База данных современных инновационных разработок в сфере дорожного хозяйства. URL: [www.rosavtodor.ru](http://www.rosavtodor.ru)

<sup>2</sup> Комплексная схема организации дорожного движения в г. Волгограде, 2-й этап, проектные решения. Волгоград, 2008.

На основании рис. 1 можно сделать вывод, что только третья часть СО в Германии имеет жесткое управление, на 2/3 общего числа СО осуществляется адаптивное регулирование.

Даже простое введение жесткого координированного регулирования на основных магистралях Волгограда в межпиковые периоды способно привести к существенному сокращению потерь народного хозяйства и к сдвигу наступления «пиковых» периодов. Так, сравнение потребления топлива транспортными средствами в зависимости от средней скорости сообщения на УДС в Дрездене и в Волгограде представлено на рис. 2. Для Волгограда было получено несколько точек зависимости потребления топлива от средней скорости для диапазона скоростей от 20 до 60 км/ч. Наиболее резкий подъем потребления топлива по результатам исследования в Германии [2] происходит при средней скорости сообщения от 3 до 12 км/ч (рис. 2).

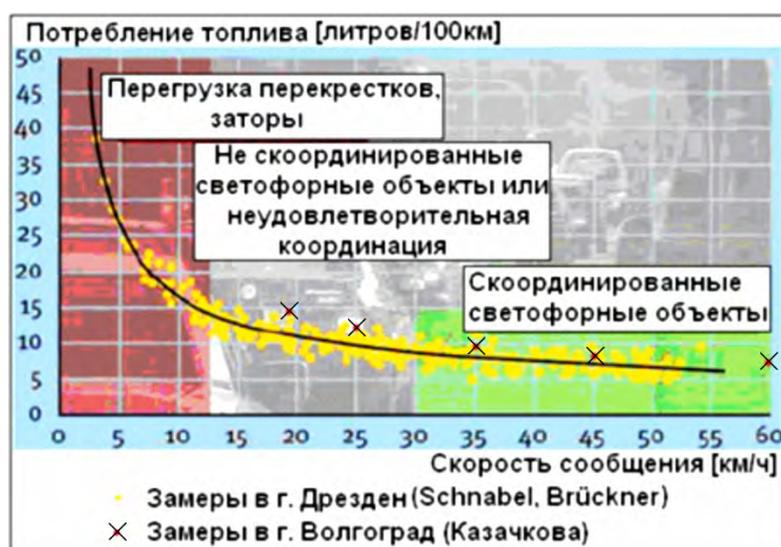


Рис. 2. Потребление топлива транспортными средствами в зависимости от средней скорости сообщения на УДС города [3]

В Волгограде (2008 г.) средняя скорость сообщения в часы пик на УДС составляет 15...20 км/ч, а на отдельных участках доходит до 7...10 км/ч, т. е. попадает в диапазон скоростей с резким ростом потребления топлива транспортными средствами<sup>3</sup>. Повышение средней скорости сообщения на УДС города, особенно на участках со средними скоростями менее 10 км/ч, способно привести к существенной экономии народно-хозяйственных средств.

В Германии одной из основных функций светофорного регулирования считается обеспечение приоритета общественного транспорта [4, 5]. Перед перекрестком возможно обеспечение приоритета общественного транспорта со сменой направления движения за счет задержки основного потока, как показано на рис. 3.

<sup>3</sup> Комплексная схема организации дорожного движения в г. Волгограде, 2-й этап, проектные решения. Волгоград, 2008.

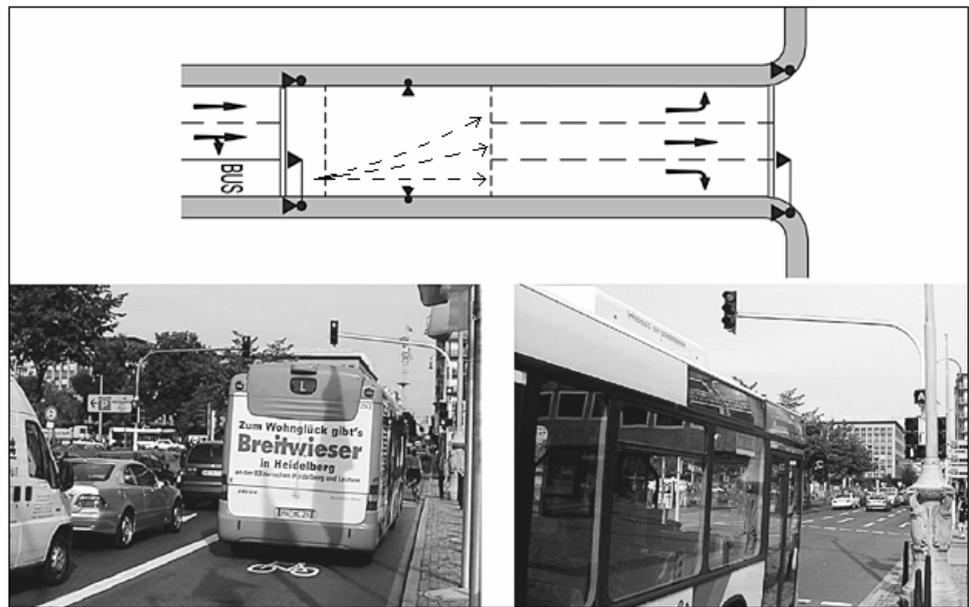


Рис. 3. Принцип и пример приоритетного пропуска автобусов в Германии перед регулируемым перекрестком [6]

Для безопасной посадки/высадки пешеходов при остановках трамваев на середине проезжей части возможно устройство временных островков с помощью светофорного регулирования (рис. 4).



Рис. 4. Обеспечение безопасного перехода проезжей части при посадке/высадке пассажиров на трамвайной остановке, расположенной на середине проезжей части [6]

С помощью светофорного регулирования возможно «дозирование» количества въезжающих автомобилей при въезде на скоростную магистраль (рис. 5 и 6).



Рис. 5. Обустройство регулируемого примыкания для «дозирования» интенсивности въезда на магистраль [6]



Рис. 6. Регулируемое примыкание для «дозирования» количества въезжающих автомобилей на автомагистраль в Германии [6]

Продолжительные задержки транспортных средств на улично-дорожной сети (УДС) крупных городов являются следствием несоответствия геометрических параметров УДС все более возрастающим интенсивностям дорожного движения. Понятно, что увеличение количества дорог и улиц и реконструкция пересечений дорог и улиц в одном уровне в развязки в разных уровнях приводит к перераспределению транспортных потоков по УДС и сокращению участков УДС с недостаточной пропускной способностью, но строительство новых дорог и их элементов — мероприятие очень затратное. В первую очередь необходимо определить и использовать имеющиеся резервы пропускной способности УДС, а затем уже принимать решение о конструктивных изменениях участков УДС. Участки УДС с отсутствующими продолжительными заторами не требуют мероприятий по повышению пропускной способности, поэтому необходимо определить «узкие места» УДС и оценить резервы их пропускной способности. В условиях сформированной плотной городской застройки именно регулируемые перекрестки способны пропускать наибольшее количество транспортных средств. Сопоставление зависимости необходимой площади от интенсивности движения для различных типов пересечений автомобильных дорог в одном уровне представлено на рис. 7.

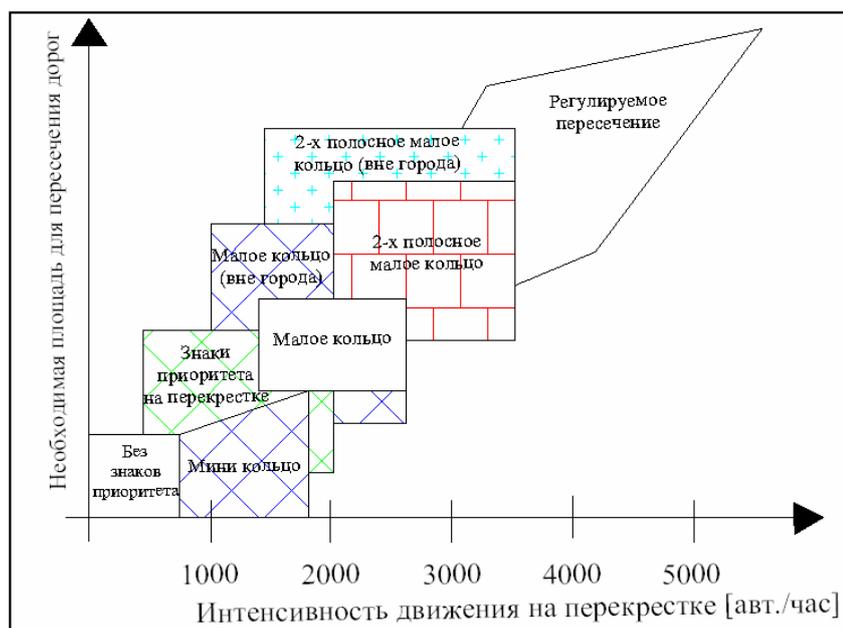


Рис. 7. Области применения пересечений в одном уровне [7]

В Германии провели исследование сравнения эффективности жесткого и адаптивного (транспортно зависимого) регулирования (рис. 8). Оценка качества дорожного движения осуществлялась с помощью показателя PI (Performance Index), который определяется как интегральный показатель средних задержек и количества остановок перед СО.

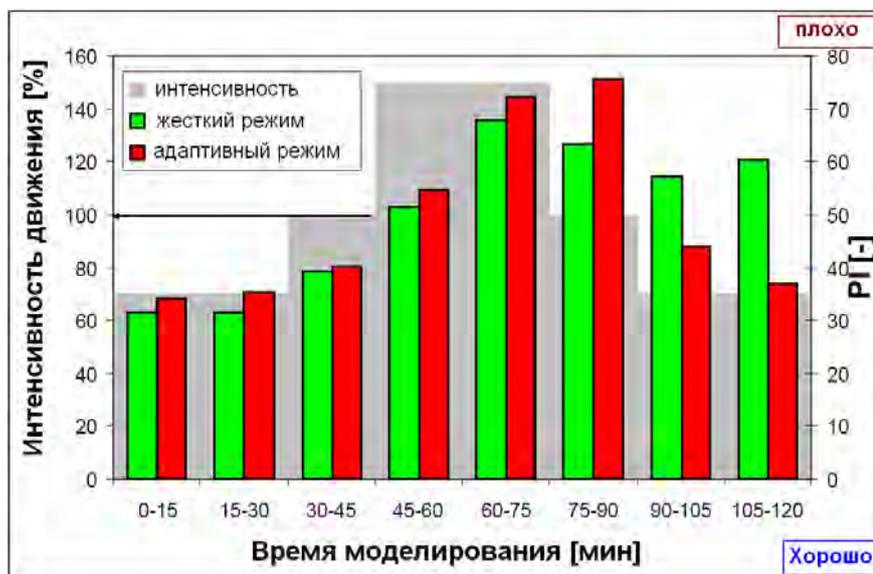


Рис. 8. Сравнение эффективности применения жесткого и адаптивного регулирования при моделировании в VISSIM [8]

Робертсон еще в 1969 г. [9] предложил оценку управляющих параметров на регулируемом перекрестке проводить с помощью интегрального критерия, складывающегося из числа остановок на перекрестке и средних задержек, с использованием весовых коэффициентов (например, одна остановка по затрачиваемой энергии может соответствовать 60 с задержки автомобиля).

Проведенные в Германии исследования [8] показали, что преимущества транспортно зависимого регулирования над жестким регулированием ограничены, и необходима проверка обоснованности введения транспортно зависимого регулирования. В ряде случаев правильно запроектированное жесткое регулирование более эффективно, чем транспортно зависимое. Критерии применения транспортно зависимого управления приведены в табл.

*Критерии применения транспортно зависимого регулирования в сравнении с жестким регулированием [8]*

Случаи применения		Жесткое управление	Транспортно зависимое управление
Постоянная интенсивность движения	незначительная	++	-
	высокая загрузка	+	++
	перегрузка	+	-
Поперечное движение транспорта	незначительное	-	++
	интенсивное	+	-
Степень неравномерности интенсивности движения во времени	незначительная	++	-
	значительная	-	++
Изменение направлений движения	незначительное	++	-
	значительное	+	++
Приоритет общественному транспорту		--	++
Оптимизация главного направления		++	+
Неблагоприятные для координации расстояния между перекрестками		-	+

Опыт применения адаптивного регулирования за рубежом говорит о том, что это эффективная методика использования резервов пропускной способности УДС за счет перераспределения транспортных потоков на СО. При этом адаптивные системы управления требуют тщательного проектирования и оценки возможного применения на отдельных участках УДС.

В исследовании [10], выполненном в России при помощи микро моделирования, говорится о том, что внедрение адаптивного светофорного регулирования наиболее целесообразно на перекрестках, на которых значительно изменяются интенсивности движения в поперечных направлениях в течение суток.

Зарубежные исследования [8, 11, 12, 13], основанные как на натуральных наблюдениях, так и на моделировании, расширяют область применения адаптивного регулирования на СО. Так, транспортно зависимое регулирование имеет преимущества над жестким регулированием при малой степени загрузки поперечных направлений движения, при обеспечении приоритета общественному транспорту и неравномерностях распределения транспортных потоков по направлениям и во времени.

Очевидно, что с ростом уровня автомобилизации в России количество СО в городах и уровень их загрузки будет также увеличиваться, что приведет к потребности усложнения методов управления на СО, поэтому необходимо развивать теорию и практику как локальных, так и системных методов регулирования транспортных потоков на СО. Опыт применения адаптивных методов светофорного регулирования Германии должен быть апробирован для российских условий дорожного движения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Friedrich M.* Das Projekt Amones (Anwendung und Analyse modelbasierter Netzsteuerungsverfahren in städtischen Straßennetzen), Symposium. Berlin, 2009.
2. Luftqualität verbessern – Mobilität sichern, Ergebnisse der 14. Wettbewerb für Städte und Gemeinden 2005/2006.
3. *Витолин С. В.* Совершенствование транспортных потребительских свойств изолированных регулируемых перекрестков улично-дорожной сети города: дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2014.
4. *Friedrich B.* Die Neufassung der Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA), Institut für Verkehr und Stadtbauwesen. Technische Universität Braunschweig, 2007.
5. RiLSA (1992/2003). Richtlinien für Lichtsignalanlagen — Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.). Köln, 2003.
6. *Bosserhoff D., Novotny T.* Verkehrslenkung und Verkehrsbeeinflussung, Kapitel 5.2 Sonderformen der LSA-Steuerung, Handbuch für Verkehrssicherheit und Verkehrstechnik der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung, Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, 2008.
7. *Lagemann A.* Vorrang für Busse und Straßenbahnen an Kreisverkehren, vom Fachbereich Architektur / Raum- und Umweltplanung / Bauingenieurwesen der Technischen Universität Kaiserslautern zur Verleihung des akademischen Grades. Dr.-Ing. genehmigte Dissertation, 2004.
8. *Brilon W., Wietholt T.* Koordinierung von LSA — Wirkung verschiedener Steuerungsverfahren auf die Verkehrsqualität. Amones Symposium, Berlin, 2009.
9. *Robertson D.* TRANSYT — A Traffic Network Study Tool. TRRL Report No. 253; Transport and Road Research Laboratory; Crowthorne (GB), 1969.
10. *Кретов А. Ю., Азурев И. Е., Мацур И. Ю.* Исследование алгоритмов светофорного регулирования перекрестка при различных параметрах транспортного потока // Известия Тульского государственного университета. Вып. 7. Ч. 2. 2013. С. 54—61.
11. *Brilon W., Wietholt T., Wu N.* Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrsabhängigen Steuerungen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V163, 2007.
12. *Friedrich B.* Verkehrsadaptive Steuerung von Lichtsignalanlagen, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau. Universität Hannover, 2000.
13. *Mertz J.* Ein mikroskopisches Verfahren zur verkehrsadaptiven Knotenpunktsteuerung mit Vorrang des öffentlichen Verkehrs. Schriftreihe des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung der TU München. München, 2001.

© *Витолин С. В.*, 2015

*Поступила в редакцию  
в январе 2015 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Витолин С. В.* Современные методы регулирования транспортных потоков на светофорных объектах и оценка их эффективности // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 132—139.

*Об авторе:*

**Витолин Сергей Владимирович** — старший преподаватель кафедры изысканий и проектирования транспортных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолГАСУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [vitolinsv@mail.ru](mailto:vitolinsv@mail.ru)

**S. V. Vitolin**

## MODERN METHODS OF TRANSPORT FLOW REGULATIONS AT TRAFFIC LIGHTS AND THE EVALUATION OF THEIR EFFECTIVENESS

The article provides the review and assessment of efficiency of some modern methods of transport flow regulation at traffic lights on the basis of the Russian and foreign experience.

**Key words:** traffic lights, adaptive control, traffic dependent control, simulation.

### REFERENCES

1. Friedrich M. *Das Projekt Amones (Anwendung und Analyse modellbasierter Netzsteuerungsverfahren in städtischen Straßennetzen)*, Symposium. Berlin, 2009.
2. Luftqualität verbessern – Mobilität sichern, Ergebnisse der 14. Wettbewerb für Städte und Gemeinden 2005/2006.
3. Vitolin S. V. *Sovershenstvovanie transportnykh potrebitel'skikh svoystv izolirovannykh reguliruemyykh perekrestkov ulichno-dorozhnoi seti goroda* [Improvement of transport consumer properties of isolated controlled crossing of a city street road network. Diss. Cand. Eng. Sci.]. Volgograd, 2014.
4. Friedrich B. *Die Neufassung der Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA)*, Institut für Verkehr und Stadtbauwesen. Technische Universität Braunschweig, 2007.
5. *RiLSA (1992/2003)*. Richtlinien für Lichtsignalanlagen — Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.). Köln, 2003.
6. Bosserhoff D., Novotny T. *Verkehrslenkung und Verkehrsbeeinflussung, Kapitel 5.2 Sonderformen der LSA-Steuerung, Handbuch für Verkehrssicherheit und Verkehrstechnik der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung, Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen*, 2008.
7. Lagemann A. *Vorrang für Busse und Straßenbahnen an Kreisverkehren, vom Fachbereich Architektur. Raum- und Umweltplanung. Bauingenieurwesen der Technischen Universität Kaiserslautern zur Verleihung des akademischen Grades. Dr.-Ing. genehmigte Dissertation*, 2004.
8. Brilon W., Wietholt T. *Koordinierung von LSA — Wirkung verschiedener Steuerungsverfahren auf die Verkehrsqualität*. Amones Symposium, Berlin, 2009.
9. Robertson D. TRANSYT — A Traffic Network Study Tool. TRRL Report No. 253; Transport and Road Research Laboratory; Crowthorne (GB), 1969.
10. Kretov A. Yu., Agureev I. E., Matsur I. Yu. [Research of algorithms of traffic lights at various parameters of traffic flows]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta* [News of Tula state university], 2013, iss. 7, part 2, pp. 54—61.
11. Brilon W., Wietholt T., Wu N. *Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrsabhängigen Steuerungen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft V163, 2007.
12. Friedrich B. *Verkehrsadaptive Steuerung von Lichtsignalanlagen*, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau. Universität Hannover, 2000.
13. Mertz J. *Ein mikroskopisches Verfahren zur verkehrsadaptiven Knotenpunktsteuerung mit Vorrang des öffentlichen Verkehrs. Schriftreihe des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung der TU München*. München, 2001.

### For citation:

Vitolin S. V. [Modern methods of transport flow regulations at traffic lights and the evaluation of their effectiveness]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 132—139. (In Russ.).

### About author:

**Vitolin Sergei Vladimirovich** — Senior Lecturer of Survey and Design of Transport Works Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [vitolinsv@mail.ru](mailto:vitolinsv@mail.ru)

УДК 625.711.1-048.35

**С. А. Лищинский, С. В. Алексиков, И. С. Алексиков**

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ**

Обоснована необходимость использования территориальной дорожной сети для выполнения крупнотоннажных транзитных перевозок. Рассмотрена необходимость усиления дорожных одежд, уширения проезжей части местных дорог с учетом движения по ним крупногабаритных, многоосных автопоездов ремонта. Приведены результаты исследования движения автопоездов по местной дороге, зазоров безопасности транспортных средств.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** грузовые транспортные средства, нормы проектирования, зазоры безопасности, ширина проезжей части.

Магистральные автомобильные дороги Волгоградской области являются важной составной частью транспортной системы России. Более 50 % федеральных дорог направления Москва — Астрахань (рис. 1) проходит по территории Волгоградской области, по ним осуществляются международные и межрегиональные перевозки с европейской части России в страны Средней и Центральной Азии через территорию Казахстана (рис. 1).

К федеральным автомобильным дорогам, входящим в состав международных транспортных коридоров «Север — Юг» и «Запад — Восток», относятся: М-6 «Каспий» с «Подъездом к г. Элиста»; М-21 Волгоград — Каменск-Шахтинский до границы с Украиной; IP 228 Сызрань — Саратов — Волгоград.

Магистральная дорога М-6 «Каспий» с подъездом к городу Элисте в пределах области имеет параметры I—II технической категории с шириной проезжей части 8,0...15,0 м. Среднегодовая суточная интенсивность движения от 6700 до 12 600 авт./сут., обеспечивает от 20 до 35 % транзитных и межобластных грузоперевозок.

Федеральная дорога М-21 Волгоград — Каменск-Шахтинский до границы с Украиной (на Днепропетровск, Кишинев) в пределах области (185,7 км) имеет параметры II категории. Интенсивность движения: у г. Волгограда (п. Горьковский) — 12100 авт./сут., у г. Калач-на-Дону — 5000 авт./сут., на границе с Ростовской областью — 3000 авт./сут. Дорога обеспечивает до 20 % транзитных перевозок.

Автодорога IP 228 Сызрань — Саратов — Волгоград в пределах области (246 км) построена по параметрам III технической категории. Автодорога входит в состав транспортного коридора РФ № 12, является ответвлением от МТК «Панъевропейский № 2» («Транссиб»). По автодороге осуществляется до 35 % транзитных и межобластных перевозок.

Федеральные дороги характеризуются высокой загрузкой на подходах к г. Волгограду. Движение транзитного транспорта в направлениях Москвы, Саратова, Ростова, Элисты происходит через областной центр, что приводит к излишней загрузке УДС города, повышенной аварийности, перепробегу автомобилей. В целях снижения автотранспортных затрат назрела необходимость модернизация территориальной дорожной сети.

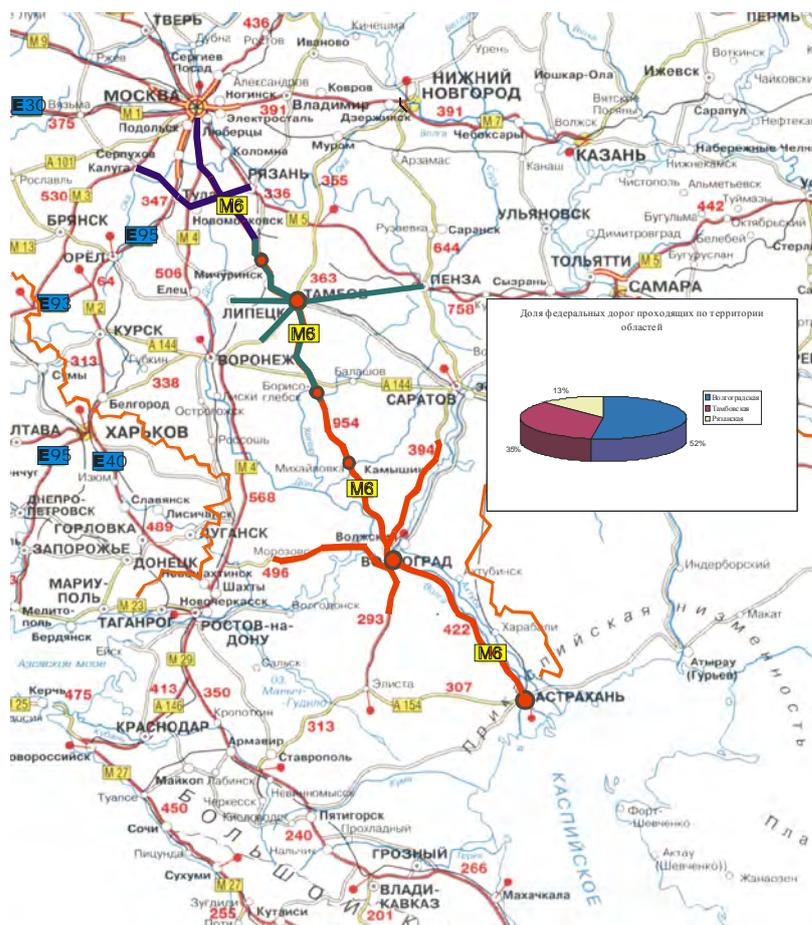


Рис. 1. Схема федеральных дорог транспортного коридора «Север — Юг» на участке Москва — Астрахань

В рамках модернизации представляется целесообразным:

обосновать альтернативные направления проезда транзитного автотранспорта в направлениях Ростова и Саратова по территориальной дорожной сети в обход города Волгограда;

приспособить дороги альтернативных направлений для движения многоосных крупногабаритных тяжелых автопоездов путем их ремонта или реконструкции.

В качестве основных критериев целесообразности предлагаемых решений использованы:

1) сокращение расстояния и снижение себестоимости перевозки грузов и пассажиров;

2) снижение потерь от ДТП и экономическая выгода от разгрузки транспортной сети города Волгограда и на подходах к нему по направлениям на Москву, Ростов, Саратов, Астрахань, Элисту;

3) социально-экономический эффект в сельских районах от развития территориальной дорожной сети по альтернативным направлениям (рис. 2).

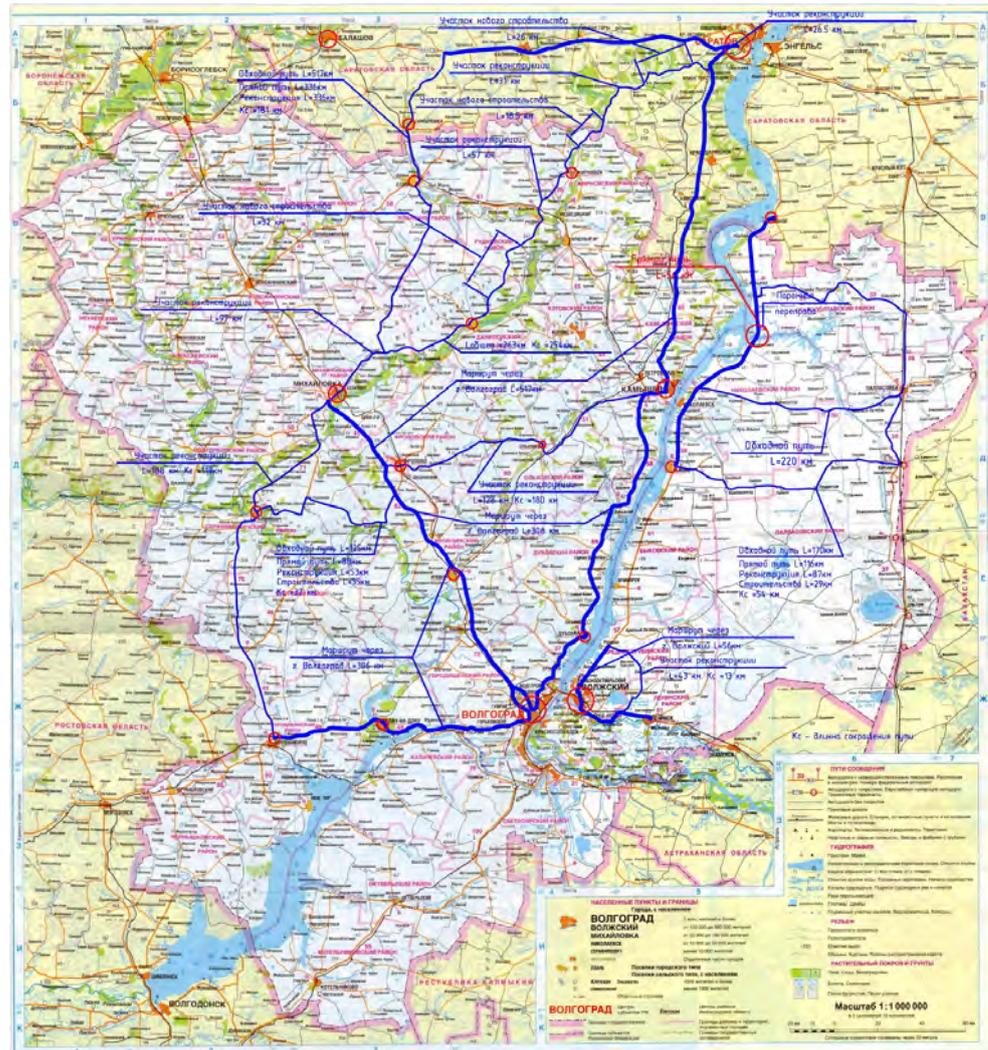


Рис. 2. Альтернативные направления движения транзитного транспорта в обход г. Волгограда

Анализ сети автомобильных дорог Волгоградской области позволил выделить следующие перспективные альтернативные транспортные направления.

Автомобильная дорога Михайловка — Серафимович — Суrowsикино. Она является альтернативной для транспортных потоков из Ростовской области по трассе М-21 через Волгоград и далее по трассе М-6 на Москву и в обратном направлении. Сокращение расстояния перевозки составляет 118 км. На данном направлении необходимо выполнить частично реконструкцию и капитальный ремонт.

Автомобильная дорога Нов. Паника — Зимовский — Ендовский — Серафимович. Это направление является альтернативным для транспортных потоков, идущих по трассе М-6 через Михайловку в Серафимович, Суrowsикино и далее на границу Ростовской области и в обратном направлении. При

использовании этого направления сокращение расстояния перевозки составляет 37 км. На рассматриваемом участке необходимо выполнить объемы работ по частичной реконструкции и капитальному ремонту (53 км), новому строительству (35 км). Так как на данном направлении расположен Зимовской каменный карьер, дополнительно будет получен экономический эффект от сокращения расстояния транспортировки каменных материалов на строительные объекты Волгоградской области.

Автомобильная дорога Ветютнев — Фролово — Ольховка — Камышин. Протяженность данного участка дороги 128 км. Это направление является альтернативным для транспортных потоков, идущих по трассе М-6 через Волгоград на Камышин, Саратов и в обратном направлении. При использовании этого направления сокращение расстояния перевозки 180 км. Однако необходимо выполнить работы по реконструкции и капитальному ремонту общей протяженностью 128 км.

Автомобильная дорога Михайловка — Ильменский 2-й — Елань — Самойловка — Казачка — Саратов. Протяженность данного участка дороги 336 км. Это направление является альтернативным для транспортных потоков, идущих по трассе М-6 через Волгоград на Камышин, Саратов и в обратном направлении. При использовании этого направления сокращение расстояния перевозки составляет 181 км. На рассматриваемом участке 336 км требуется выполнить работы по реконструкции и капитальному ремонту.

Автомобильная дорога Михайловка — Даниловка — Рудня — Жирновск — Саратов. Протяженность данного участка дороги 289 км. Это направление является альтернативным для транспортных потоков, идущих по трассе М-6 через г. Волгоград на Камышин, Саратов и в обратном направлении. При использовании этого направления сокращение расстояния перевозки составляет 228 км. На рассматриваемом направлении необходимо выполнить работы по реконструкции и капитальному ремонту (212 км), по новому строительству (77 км).

Автомобильная дорога Быково — Красноселец — Прудентов — Золотари — Кайсацкое. Протяженность данного участка дороги 116 км. Это направление является альтернативным для транспортных потоков, идущих через Волгоград и Волжский на озеро Эльтон и в обратном направлении. При использовании этого направления сокращение расстояния перевозки составляет 54 км. На рассматриваемом участке необходимо выполнить работы по реконструкции и капитальному ремонту (87 км), по новому строительству (29 км).

Автомобильная дорога Искра — Бережновка — Колышкино. Протяженность данного направления 56 км, оно является альтернативным для транспортных потоков, идущих через Волгоград, Волжский в Энгельс и в обратном направлении. При использовании этого направления сокращение расстояния перевозки составляет 164 км, однако необходимо строительство моста через р. Еруслан [1].

Как отмечено выше, использование указанных альтернативных направлений требует капитального ремонта и реконструкции территориальных дорог. Это обусловлено тем, что указанные дороги построены в 60—70-е годы прошлого столетия по устаревшим нормативам (рис. 3), не отвечают требованиям современных транспортных средств.

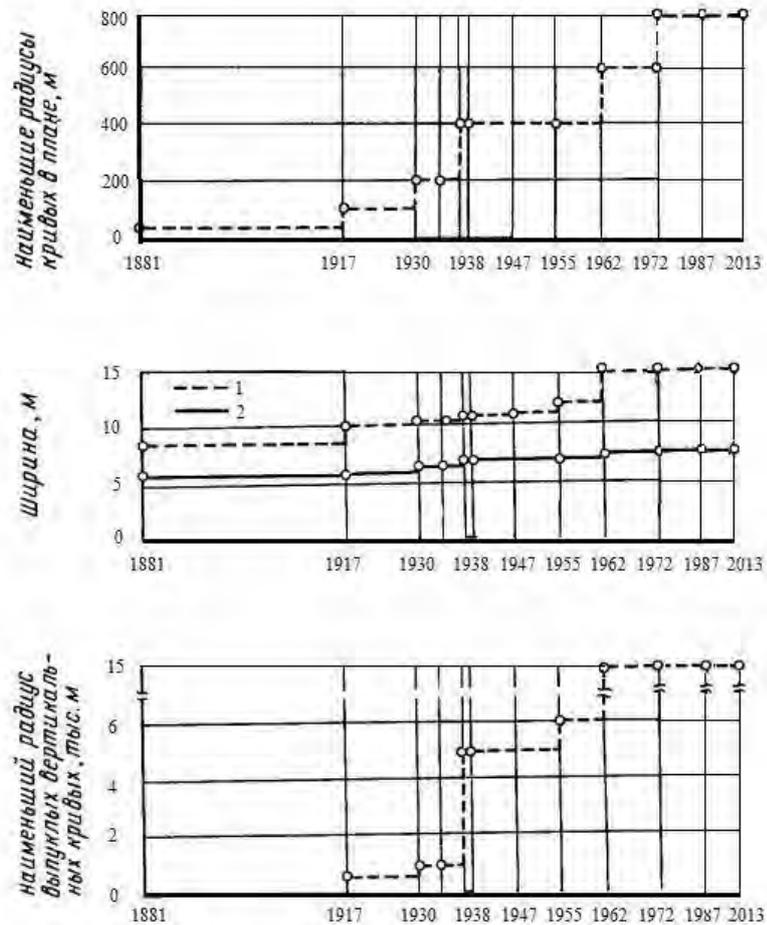


Рис. 3. Изменение технических нормативов на элементы автомобильных дорог: 1 — ширина земляного полотна, м; 2 — ширина проезжей части, м [2], СНИП 2.05.02—85 и СП 34.13330.2012

Исследования показали, что в условиях формирования международных транспортных коридоров, обеспечивающих крупногабаритные автомобильные перевозки, состав транспортных потоков претерпевает значительные изменения. Доля грузовых автомобилей составляет 25...38 % [3—4]. В составе грузового движения доля крупногабаритных автопоездов достигла 47 % (рис. 4) [5]. Одновременно возросли осевые нагрузки на дорожное покрытие, от 2,4 до 34 % грузовых автомобилей имеют перегруз.

Наиболее распространенными многоосными транспортными средствами являются пятиосный автомобиль в составе трехосного грузовика с двухосным прицепом и трехосный грузовик со сдвоенной задней осью. Из транспортных средств с перегрузками до 54 % приходится на многоосные автомобили разных конструктивных схем (32 % — двухосный тягач с трехосным полуприцепом, 14 % — трехосный тягач с двухосным прицепом, 8 % — трехосный тягач с двухосным полуприцепом). Конструкции дорожных одежд, расчи-

танные на осевую нагрузку 6...8 т, в настоящее время работают на нагрузки 10...12 т и выше. Наблюдается перегруз многоосных автопоездов. Максимальный коэффициент перегруза приходится на вторую ось автомобилей и равен 1,22 (рис. 5).

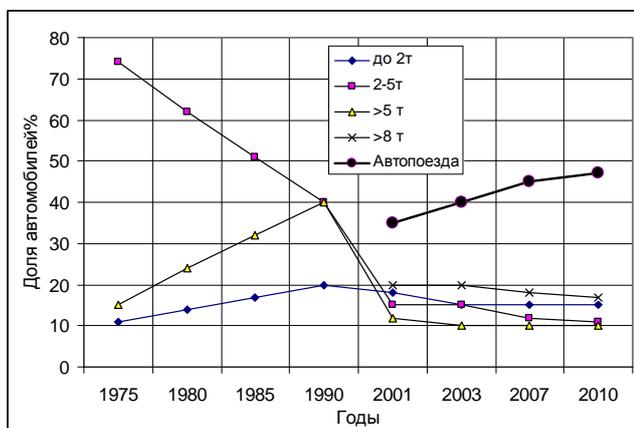


Рис. 4. Состав грузового движения на федеральных дорогах РФ

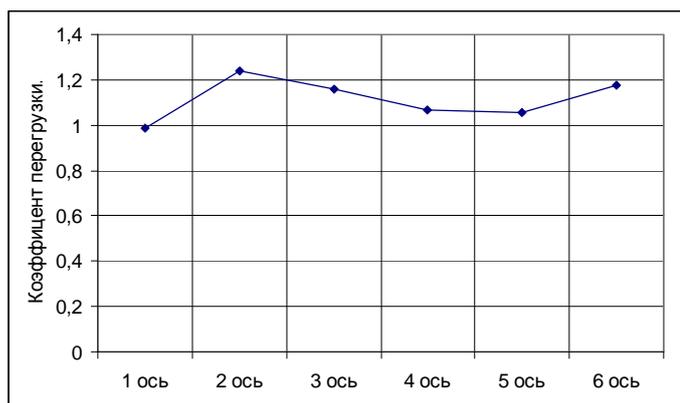


Рис. 5. Коэффициент перегрузки осей грузовых автомобилей

Одновременно существенно изменились габариты грузовых автомобилей. Длина автопоездов достигла 20 м и более, ширина — 3,0...3,3 м. Территориальные дороги, преимущественно IV категории, имеют ширину проезжей части 6,0...7,0 м и не способны обеспечить безопасный пропуск современных крупнотоннажных грузовых автомобилей с расчетными скоростями (рис. 6).

При движении большегрузных автомобилей отечественных и иностранных марок, таких как КАМАЗ, MAN, Scania, Volvo, Mercedes-Benz, наблюдается заезд колес на встречную полосу и обочину. Зазор безопасности между встречными автомобилями не обеспечивается, повышается риск ДТП. Заезд на краевую полосу и обочину приводит к обламыванию кромки проезжей части и чрезмерному разрушению обочин, особенно если они не укреплены (рис. 7).

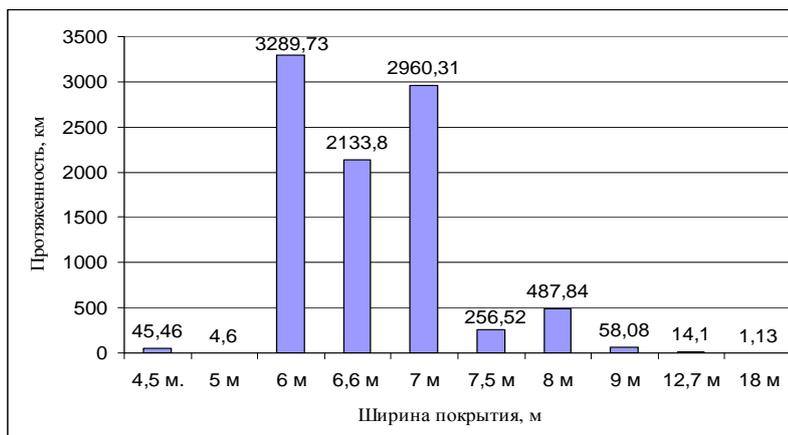


Рис. 6. Гистограмма ширины покрытия дорог Волгоградской области

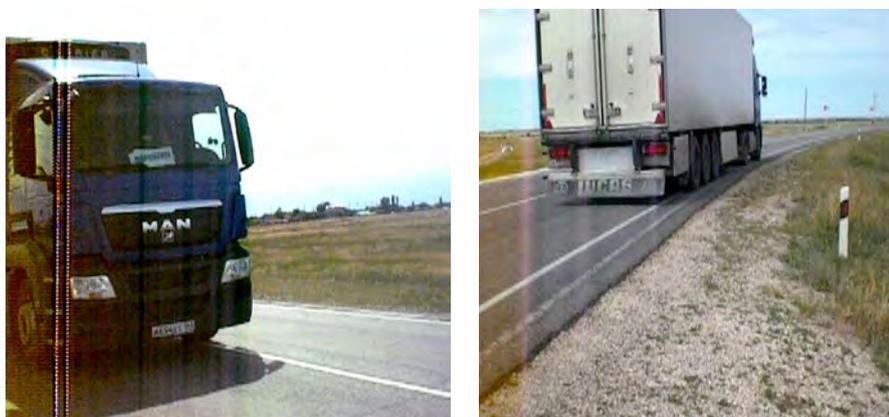


Рис. 7. Движение большегрузных автомобилей на участке автомобильной дороги Иловля — Ольховка — Камышин IV технической категории

Исследования динамики движения грузовых автомобилей показывают, что они под влиянием различных факторов (габариты автомобилей, психофизиологические способности водителя, скоростной режим и др.) выезжают за границы полосы движения. Особенно заметно наблюдалось смещение грузовых автомобилей к оси проезжей части на участках закруглений. Поэтому при проектировании ремонта или реконструкции дорог для движения большегрузных автомобилей весьма актуальным является обоснование ширины проезжей части.

С целью разработки методики обоснования ширины проезжей части территориальных дорог для движения крупногабаритных автопоездов выполнены исследования траектории движения грузовых автомобилей на автомобильной дороге IV категории Иловля — Ольховка — Камышин. Ширина земляного полотна 10 м, ширина проезжей части 6,6 м. В составе потока 74 % легковых автомобилей, 7 % — малотоннажных грузовых, 15 % — крупнотоннажных грузовых, 4 % — автобусов. Интенсивность движения в двух направлениях — 2520 авт./сут.

Для обоснования ширины проезжей части проведены натурные измерения зазоров безопасности при проезде автомобилей. На участок дороги мелом были нанесены равные отрезки, а при проезде грузового транспорта были зафиксированы расстояния от колеса до границы полосы движения (кромки проезжей части или оси дороги) и зазор безопасности между кузовами встречных автомобилей. Результаты измерений зазора безопасности приведены в табл.

*Показатели и функция распределения зазора безопасности*

№ интервала	Границы интервалов $a_{i+1} - a_i$	Середина интервала	Кол-во попаданий в интервал / Относительная частота ( $p_i$ )	Эмпирическая функция распределения $F_n(x)$	Плотность относительной частоты $f_i^*$
1	1,22...1,26	1,24	2 / 0,15	0,15	3,85
2	1,26...1,3	1,28	1 / 0,08	0,23	1,92
3	1,3...1,34	1,32	2 / 0,15	0,38	3,85
4	1,34...1,38	1,36	3 / 0,23	0,61	5,77
5	1,38...1,42	1,4	2 / 0,15	0,76	3,85
6	1,42...1,46	1,44	2 / 0,15	0,91	3,85
7	1,46...1,5	1,48	1 / 0,08	1	1,92

Статистическая обработка результатов наблюдения показала, что зазор безопасности между встречными автомобилями можно описать нормальным распределением (рис. 8).

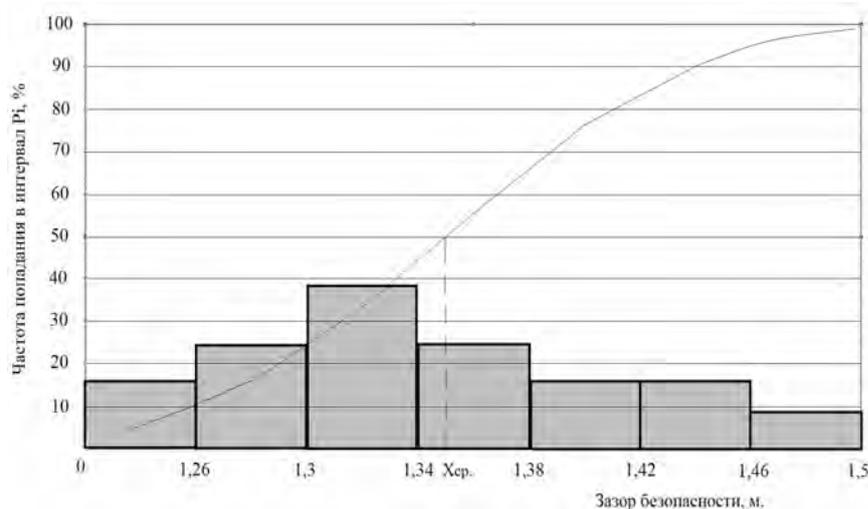


Рис. 8. Гистограмма зазоров безопасности между встречными автомобилями

Среднее значение зазора безопасности  $x_{cp} = 1,35$  м; среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 0,07$ .

Расчет необходимой ширины проезжей части выполнен по известной формуле Н. Ф. Хорошилова:

$$B = b + c + 2y + x, \quad (1)$$

где  $B$  — ширина проезжей части, м;  $b$  — ширина кузова автомобиля, м;  $c$  — колея автомобиля (расстояние между внешними гранями следа наиболее широко расставленных колес), м;  $x$  — зазор между кузовами встречных автомобилей, м;  $y$  — расстояние от внешней грани следа колеса до края проезжей части, м [6, 7]. Зазоры безопасности  $x$  и  $y$  следует определять с заданным уровнем надежности, исходя из нормальности распределения этих величин:

$$x_p = x_{cp}(1 + t_\sigma). \quad (2)$$

По расчетам по формуле (1) для седельного тягача КамАЗ-5410 с бортовым полуприцепом получена ширина проезжей части дороги 7,4 м, что превышает существующую ширину проезжей части на 0,8 м. Выполненные исследования позволяют сделать вывод о необходимости увеличения проезжей части на 0,8 м для свободного и безопасного движения большегрузных транспортных средств на прямых участках.

При движении автомобиля по криволинейному участку каждое его колесо движется по своей траектории. Вследствие этого автомобиль занимает большую ширину проезжей части, чем при движении по прямому участку [8, 9]. Для безопасного движения по кривым с радиусом  $R \leq 1000$  м предусматривается уширение проезжей части с внутренней стороны за счет обочин. Величина уширения зависит от радиуса кривой в плане, расстояния от переднего бампера до задней оси расчетного автомобиля, приведена в СНиП 2.05.02—85\*. Величина уширения проезжей части на закруглении рассчитывается по известной формуле [6, 10, 11]:

$$\Delta B = \frac{l^2}{2R} + \frac{0,05V}{\sqrt{R}}, \quad (3)$$

где  $\Delta B$  — величина уширения проезжей части с двумя полосами движения, м;  $l$  — расстояние от центра заднего моста до переднего моста наиболее длинного грузового автомобиля, м;  $R$  — радиус кривой в плане, м;  $V$  — расчетная скорость движения автомобиля для данной категории дороги, км/ч.

На закруглении с  $R = 1000$  м уширение проезжей части, согласно СНиП 2.05.02—85\*, составляет 0,4 м. Расчеты по формуле (3) для седельного тягача КамАЗ-5410 с полуприцепом показали, что по условиям безопасности величина уширения должна составлять 1,55 м. Таким образом, приспособление исследуемой дороги для движения крупнотоннажного транспорта требует дополнительного уширения на кривых в плане не менее 1,10 м.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие *выводы*:

1. С целью повышения скорости транспортных потоков и безопасности дорожного движения, снижения себестоимости перевозок на основных автомагистралях РФ необходимо использовать для транзитных крупнотоннажных перевозок территориальную дорожную сеть. Это позволяет, при соответствующем технико-экономическом обосновании, перераспределить транзитные транспортные потоки в обход крупных и крупнейших городов, исключить перепробеги автотранспорта.

2. Использование территориальных дорог для крупнотоннажных перевозок требует их приспособления для движения многоосных крупногабаритных автопоездов с высокими нагрузками на дорожное покрытие средствами капитального ремонта или реконструкции.

3. Обоснование конструкций усиления дорожных одежд, уширения земляного полотна и проезжей части территориальных дорог (преимущественно IV технической категории) требует дополнительных исследований закономерностей движения крупнотоннажных седельных тягачей и автопоездов на дорогах с проезжей частью 6,0...7,0 м.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санжапов Б. Х., Алексиков С. В., Бобров М. Н. Модернизация региональной сети автомобильных дорог в условиях формирования международных транспортных коридоров // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства: материалы II науч.-технич. конф., г. Волгоград, 24—25 октября 2009 г. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. С. 145—148.
2. Бабков В. Ф., Могилевич В. М., Некрасов В. К. Реконструкция автомобильных дорог. М. : Транспорт, 1978. 264 с.
3. Справочная энциклопедия дорожника. Строительство и реконструкция автомобильных дорог / под ред. А. П. Васильева. М. : Информавтор, 2005.
4. Титов И. В., Батищев И. И. Грузовой автомобильный транспорт в России: состояние и перспективы развития // Транспорт Российской Федерации. 2011. № 5(36). С. 44—48.
5. Хегай Ю. А. Состояние и перспективы развития грузовых автомобильных перевозок в Российской Федерации // Теория и практика общественного развития. Вып. 11. 2014.
6. Бабков В. Ф., Андреев О. В. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 1. М. : Транспорт, 1987. 368 с.
7. Иванов В. Н. Влияние ширины проезжей части автомобильных дорог на безопасность и режим движения транспортных средств. М. : Высшая школа, 1972. 415 с.
8. Красильщиков И. М., Елизаров Л. В. Проектирование автомобильных дорог. М. : Транспорт, 1986 г. 215 с.
9. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. М. : Транспорт, 1984. 287 с.
10. Зякин Я. Х. Маневренность автомобиля и автопоезда. М. : Транспорт, 1986. 136 с.
11. Шатманов О. Т. К вопросу обоснования параметров горизонтальных кривых // Вестник КГУСТА. 2013. № 1(39).

© Лищинский С. А., Алексиков С. В., Алексиков И. С., 2015

Поступила в редакцию  
в декабре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Лищинский С. А., Алексиков С. В., Алексиков И. С. Модернизация территориальной дорожной сети в условиях формирования международных транспортных коридоров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 140—150.

Об авторах:

**Лищинский Сергей Анатольевич** — аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [sergeyirbis@mail.ru](mailto:sergeyirbis@mail.ru)

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

**Алексиков Илья Сергеевич** — канд. техн. наук, ассистент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**S. A. Lishchinskii, S. V. Aleksikov, I. S. Aleksikov**

## MODERNIZATION OF TERRITORIAL ROAD NETWORK UNDER CONDITION OF FORMATION OF INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDOR

The authors prove the necessity to use the territorial road network for large-capacity transit. The necessity of strengthening the road pavement, widening of the carriageway of local roads taking into account the traffic of large cars, multi-axle trucks of repair is considered. The article provides the results of the study of the motion of trucks on local road, safety clearance of vehicles.

**Key words:** cargo vehicles, design standards, safety clearances, width of the roadway.

### REFERENCES

1. Sanzhapov B. Kh., Aleksikov S. V., Bobrov M. N. [Modernization of the regional network of highways under conditions of formation of the international transport corridors]. *Inzhenernye problemy stroitel'nogo materialovedeniya, geotekhnicheskogo i dorozhnogo stroitel'stva: materialy II nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, g. Volgograd, 24—25 oktyabrya 2009 g.* [Engineering problems of construction materials science, geotechnical and road construction. Proc. of II sci. and tech. conf., Volgograd, 24—25 October, 2009]. Volgograd, VSUACE Publ., 2009. Pp. 145—148.
2. Babkov V. F., Mogilevich V. M., Nekrasov V. K. *Rekonstruktsiya avtomobil'nykh dorog* [Reconstruction of highways]. Moscow, Transport Publ., 1978. 264 p.
3. Vasil'ev A. P. (ed.). *Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika. Stroitel'stvo i rekonstruktsiya avtomobil'nykh dorog* [Reference book of a road builder. Construction and reconstruction of highways]. Moscow, Informavtodor Publ., 2005.
4. Titov I. V., Batishchev I. I. [Cargo motor transport in Russia: state and prospects of development]. *Transport Rossiiskoi Federatsii* [Transport of the Russian Federation], 2011, no. 5(36), pp. 44—48.
5. Khagai Yu. A. [State and prospects of development of cargo motor transportation in the Russian Federation]. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya* [Theory and practice of social development], iss. 11, 2014.
6. Babkov V. F., Andreev O. V. *Proektirovanie avtomobil'nykh dorog. Ch. 1* [Design of highways. P. 1]. Moscow, Transport publ., 1987. 368 p.
7. Ivanov V. N. *Vliyaniye shiriny proezzhei chasti avtomobil'nykh dorog na bezopasnost' i rezhim dvizheniya transportnykh sredstv* [Influence of the roadway width on safety and mode of motion of vehicles]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1972. 415 p.
8. Krasilshchikov I. M., Elizarov L. V. *Proektirovanie avtomobil'nykh dorog* [Design of highways]. Moscow, Transport Publ., 1986. 215 p.
9. Sil'yanov V. V. *Transportno-ekspluatatsionnye kachestva avtomobil'nykh dorog* [Transport and operational qualities of highways]. Moscow, Transport Publ., 1984. 287 p.
10. Zyakin Ya. Kh. *Manevrennost' avtomobilya i avtopoezda* [Flexibility of a car and a road train]. Moscow, Transport Publ., 1986. 136 p.
11. Shatmanov O. T. [To the issue of justification of parameters of horizontal curves]. *Vestnik KGUSTA* [News of KGUSTA], 2013, no. 1(39).

### For citation:

Lishchinskii S. A., Aleksikov S. V., Aleksikov I. S. [Modernization of territorial road network under condition of formation of international transport corridor]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 140—150. (In Russ.).

### About authors:

**Lishchinskii Sergei Anatol'evich** — Postgraduate student of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [sergeyirbis@mail.ru](mailto:sergeyirbis@mail.ru)

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

**Aleksikov Il'ya Sergeevich** — Candidate of Engineering Science, Assistant of Construction and Operation of Transport Works Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 628.16.081

**Е. В. Москвичева<sup>а</sup>, А. Р. Салахутдинова<sup>б</sup>, Д. О. Игнаткина<sup>а</sup>, П. А. Сидякин<sup>в</sup>,  
Д. В. Щитов<sup>в</sup>, З. К. Ибрагимова<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

<sup>б</sup> *Астраханский инженерно-строительный университет*

<sup>в</sup> *Северо-Кавказский федеральный университет*

## **СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Наличие оборотной системы водного хозяйства является одним из важнейших показателей технического уровня промышленных предприятий. Внедрение систем оборотного водоснабжения позволяет резко снизить количество сбрасываемых сточных вод и уменьшить потребности в свежей воде, что дает большой экономический и экологический эффект. В статье излагаются исследования по изучению нового сорбционно-фильтрующего материала (СФМ), применение которого должно повысить коэффициент использования водных ресурсов ряда производств.

Были изучены физико-механические свойства СФМ. Изученные показатели взаимосвязаны и позволяют прогнозировать изменение прочностных характеристик адсорбентов и сорбционно-фильтрующих материалов в процессах их долговременной эксплуатации. Свойства фильтрующей загрузки соответствуют требованиям, предъявляемым к материалам, пригодным для промышленного использования. Была проведена гигиеническая оценка загрузки. Исследуемый материал не ухудшает органолептических свойств воды (отсутствие постороннего запаха и привкуса водных вытяжек), практически не изменяется величина цветности по сравнению с контролем. Также сорбционные свойства изучены в статическом и кинетическом режимах. Сорбция изученных веществ (кроме мазута) возрастает с увеличением температуры. За время 2...8 мин в воде практически не остается сорбата, он весь переходит на загрузку и прочно удерживается на ней.

Данную фильтрующую загрузку можно применять в различных технологических установках на предприятиях для получения оборотной воды.

**Ключевые слова:** промышленные предприятия, оборотные системы водоснабжения, сорбционная очистка, сорбционно-фильтрующий материал, статика сорбции, кинетика сорбции.

Наличие оборотной системы водного хозяйства является одним из важнейших показателей технического уровня промышленных предприятий. Внедрение систем оборотного водоснабжения позволяет резко снизить количество сбрасываемых сточных вод и уменьшить потребности в свежей воде, что дает большой экономический и экологический эффект. В настоящее время качество водоемких объектов не соответствует предъявленным требованиям [1—3]. Ежегодное ухудшение показателей качества воды указывает на то, что источники водоснабжения подвергаются техногенному воздействию, и вопрос надлежащей очистки воды стоит очень остро. Необходимо усовершенствование традиционных существующих систем оборотного водоснабжения предприятий.

Одним из эффективных методов очистки воды от различных посторонних веществ является сорбционная очистка [4—9]. В статье приводятся данные по разработке и изучению нового сорбционно-фильтрующего материала

(СФМ), применение которого должно повысить коэффициент использования водных ресурсов ряда производств.

Работа выполнялась в рамках региональных программ «Обеспечение населения Астраханской области питьевой водой», «Чистая вода» на 2011—2017 гг.

Способ получения СФМ заключается в том, что смешивают измельченные опоки [10—13], активный уголь, портландцемент, 10%-й раствор хлорида натрия, 10%-й раствор хлорида кальция. Компоненты перемешивают до получения тестообразной массы, которую пропускают через шнековый измельчитель. Полученные гранулы высушивают при температуре 20...35 °С, после затвердевания массу выдерживают в проточной воде до отрицательной реакции на хлорид-ион. Полученная загрузка обеспечивает поглощение из очищаемой воды большого ассортимента примесей [14].

**Физико-механические характеристики СФМ.** Из физико-механических параметров определены следующие: насыпная плотность, водостойкость, виброизнос, механическая прочность на раздавливание при  $T = 105$  и  $300$  °С, условная механическая прочность, истираемость, измельчаемость и гранулометрический состав. Данные показатели взаимосвязаны и позволяют прогнозировать изменение прочностных характеристик адсорбентов и сорбционно-фильтрующих материалов в процессах их долговременной эксплуатации. По вышеприведенным показателям фильтрующая загрузка соответствует требованиям, предъявляемым к материалам, пригодным для промышленного использования (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

*Основные физико-механические параметры СФМ*

Проба		Сорбент
Фракции $\times 10^{-3}$ , м		20...40
Насыпная плотность $\times 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>		1,05
Водостойкость, %	С кипячением	96,00
	Без кипячения	99,00
Виброизнос, %		0,97
Механическая прочность на раздавливание $\times 10^4$ , кг/м <sup>2</sup>	$t = 105$ °С	250,00
	$t = 300$ °С	260,00
Истираемость, %		0,25
Измельчаемость, %		0,60
Условная механическая прочность, %		75,00

Гигиеническая оценка загрузки для очистки воды в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения проводилась согласно ТУ 2641-001-51652069—2001 с учетом методических указаний по гигиенической оценке материалов, реагентов, оборудования, технологий, используемых в системе водоснабжения МУ 2.1.4.783\*. Полученные результаты исследований приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Показатели качества воды в статическом эксперименте при использовании СФМ  
 (вода водопроводная доочищенная с содержанием 160 мг/дм<sup>3</sup>; температура во-  
 ды (25 ± 5) °С; время настаивания 1...30 суток (1-я серия исследований))*

Показатели	Гигиенический норматив	Сроки наблюдения, сутки						
		Тотчас	1	3	5	10	20	30
Запах, баллы	≤2							
Проба		—	0...1	0...1	0...1	0...1	0...1	0...1
Контроль		0...1	0...1	0...1	0...1	0...1	0...1	0...1
Привкус, баллы	≤1							
Проба		—	0...1	0...1	0...1	0...1	0...1	0...1
Контроль		0...1	0...1	0...1	0...1	0...1	0...1	0...1
Цветность, градусы	≤20							
Проба		—	0	0	0	1	0	0
Контроль		2	1	—	—	2	2	2
Мутность	1,5							
Проба		—	0,6	0,28	—	0,1	0,12	0,1
Контроль		<0,1	<0,1	<0,1	—	<0,1	<0,1	<0,1
рН, условные единицы	Р < 6, Н < 9							
Проба		—	7,3	7,32	7,3	7,34	7,32	7,34
Контроль		7,4	7,2	7,24	7,28	7,26	7,26	7,28
Пермангантная окисляемость, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	<5							
Проба		4,0	4,0	4,1	4,1	4,15	4,15	4,15
Контроль		3,9	3,9	4,0	4,12	4,16	4,16	4,16
Аммонийный азот, мг/дм <sup>3</sup>	<2							
Проба		—	—	—	—	—	—	0,96
Контроль		0,1	—	—	—	—	—	0,2
Нитриты, мг/дм <sup>3</sup>	<3							
Проба		—	—	—	—	—	—	0,44
Контроль		0,1	—	—	—	—	—	0,07
Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	<45 (50)							
Проба		—	—	—	—	—	—	3,25
Контроль		1,3	—	—	—	—	—	3,5

Как видно из табл. 2, исследуемый материал не ухудшает органолептических свойств воды (отсутствие постороннего запаха и привкуса водных вытяжек), практически не изменяется величина цветности по сравнению с контролем. В процессе контакта фильтрующей загрузки с водой водородный показатель практически не изменяется и соответствует рекомендуемому гигиеническому нормативу.

Анализ содержания неорганических примесей в водной вытяжке на 30-е сутки опыта показал (2-я серия исследований), что миграция неорганических веществ — токсичных металлов I и II класса опасности (алюминия, бария, кадмия, никеля, молибдена, кобальта, ванадия, титана, ниобия, стронция, свинца) практически отсутствовала, а также не выявлена миграция металлов, влияющих на органолептические свойства воды (железо, марганец, медь) (табл. 3).

Таблица 3

*Содержание неорганических примесей в водных вытяжках из загрузки для очистки воды (вода дистиллированная, температура воды  $(37 \pm 2)$  °С, время настаивания 30 суток (2-я серия исследований))*

№ п/п	Наименование примесей	Гигиенический норматив, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрация примесей в водных вытяжках, мг/дм <sup>3</sup>
1	Алюминий	<0,5	0,05
2	Барий	<0,1	0,04
3	Ванадий	<0,1	0,001
4	Хром	<0,05	0,001
5	Ниобий	<0,01	0,001
6	Никель	<0,1	0,001
7	Кадмий	<0,001	0,0001
8	Стронций	7	0,001
9	Свинец	<0,03	0,001
10	Мышьяк	<0,05	0,0001
11	Цинк	<3	0,001
12	Кальций	<0,5	0,001
13	Магний	<0,5	0,001
14	Железо	<0,3	0,001
15	Марганец	<0,1(0,5)	0,001
16	Медь	<1	0,001

**Изучение сорбции различных веществ в статическом режиме.** Экспериментально изучено сорбционное концентрирование ряда органических и неорганических веществ на полученном сорбенте: бензол (концентрация 0,001М раствор в гексане); полиядерные ароматические углеводороды ГСО (бенз- $\alpha$ -пирен, бенз-перилены); мазут (концентрация 10 мг/дм<sup>3</sup>), фенол (0,001М водный раствор).

Сульфаты железа, цинка, кадмия, меди, марганца, молибдена, свинца, (концентрация водных солей  $10^{-3}$  М, индикатор пиридилазорезорцин (ПАР) 10-3М водный раствор).

Измерения проводились на фотоэлектроколориметре КФК-3МП, флуориметре ЭФ-3М, ионометре И-130.

**Влияние рН на сорбцию.** Экспериментально были определены области значений рН, при которых наиболее полно происходит адсорбция углеводов, фенола и ионов токсичных металлов. Для большинства изученных процессов эффективно адсорбция проходит в диапазоне рН от 3 до 8.

**Изотермы сорбции.** Специально приготовленные растворы бензола, ПАУ и мазута экстрагировали четыреххлористым углеродом (10 мл), экстракт центрифугировали, вносили в экстракты по 5—6 кристалликов безводного сульфата натрия и измеряли интенсивность свечения ( $J$ ) каждой пробы на флуориметре (длина волны возбуждения — 378 нм, максимум полосы флуоресценции — 430 нм (синий фильтр)). Также в растворы органических соединений вносили по 1 г СФМ, интенсивно встряхивали пробы, центрифугировали, отделяли водную фазу, из которой экстрагировали остатки сорбатов и флуориметрировали экстракты, как было описано выше.

По результатам опытов первой серии строили градуировочные графики в координатах «оптическая плотность — концентрация» или «интенсивность флуоресценции — концентрация». По градуировочным графикам, с использованием результатов опытов второй серии, определяли равновесные концентрации исследуемых веществ. Строили изотермы сорбции в координатах «сорбция ( $\Gamma$ ) — равновесная концентрация».

Изотермы сорбции некоторых веществ, взятых в качестве примера, приведены на рис. 1 и 2.

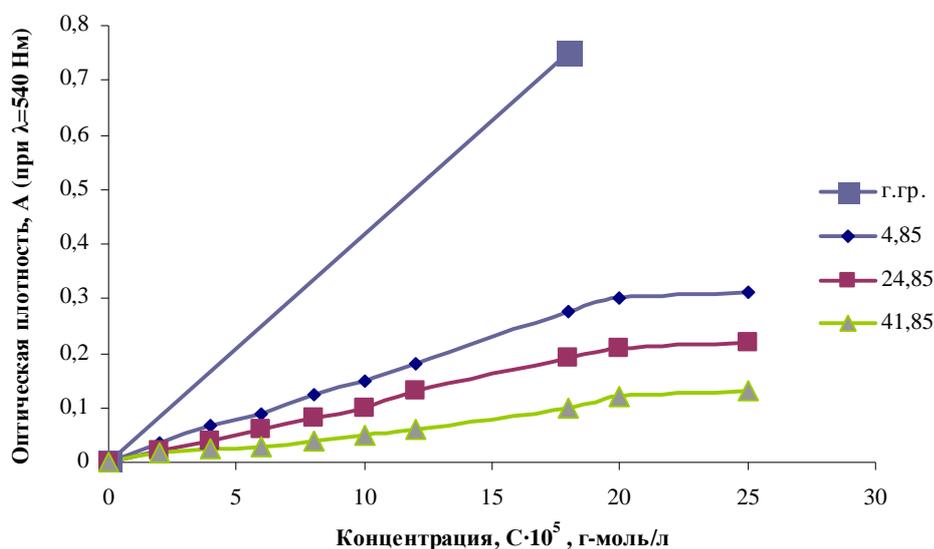


Рис. 1. Зависимость оптической плотности растворов от концентрации ионов цинка до и после сорбции (г.гр. — градуировочный график)

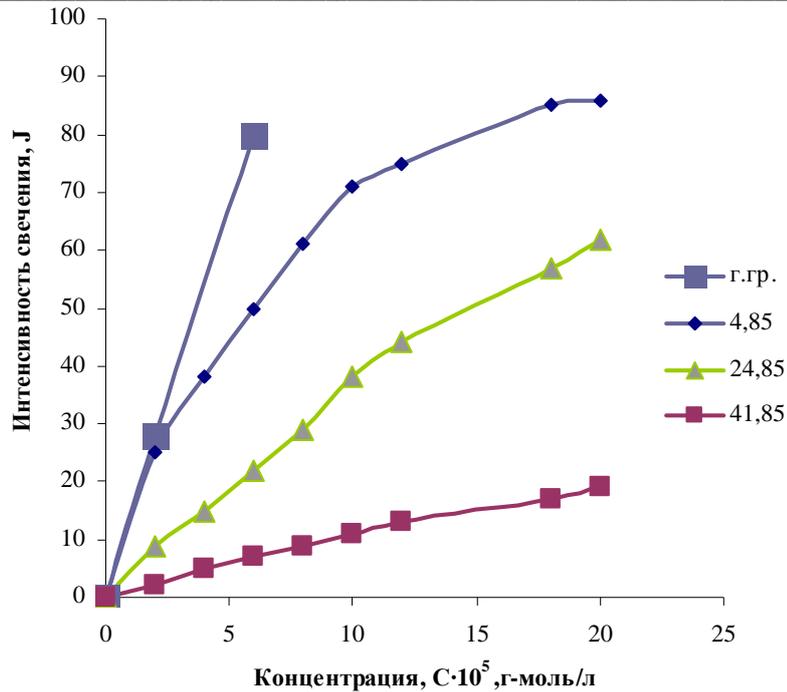


Рис. 2. Зависимость интенсивности свечения экстрактов мазута до и после сорбции (г.гр. — градуированный график)

Объем растворов  $V$  составлял  $10 \text{ см}^3$ . Сорбция  $\Gamma$  оценивалась количеством г-моль веществ, поглощенных 1 г сорбента.

Адсорбцию  $\Gamma$  для ионов металлов, бензола, ПАУ и фенола рассчитывали по формуле

$$r = \frac{(C_0 - [C])VM}{m}, \text{ моль/г} \quad (1)$$

где  $M$  — молярная масса одного из элементов (сорбатов).

Адсорбцию  $\Gamma$  для мазута рассчитывали по формуле

$$\Gamma = \frac{(C_0 - [C])Vm'}{m}, \text{ моль/г} \quad (2)$$

где  $m'$  — масса мазута в  $1 \text{ дм}^3$  его водной эмульсии.

Были построены изотермы сорбции в координатах « $\Gamma$ , моль/г — равновесная концентрация  $[C]$ , моль/дм<sup>3</sup>» или « $\Gamma$ , г/г — равновесная концентрация  $[C]$ ». Для примера приведены результаты по цинку и мазуту (рис. 3, 4).

Как видно из изотерм сорбции, предлагаемая фильтрующая загрузка достаточно эффективно поглощает различные токсиканты, органические соединения и может быть использована в аналитических, экологических и технологических целях.

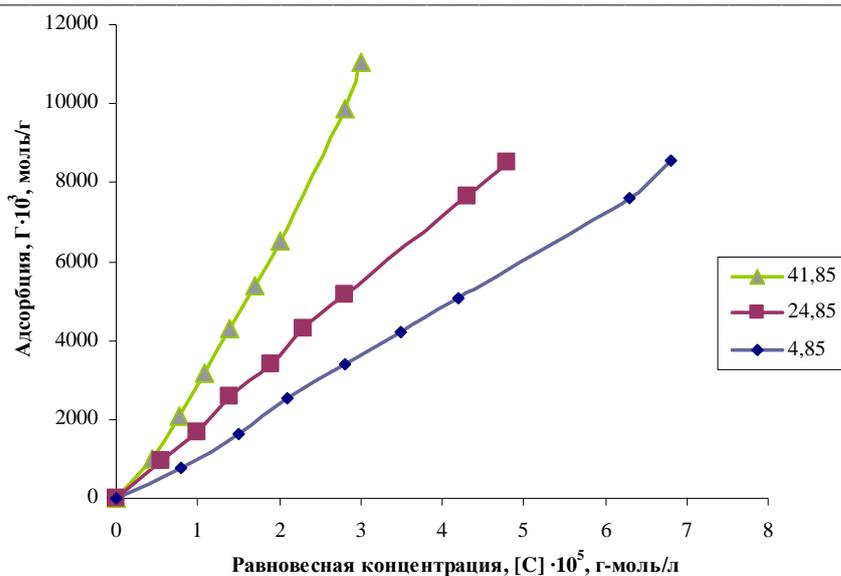


Рис. 3. Изотермы сорбции ионов цинка

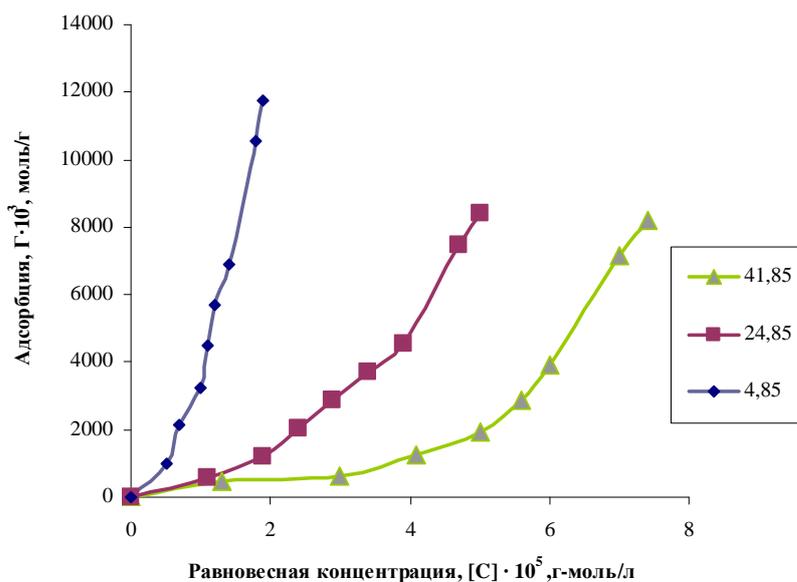


Рис. 4. Изотермы сорбции мазута

Изменения энтальпии сорбции рассчитаны графическим путем. Величина рассчитана по формуле

$$\Delta H = mRt \operatorname{tg} \varphi, \text{ моль/г} \quad (3)$$

где  $m$  — отношение масштабов;  $R$  — газовая постоянная;  $\operatorname{tg} \varphi$  — угловой коэффициент прямой в координатах  $\ln K - \frac{1}{T}$ , где  $K$  — константа сорбции при какой-либо температуре.

Величины изобарно-изотермического потенциала  $\Delta G$  были рассчитаны с использованием уравнения

$$\Delta G = -8,313 \cdot 298 \ln K_1, \text{ моль/г} \quad (4)$$

По рассчитанным величинам  $\Delta H$  и  $\Delta G$  по формуле

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S, \text{ моль/г} \quad (5)$$

для  $T = 298 \text{ К}$  были рассчитаны величины изменения энтропии  $\Delta S$  статической сорбции.

В табл. 4 приведены основные характеристики статической сорбции для различных сорбатов на разработанной СФМ.

Т а б л и ц а 4

*Основные характеристики сорбции*

Сорбаты	Константы сорбции $K \cdot 10^{-3}$			кДж/моль	$-\Delta G_{298}$ , кДж/моль	$-\Delta S_{298}$ , Дж/моль К	мг/г при 298 К
	$K_{278}$	$K_{298}$	$K_{315}$				
Цинк	0,23	0,42	1,60	39,78	14,96	180	50,0
Кадмий	0,09	0,13	1,08	48,13	12,06	200	110,0
Железо	0,17	0,70	4,35	64,95	16,22	280	10,0
Медь	0,80	1,11	5,88	37,11	17,37	63	20,0
Марганец	0,26	0,60	1,72	37,19	15,84	710	20,0
Молибден	0,16	0,60	2,77	56,27	15,84	130	20,0
Свинец	0,14	0,24	0,73	34,03	13,55	160	50,0
Бензол	1,25	0,36	0,1	50,45	14,58	120	35,0
Мазут	6,45	0,70	0,01	123,27	16,23	470	100,0
Фенол	2,78	0,98	0,10	68,6	17,06	170	30,0

Как видно из табл. 4, сорбция изученных веществ (кроме мазута) возрастает с увеличением температуры.

**Изучение кинетики сорбции** (табл. 5). Раствор, содержащий при  $\text{pH}_{\text{опт}}$  определенное количество сорбата, термостатировали, вносили в него измеренное количество фильтрующей загрузки, при постоянном перемешивании через определенные промежутки времени отбирали пробы, центрифугировали их. При необходимости проводили индикаторную реакцию и измеряли оптические плотности. Строили изотермы кинетики сорбции в координатах «оптическая плотность — время». Изотермы кинетики сорбции некоторых веществ, взятых в качестве примера, приведены на рис. 5 и 6.

При изучении статической сорбции используются значения равновесных констант сорбции  $K$ , которые позволяют оценить термодинамические характеристики сорбционных процессов. Эти характеристики позволяют оценить глубину и необратимость процесса сорбции. Но сорбционный процесс, согласно полученным результатам — это все же хемосорбция, если учитывать,

что некоторое увеличение температуры приводит к ускорению наступления равновесия. В этом плане необходимо изучение скоростей сорбции, что позволит определить время наступления равновесия и, кроме того, хотя бы ориентировочно оценить химизм процесса формирования активированного адсорбционного комплекса.

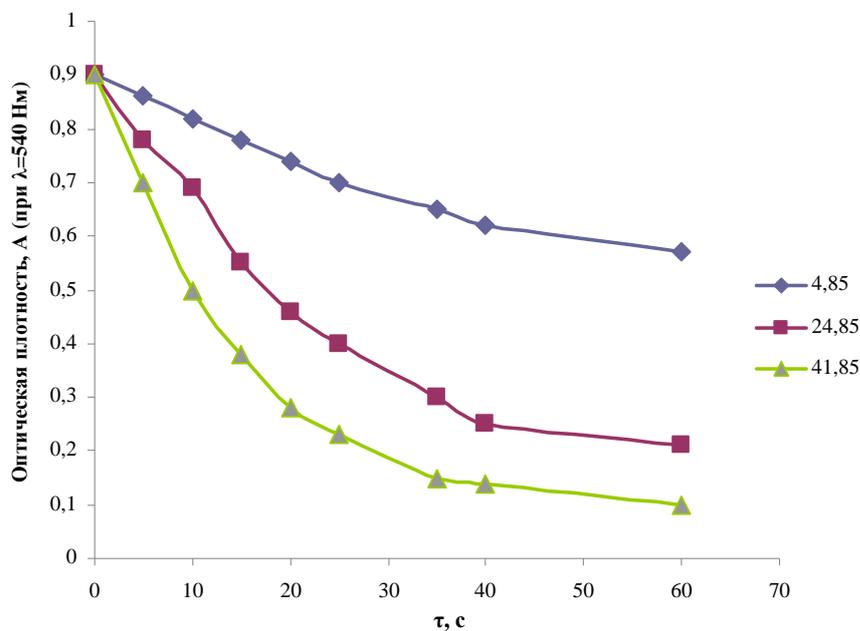


Рис. 5. Изотермы кинетики сорбции цинка

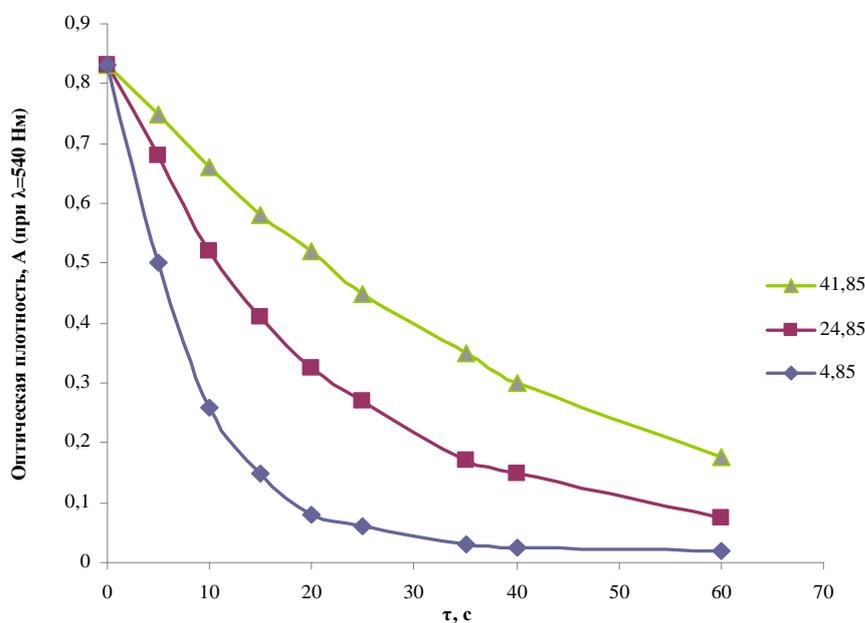


Рис. 6. Изотермы кинетики сорбции мазута

Для всех сорбционных процессов характерен достаточно крутой начальный участок изотерм кинетики сорбции [15]. Процесс сорбции протекает достаточно быстро и практически заканчивается через несколько минут для самой медленной сорбции.

Сорбция представляет собой односторонний процесс, подчиняющийся кинетическому уравнению первого порядка:

$$K = \frac{1}{\tau_i} \ln J^0 \quad K = \frac{1}{\tau_i} \ln A^0$$

$$\frac{J_i}{J_i} \quad \text{или} \quad \frac{A_i}{A_i} \quad (6)$$

Рассчитанные для трех температур значения констант скоростей сорбции позволили путем графического решения уравнения Аррениуса определить энергию активации процесса образования активированного сорбционного комплекса  $E_{\text{акт}}$  и величину логарифма предэкспоненциального фактора  $\ln PZ_0$  в уравнении Аррениуса:

$$\ln PZ_0 = 10,30 + \ln T + \frac{\Delta S}{R} \quad (7)$$

Т а б л и ц а 5

*Основные характеристики кинетики сорбции*

Сорбаты	Константы скоростей сорбции К			$\ln PZ_0$	$E_{\text{акт}}$ , кДж/моль	$\Delta S$ , Дж/моль К
	$K_{278}$	$K_{298}$	$K_{315}$			
Цинк	0,01	0,031	0,056	9,5	33,34	-52,43
Кадмий	0,01	0,04	0,13	9,8	28,35	-50,81
Железо	0,05	0,10	0,17	7,9	49,53	-66,25
Медь	0,03	0,06	0,08	10,3	31,024	-46,74
Марганец	0,03	0,08	0,13	16,1	41,83	0,41
Молибден	0,01	0,05	0,06	15,6	41,82	-3,66
Свинец	0,03	0,05	0,11	7,3	42,76	71,13
Бензол	0,01	0,02	0,04	2,9	14,29	106,20
Мазут	0,12	0,05	0,03	12,5	22,84	-231,30
Фенол	0,02	0,04	0,06	7,7	24,14	67,80

В чисто прикладном плане изучение кинетики адсорбции дает возможность судить о времени, при котором практически все сорбируемое вещество будет поглощено сорбентом [16, 17]. Вначале процесс сорбции идет быстро, по крайней мере за 20...40 с половина сорбата переходит на загрузку. За время 2...8 мин в воде практически не остается сорбата, он весь переходит на загрузку и прочно удерживается на нем.

Таким образом, получен новый сорбционно-фильтрующий материал на основе опок Астраханской области, в состав которого входит активный уголь БАУ-4, портландцемент 500. Данную фильтрующую загрузку можно применять в различных технологических установках на предприятиях для получения оборотной воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Москвичева Е. В. Ресурсосберегающие процессы как основа экологически чистых технологий гальванического хромирования из водных и неводных сред: дис... д-ра техн. наук. М., 1998. 358 с.
2. Способ повышения надежности функционирования систем водного хозяйства / Ю. И. Олянский, А. А. Болеев, А. А. Сахарова, Д. О. Игнаткина, П. Ф. Юрин, А. А. Войтюк // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). Ст. 39. URL: <http://vestnik.vgasu.ru/>
3. Effects of particle size anal background natural organics on the adsorption efficiency of GAC / N. Naum Assam, Z. Snoeyink Vernon, H. Zee Chung, R. Kves // J. AWWA. 1990. 82, № 1. P. 65—72.
4. Jifford J. S., George D. V., Adams V. D. Sunergetic effects of potassinu permanganate and pac in direct filtration systems for thm precursor removal // Water Res. 1989. 23, № 10. P. 1305—1312.
5. Москвичева А. В. Разработка малоотходной технологии очистки сточных вод заводов железобетонных изделий от эмульгированных органических загрязнений: автореф... дис. канд. тех. наук. Волгоград, 2010. 133 с.
6. Lykins B. W., Clark R. M., Adams J. Q. Granular activated carbon for co-trolling THM's // Jbid. 1988. 80, № 5. P. 85—92.
7. Regunathan P., Beauman W. H., Kreusch E. G. Efficiency of point of -use treatment devices. // Jbid. 1983. 75, № 1. P. 42—50.
8. Hill William B. The activity of carbon // Brit. Water Supply. 1972. № 11. P. 27—29.
9. К вопросу о системе качества воды / Т. Ф. Рыльцева, В. В. Рыльцев, А. В. Приходченко, А. А. Болеев, Р. В. Потоловский // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 26(45). С. 138—144.
10. Soucasne nazory na chemickou structure uhli / P. Vavrecka, J. Zang, G. Shebor, J. Nemu // Uhli. 1978. 26, № 9. S. 397—402.
11. Suffet I. H. National Academy of sciences reportan evaluation of activated carbon for drinking water treatment // 1. Envir. Pathol. Toxicon and Oncol. 1987. 7, № 7/8. P. 9—32.
12. Водосбережение в коммунальных системах на примере г. Волгограда / Е. В. Москвичева, А. Ю. Комаров, В. А. Романов, Н. А. Сахарова, А. А. Щелочкова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2010. Вып. 2(12). Ст. 5. URL: <http://vestnik.vgasu.ru/>
13. Опои Астраханской области / Н. М. Алыков, Н. Н. Алыков, Т. В. Алыкова, Н. И. Воронин, Е. Н. Алыков / под ред. Н. М. Алыкова. Астрахань: Изд-во Астраханского гос. ун-та, 2005.
14. Способ получения сорбента / А. Р. Салахутдинова, Н. М. Алыков, Т. В. Алыков, Е. В. Шачнева. Пат. РФ. 2489204 С1. Заявл. 30.03.2012. Опубл. 10.08.2012. Бюл. № 22.
15. Разработка комплекса безреагентной очистки воды / В. А. Хан, М. И. Лернер, Ф. Д. Мышкин, А. А. Цхе // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 86(02).
16. Speitel G. E. I., Iurakhia Mukesh, Zu Chin-Ien. GAC columns 1 // Amer. Water Works Assoc. 1989. 81, № 4. P. 168—176.
17. Zamond T. G., Fruce C. R. Size of carbon black micropores deduced from nitrogen and dye adsorption // J. Coll and Intert. Sci. 1969. V. 131. № 1. P. 104—109.

© Москвичева Е. В., Салахутдинова А. Р., Игнаткина Д. О.,  
Сидякин П. А., Щитов Д. В., Ибрагимова З. К., 2015

Поступила в редакцию  
в феврале 2015 г.

Ссылка для цитирования:

Современные системы оборотного водоснабжения промышленного предприятия / Е. В. Москвичева, А. Р. Салахутдинова, Д. О. Игнаткина, П. А. Сидякин, Д. В. Щитов, З. К. Ибрагимова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 151—163.

Об авторах:

**Москвичева Елена Викторовна** — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [viv.vgasu@mail.ru](mailto:viv.vgasu@mail.ru)

**Салахутдинова Алина Раязовна** — ассистент, Астраханский инженерно-строительный университет, Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 18 [sancer-87@mail.ru](mailto:sancer-87@mail.ru)

**Игнаткина Дарья Олеговна** — аспирант, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Сидякин Павел Алексеевич** — канд. техн. наук, доц., проф. кафедры строительства, Северо-Кавказский федеральный университет. Российская Федерация, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, [sidyakin\\_74@mail.ru](mailto:sidyakin_74@mail.ru)

**Щитов Дмитрий Викторович** — канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой строительства, Северо-Кавказский федеральный университет. Российская Федерация, 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, [skfu.pgs@gmail.com](mailto:skfu.pgs@gmail.com)

**Ибрагимова Зульфира Кайтарбековна** — аспирант, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**E. V. Moskvicheva, A. R. Salakhutdinova, D. O. Ignatkina, P. A. Sidyakin,  
D. V. Shchitov, Z. K. Ibragimova**

## MODERN WATER RECYCLING SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISE

The presence of circulating water management system is one of the most important indicators of the technical level of an industrial enterprises. The introduction of water recycling systems can dramatically reduce the amount of wastewater discharged and to reduce the need for fresh water, which gives a great economic and ecological effect. The article presents a study of the new sorption-filtering material (SFM), which should improve the utilization of water resources in a number of industries.

Physical and mechanical properties of SFM were analyzed. The studied parameters are interrelated and allow to forecast the change in the strength characteristics of adsorbents and sorption-filtering materials in the processes of their long-term operation. Properties of filtering loading meet the requirements of materials suitable for industrial use. Hygienic assessment of loading was conducted. The studied material does not deteriorate the organoleptic properties of water (lack of foreign smell and taste of aqueous extracts), practically does not change the value of color as compared with the control. Sorption properties are studied in static and kinetic mode as well. Sorption of the investigated substances (apart oil) increases with increase of temperature. During 2...8 minutes in water sorbate practically disappear, it goes to the loading and firmly held therein.

This filtering loading can be used in various processing systems in enterprises to produce recycled water.

**Key words:** enterprises, circulating water system, sorption treatment, sorption-filtering material, static of sorption, kinetics of sorption.

## REFERENCES

1. Moskvicheva E. V. *Resursosbergayushchie protsessy kak osnova ekologicheskii chistyykh tekhnologii gal'vanicheskogo khromirovaniya iz vodnykh i nevodnykh sred* [Resource-saving processes as basis of environmentally friendly technologies of galvanic chrome plating from water and non-aqueous environments. Dr. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 1998. 358 p.
2. Olyanskii Yu. I., Boleev A. A., Sakharova A. A., Ignatkina D. O., Yurin P. F., Voityuk A. A. [The way to increase reliability of water carriage system functioning]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2013, no. 2(27), paper 39. Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
3. Najm Issam N., Snoeyink Vernon L., Suidan Makram T., Lee Chung H., Richard Yves. Effect of Particle Size and Background Natural Organics on the Adsorption Efficiency of PAC. *J. AWWA*, 1990, 82(1), pp. 65—72.
4. Jifford J. S., George D. V., Adams V. D. Sunergetic effects of potassinu permanganate and pac in direct filtration systems for thm precursor removal. *Water Res.*, 1989, 23(10), pp. 1305—1312.
5. Moskvicheva A. V. *Razrabotka malootkhodnoi tekhnologii ochistki stochnykh vod zavodov zhelezobetonnykh izdelii ot emul'girovannykh organicheskikh zagryaznenii* [Development of low-waste technology of sewage treatment of plants of reinforced concrete products from emulsified organic pollution. Cand. Eng. Sci. Diss.]. Volgograd, 2010. 133 p.

6. Lykins B. W., Clark R. M., Adams J. Q. Granular activated carbon for co-trolling THM's. *Jbid*, 1988, 80(5), pp. 85—92.
7. Regunathan P., Beaman W. H., Kreusch E. G. Efficiency of point of -use treatment devices.. *Jbid*, 1983, 75(1), pp. 42—50.
8. Hill William B. The activity of carbon. *Brit. Water Supply*, 1972, no. 11, pp. 27—29.
9. Ryltseva T. F., Ryltsev V. V., Prikhodchenko A. V., Boleev A. A., Potolovskii R. V. [On water quality 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], 2012, no. 26(45), pp. 138—144.
10. Vavrecka P., Zang J., Shebor G., Nemu J. Soucasne nazory na chemickou structure uhli. *Uhli*, 1978, 26(9), pp. 397—402.
11. Suffet I. H. National Academy of sciences report an evaluation of activated carbon for drinking water treatment. 1. *Envir. Pathol. Toxicol. and Oncol*, 1987, 7(7/8), pp. 9—32.
12. Moskvicheva Yu. V., Komarov A. Yu., Romanov V. A., Sakharova N. A., Shchelochkova A. A. [Water saving in utilities on the example of Volgograd]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2010, no. 2(12), paper 5. Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
13. Alykov N. M., Alykov N. N., Alykova T. V., Voronin N. I., Alykov E. N. *Opoki Astrakhan-skoi oblasti* [Molding of Astrakhan Oblast]. Astrakhan, Publishing house of the Astrakhan State University, 2005.
14. Salakhutdinova A. R., Alykov N. M., Alykov T. V., Shachneva E. V. *Sposob polucheniya sorbenta* [Way of receiving sorbent]. Pat. RF, no. 2489204 C1.
15. Khan V. A., Lerner M. I., Myshkin F. D., Tskhe A. A. [Development of the nonchemical water purificationsystem]. *Scientific Journal of KubSAU*, 2013, 86(02). URL: <http://ej.kubagro.ru/>
16. Speitel G. E. I., Iurakhia Mukesh, Zu Chin-Ien. GAC columns 1. *Amer. Water Works Assoc.*, 1989, 81(4), pp. 168—176.
17. Zamond T. G., Fruce C. R. Size of carbon black micropores deduced from nitrogen and dye adsorption. *J. Coll and Intert. Sci.*, 1969, 131(1), pp. 104—109.

*For citation:*

Moskvicheva E. V., Salakhutdinova A. R., Ignatkina D. O., Sidyakin P. A., Shchitov D. V., Ibragimova Z. K. [Modern water recycling systems of industrial enterprise]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 151—163. (In Russ.).

*About authors:*

**Moskvicheva Elena Viktorovna** — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Water Supply and Disposal Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Salakhutdinova Alina Rayazovna** — Assistant, Astrakhan University of Civil Engineering. 18, Tatishcheva St, Astrakhan, 414056, Russian Federation, [cancer-87@mail.ru](mailto:cancer-87@mail.ru)

**Ignatkina Dar'ya Olegovna** — Postgraduate student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

**Sidyakin Pavel Alekseevich** — Candidate of Engineering Science, Docent, Professor of Construction Department, North-Caucasian Federal University. 1, Pushkina St., Stavropol, 355009, Russian Federation, [sidyakin\\_74@mail.ru](mailto:sidyakin_74@mail.ru)

**Shchitov Dmitrii Viktorovich** — Candidate of Engineering Science, Docent, Head of Construction Department, North-Caucasian Federal University. 1, Pushkina St., Stavropol, 355009, Russian Federation, [skfu.pgs@gmail.com](mailto:skfu.pgs@gmail.com)

**Ibragimova Zul'fira Kaitarbekovna** — Postgraduate student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)

УДК 697.94

**Н. А. Королева<sup>а</sup>, М. Г. Тарабанов<sup>б</sup>, В. М. Фокин<sup>а</sup>**

<sup>а</sup> *Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

<sup>б</sup> *НИЦ «Инвент»*

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОТОРНОГО ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА В КАЧЕСТВЕ МЕСТНОГО АДИАБАТНОГО УВЛАЖНИТЕЛЯ**

В статье описана методика и представлены результаты использования адиабатного увлажнителя в системе кондиционирования воздуха.

**Ключевые слова:** адиабатный увлажнитель, система кондиционирования воздуха, роторный пластинчатый теплообменник (РПТМ).

В современных общественных, административных зданиях на сегодняшний день системы вентиляции и кондиционирования воздуха являются основными потребителями электроэнергии и потребителями теплоты в теплый и холодный периоды года. Особенно актуальной является задача снижения энергопотребления в системах вентиляции и кондиционирования воздуха в холодный период года [1—4].

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха можно разделить на несколько основных групп: центральные приточные, с рециркуляцией, с местными доводчиками [5—10].

1. Центральные системы кондиционирования воздуха с первой рециркуляцией применяются, если расчетный воздухообмен превышает необходимый минимальный объем наружного воздуха, а требования санитарных норм разрешают многократное использование одного и того же воздуха, забираемого из обслуживаемого помещения [11—13].

2. Центральные приточные системы кондиционирования воздуха работают полностью на наружном воздухе [14], что позволяет обеспечить санитарную норму наружного воздуха, компенсацию местной вытяжки и ассимиляцию тепло- и влаговыделений. Применяются приточные системы для обслуживания больших помещений в производственных и общественных зданиях, если рециркуляция воздуха не допускается по санитарным нормам.

3. Центральные системы кондиционирования воздуха с местными доводчиками, в качестве которых используют VRV, сплит-системы, фэнкойлы, эжекционные доводчики и т. д. [15, 16]. В последние годы в многофункциональных зданиях широко применяют СКВ с центральными кондиционерами, подающими в помещение некоторый расчетный объем наружного воздуха, и с доводчиками охладителями.

Во многих случаях системы кондиционирования воздуха с центральными кондиционерами и доводчиками — фэнкойлами охладителями наиболее эффективны и, конечно, имеют право на существование. В некоторых случаях схемы с фэнкойлами ничем не обоснованы и считаются просто «модными» и поэтому популярными.

Рассмотрим на примере системы кондиционирования воздуха с применением фэнкойлов, работающих в холодный период года в административных, общественных помещениях, где необходимо бороться с теплоизбытками.

В составе центрального кондиционера в схеме системы кондиционирования воздуха с фэнкойлами предусматривается:

- очистка воздуха в фильтрах;
- нагрев воздуха в холодный период года;
- охлаждение воздуха в теплый период года;
- увлажнение воздуха в холодный период года;
- вентилятор.

В процессе обработки воздуха в системах кондиционирования воздуха с фэнкойлами [15] в холодный период года сначала наружный воздух нагревается от минусовой температуры в центральном кондиционере почти до 30 °С, затем адиабатически увлажняется, и после этого подается в помещение с параметрами, соответствующими санитарной норме. Одновременно внутренний воздух из помещения забирается, в фэнкойле охлаждается до параметров воздуха из фэнкойла. После этого в помещении смешивается воздух из фэнкойла и воздух из центрального кондиционера и затем поступает в помещение с определенным угловым коэффициентом  $\varepsilon$ , кДж/кг, рассчитываемым по формуле

$$\varepsilon = 3,6 \frac{Q_{\text{изб}}}{W}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{изб}}$  — расчетные полные тепlopоступления в помещении, Вт;  $W$  — влаговыведения в помещении, кг/ч.

В схеме системы кондиционирования воздуха с фэнкойлами для поддержания в помещении оптимальных параметров внутреннего воздуха в холодный период года, например 40 % относительной влажности и температуры 22 °С, требуется огромный расход теплоты. Причем сначала нужно нагреть наружный воздух, а потом, прежде чем подать в помещение, охладить, т. е. в адиабатном увлажнителе воздух в любом случае охлаждается. В фэнкойлах воздух увлажнить нельзя, значит, чтобы поддерживать относительную влажность в помещении, необходимо увлажнять его в увлажнителе центрального кондиционера.

В холодный период года фэнкойлы вынуждены работать на охлаждение воздуха. Если не охлаждать, то может не хватить наружного воздуха для борьбы с теплоизбытками. В системе кондиционирования воздуха с фэнкойлами необходимо охлаждать воздух, подавать в фэнкойл хладоноситель. Для этого необходимо включать холодильную машину, когда на улице минусовая температура. Для применения холодильной машины в холодный период года используется драйкулер (сухой охладитель). Помимо затрат теплоты при нагревании наружного воздуха, здесь для охлаждения воздуха в фэнкойле предусматривается драйкулер. В драйкулер следует подавать раствор этиленгликоля, для того чтобы драйкулер не замерз зимой. Раствор этиленгликоля в фэнкойл подавать нельзя, для этого предусматривается промежуточный пластинчатый теплообменник. Получается огромный холодильный контур: драйкулер, теплообменник, насосы и второй водяной контур со своим насосом, который подает на фэнкойл хладоноситель.

Системы кондиционирования воздуха с фэнкойлами в холодный период года [15, 16] — очень энергоемкое и дорогое решение.

Предлагается в таких случаях для поддержания требуемых параметров внутреннего воздуха применять в качестве местного адиабатного увлажнителя в системе кондиционирования воздуха роторный пластинчатый тепломасообменник (РПТМ) [17, 18].

Применять роторный пластинчатый тепломасообменник (РПТМ) [19] в качестве местного адиабатного увлажнителя в системе кондиционирования воздуха допускается там, где разрешается использование одного и того же воздуха, забираемого из помещения.

В настоящей статье рассмотрена схема системы кондиционирования воздуха с применением РПТМ в качестве местного доводчика [20].

Конструкция роторного пластинчатого теплообменника РПТМ представлена на рис. 1. Устройство РПТМ имеет корпус 1, поддон 2, входной патрубок 3, выходной воздушный патрубок 4 и размещенный в корпусе вращающийся по ходу воздуха ротор, собранный из параллельно установленных гладких дисков 5, закрепленных на горизонтальном валу 6 с зазором с помощью шайб 7. Ротор вращается через редуктор 8 с помощью электродвигателя 9. Для предотвращения слипания дисков и сохранения необходимого зазора между ними по периметру ротора установлены шпильки 13 с шайбами такой же толщины, что и шайбы 7. Уровень воды в поддоне РПТМ поддерживается с помощью вертикальных перегородок 10, подпитка испаряющейся воды и ее подача и удаление осуществляется через патрубки 12 и 11. Для уменьшения количества необработанного воздуха в верхней зоне корпуса над ротором установлены подвижный 14 и неподвижный 15 козырьки. Подвижный козырек позволяет регулировать глубину обработки воздуха путем обвода. Для предотвращения срыва и выноса капель с поверхности воды и в зазорах между боковыми стенками корпуса и крайними дисками в поддоне установлены горизонтальные пластины 16, которые примыкают к кромкам дисков, а также передние 17 и задние 18 боковые козырьки, изогнутые по диаметру дисков, нижняя кромка которых опущена в воду.

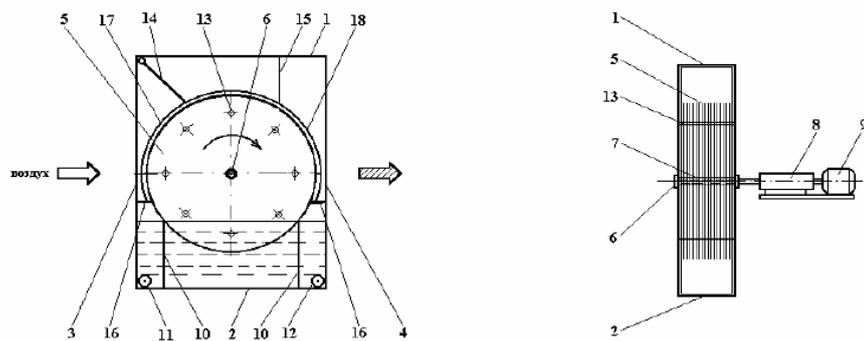


Рис. 1. Принципиальная схема роторного пластинчатого тепломасообменника (РПТМ): 1 — корпус; 2 — поддон; 3 — входной патрубок; 4 — выходной патрубок; 5 — диски; 6 — вал; 7 — шайба; 8 — редуктор; 9 — электродвигатель; 10 — вертикальные перегородки; 11, 12 — патрубки; 13 — шпильки; 14 — подвижный козырек; 15 — неподвижный козырек; 16 — горизонтальные пластины; 17 — передний козырек; 18 — задний козырек

Работа роторного пластинчатого теплообменника (РПТМ) заключается в следующем. Воздух поступает через входной патрубок в корпус к вращающимся дискам и проходит в щелевых каналах между дисками к выходному патрубку. При вращении дисков их нижняя часть находится в поддоне с водой, и при выходе диска в поток воздуха за счет сил поверхностного натяжения на поверхности диска образуется пленка воды, которая размывается воздухом по всей поверхности диска, и с этой пленкой взаимодействует обрабатываемый воздух.

Предлагаемая схема обработки воздуха в системе кондиционирования воздуха с использованием в качестве местного доводчика РПТМ позволяет полностью отказаться от искусственного холода в зимний период и значительно уменьшить энергетические и капитальные затраты.

В составе центрального кондиционера в системе кондиционирования воздуха с местным доводчиком РПТМ необходимо предусмотреть:

- очистку воздуха в фильтрах;
- нагрев воздуха в холодный период года;
- охлаждение воздуха в теплый период года;
- вентилятор.

Из состава центрального кондиционера в системе кондиционирования воздуха с применением РПТМ видно, что в нем нет увлажнения наружного воздуха. В схеме системы кондиционирования воздуха с местным адиабатным увлажнителем РПТМ в качестве доводчика предлагается использовать адиабатное увлажнение внутреннего воздуха, поэтому в центральном кондиционере отсутствует увлажнитель воздуха.

Процесс обработки воздуха в системе кондиционирования с применением в качестве местного доводчика роторного пластинчатого теплообменника представлен на  $J-d$ -диаграмме (рис. 2).

Принимаются требуемые параметры внутреннего воздуха  $t_B$ . Через  $t_B$  проводят луч процесса адиабатного увлажнения до пересечения с  $\phi = 100\%$ .

На этом луче находится точка  $П_y$ , характеризующая параметры приточного воздуха на выходе из увлажнителя. Температура приточного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ , на выходе из увлажнителя определяется по формуле

$$t_{ny} = t_B - E_a(t_B - t_M), \quad (2)$$

где  $t_B$  — температура внутреннего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_M$  — температура мокрого термометра,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $E_a$  — коэффициент эффективности адиабатного увлажнителя.

На  $J-d$ -диаграмму (рис. 2) наносится точка  $П$  с параметрами приточного воздуха, температурой  $t_n$ , которую рекомендуется принимать на 8 градусов ниже температуры внутреннего воздуха.

Через точки  $П_y$  и  $П$  проводится прямая до пересечения с линией влагосодержания наружного воздуха  $d_n$ , и получается точка  $П_n$ , которой соответствуют параметры приточного наружного воздуха на выходе из центрального кондиционера.

Рассматривая схему системы кондиционирования воздуха с применением местных адиабатных увлажнителей в качестве доводчиков и используя внутренний воздух для адиабатного увлажнения и охлаждения, получаем экономию теплоты при нагревании приточного воздуха в центральном кондиционере. Сразу на 30 % уменьшается расход теплоты, так как уже не нужно

перегреть наружный воздух, чтобы его потом увлажнить и охладить. Другая экономия — это то, что не нужны драйкулер, теплообменник, насосы. Образуется огромный выигрыш на теплоте, на электроэнергии, потому что исчезают энергозатраты, связанные с зимним охлаждением.

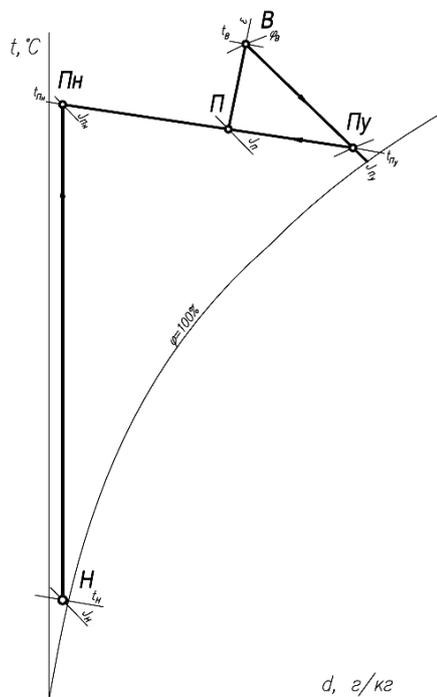


Рис. 2. Процесс обработки воздуха в холодный период года для систем кондиционирования воздуха с местным адиабатным увлажнителем РПТМ. Точка Н — параметры наружного воздуха; точка П<sub>н</sub> — параметры воздуха на выходе из центрального кондиционера; точка В — параметры внутреннего воздуха; точка П<sub>у</sub> — параметры воздуха на выходе из адиабатного увлажнителя РПТМ; точка П — параметры приточного воздуха в помещении

На рис. 2 рассмотрен случай при расчетных параметрах наружного воздуха. Недостатком системы кондиционирования воздуха с применением местного адиабатного увлажнителя является то, что при смещении точки Н (параметры наружного воздуха) точка внутреннего воздуха тоже будет смещаться, поэтому нельзя будет поддерживать точные параметры внутреннего воздуха в помещении.

Получается, что при повышении температуры и влагосодержания наружного воздуха точка приточного воздуха П и следом за ней точка внутреннего воздуха В будут смещаться вверх и вправо.

На рис. 2 рассмотрен случай при расчетных параметрах наружного воздуха. Определение граничного состояния, т. е. определение параметров наружного воздуха, при которых понадобится включить фэнкойлы, и методика построения наружного воздуха, при которой возможна работа предложенной схемы, а также режим, требующий включать холодильную машину, выполняется построением на  $J-d$ -диаграмме. Построение процесса граничного состояния наружного воздуха представлено на рис. 3.



Разработанная нами схема системы кондиционирования воздуха с использованием в качестве доводчиков местных адиабатных увлажнителей РПТМ позволит существенно снизить затраты на теплоту, отказаться от искусственного холода в зимний период и уменьшить энергетические затраты.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Skaaret E. and Mathisen H. M.* Ventilation Effectiveness — A Guide to Efficient Ventilation // Proceedings of the 1983 ASHRAE Annual Meeting, June 26—30. Washington, DC: ASHRAE, Atlanta, GA, LBL. 1983. P. 38.
2. *Walker I. S., Mingee D. M., Brenner D., and Dickerhoff D. J.* Improving Air Handler Efficiency in Residential HVAC Applications. LBNL 53606. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA. 2003. P. 103
3. *Al-Farayedhi A. A., Gandhidasan P., Al-Mutuari M. A.* Evaluation of heat and mass transfer coefficients in a gauze-type structured packing air dehumidifier operating with liquid desiccant // Int. J. Refr. 2002. Pp. 106—111.
4. *Foster R. E. and Dijkstra E.* Evaporative Air-Conditioning Fundamentals: Environmental and Economic Benefits Worldwide // Applications for Natural Refrigerants '96, Refrigeration Science and Technology Proceedings. Pp. 121—126.
5. El Paso Electric Company, Life Cycle Cost Analyses: Evaporative Cooler vs. Refrigerated Air Conditioning. Volume I. El Paso, Texas, October, 1991. Pp. 92—94.
6. *Королева Н. А., Околелов А. В.* Применение схем кондиционирования в зданиях с использованием косвенного охлаждения // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы Всероссийской научно-технической конференции молодых исследователей (с международным участием), Волгоград, 21—26 апреля 2014 г. С. 153—155.
7. *Богословский В. Н., Кокорин О. Я., Петров Л. В.* Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. М. : Стройиздат, 1985. 367 с.
8. *Баркалов Б. В., Карпис Е. Е.* Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. М. : Стройиздат, 1982. 312 с.
9. *Кокорин О. Я.* Современные системы кондиционирования воздуха. М. : Физматлит, 2003. 272 с.
10. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Справочное пособие / под ред. Л. Д. Богуславского и В. И. Ливчака. М. : Стройиздат, 1990. 624 с.
11. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1993 ASHRAE. P. 437.
12. СМНС. 1992. “Barriers to the use of Energy Efficient Residential Ventilation.” Research Division, Canada Mortgage and Housing Corporation. Ottawa, Canada. Pp. 52—56.
13. *Табуницков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В.* Энергоэффективные здания. М. : АВОК-ПРЕСС, 2004. 196 с.
14. *Sherman M.* ASHRAE's First Residential Ventilation Standard // Proc. Buildings IX Conference. Clearwater FL. LBNL-54331. 2004. P. 252.
15. *Тарабанов М. Г.* Расчет систем кондиционирования воздуха с центральными кондиционерами и фэнкойлами // АВОК. 2005. № 2. С. 24—31.
16. *Тарабанов М. Г., Копышков А. В., Королева Н. А.* Энергоэффективные системы вентиляции и кондиционирования воздуха крупного торгового центра // АВОК. 2013. № 1. С. 24—29.
17. *Тарабанов М. Г.* Новая энергоэффективная схема СКВ для офисных и многофункциональных зданий // АВОК. 2010. № 5. С. 22—34.
18. *Хомутский Ю.* Применение адиабатного увлажнения для охлаждения воздуха // Мир климата. № 73. Июль 2012. С. 104—112.
19. А. с. SU №1216576. Устройство для тепловлажностной обработки воздуха.
20. *Тарабанов М. Г.* Увлажнение воздуха в системах вентиляции и кондиционирования. Инженерные системы // АВОК-Северо-Запад. 2009. № 3. С. 41—47.
21. Стандарт АВОК Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. СТО НП «АВОК» 2.1-2008. С. 16.

© Королева Н. А., Тарабанов М. Г., Фокин В. М., 2015

Поступила в редакцию  
в ноябре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Королева Н. А., Тарабанов М. Г., Фокин В. М. Совершенствование систем кондиционирования воздуха с использованием роторного пластинчатого теплообменника в качестве местного адиабатного увлажнителя // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 164—172.

Об авторах:

**Королева Наталья Анатольевна** — аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, Koroleva\_80@inbox.ru

**Тарабанов Михаил Григорьевич** — канд. техн. наук, доц., директор НИЦ «Инвент». Российская Федерация, 400105, г. Волгоград, ул. Штеменко, 36, [M.tarabanov@mai.ru](mailto:M.tarabanov@mai.ru)

**Фокин Владимир Михайлович** — д-р техн. наук, проф., заведующий каф. энергоснабжения и теплотехники, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

**N. A. Koroleva, M. G. Tarabanov, V. M. Fokin**

## IMPROVEMENT OF AIR CONDITIONING SYSTEMS USING ROTARY PLATE HEAT EXCHANGER AS LOCAL ADIABATIC HUMIDIFIER

The paper describes the methodology and presents the results of the use of adiabatic humidifier in air conditioning system.

**Key words:** adiabatic humidifier, air conditioning system, rotary plate heat and mass exchanger (RPHME).

### REFERENCES

1. Skaaret E. and Mathisen H. M. Ventilation Effectiveness — A Guide to Efficient Ventilation. *Proc. of the 1983 ASHRAE Annual Meeting*, June 26—30. Washington, DC, ASHRAE, Atlanta, GA, LBL. 1983. 38 p.
2. Walker I. S., Mingee D. M., Brenner D., and Dickerhoff D. J. *Improving Air Handler Efficiency in Residential HVAC Applications. LBNL 53606*. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA. 2003. P. 103.
3. Al-Farayedhi A. A., Gandhidasan P., Al-Mutuari M. A. Evaluation of heat and mass transfer coefficients in a gauze-type structured packing air dehumidifier operating with liquid desiccant. *Int. J. Refr.*, 2002, pp. 106—111.
4. Foster R. E. and Dijkstra E. *Evaporative Air-Conditioning Fundamentals: Environmental and Economic Benefits Worldwide. Applications for Natural Refrigerants '96, Refrigeration Science and Technology Proceedings*. Pp. 121—126.
5. El Paso Electric Company, *Life Cycle Cost Analyses: Evaporative Cooler vs. Refrigerated Air Conditioning. Volume I. El Paso, Texas, October, 1991*. Pp. 92—94.
6. Koroleva N. A., Okolelov A. V. [Application of conditioning schemes in buildings with the use of indirect cooling]. Aktual'nye problemy stroitel'stva, ZhKKh i tekhnosfernoi bezopasnosti: materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh issledovatelei, Volgograd, 21—26 aprelya 2014 g. [Actual problems of construction of housing and communal services and technosphere safety. Proc. of All-Russ. Conf., 21—26 April 2014 g.]. Volgograd, 2014, pp. 153—155.
7. Bogoslovskii V. N., Kokorin O. Ya., Petrov L. V. *Konditsionirovanie vozdukha i kholodosnabzhenie* [Air conditioning and cold supply]. Moscow, Stroizdat, 1985. 367 p.
8. Barkalov B. V., Karpis E. E. *Konditsionirovanie vozdukha v promyshlennykh, obshchestvennykh i zhilykh zdaniyakh* [Air conditioning in industrial, public and residential buildings]. Moscow, Stroizdat, 1982. 312 p.
9. Kokorin O. Ya. *Sovremennye sistemy konditsionirovaniya vozdukha* [Modern air conditioning systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 272 p.

10. Boguslavskii L. D. and Livchak V. I. (ed.). *Energoberezhenie v sistemakh teplosnabzheniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh. Spravochnoe posobie* [Energy saving in the systems of heat supply, ventilation and air conditioning. Reference book]. Moscow, Stroizdat, 1990. 624 p.
11. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 1993 ASHRAE. 437 p.
12. CMHC. 1992. "Barriers to the use of Energy Efficient Residential Ventilation". Research Division, Canada Mortgage and Housing Corporation. Ottawa, Canada. Pp. 52—56.
13. Tabunshchikov Yu. A., Brodach M. M., Shilkin N. V. *Energoeffektivnye zdaniya* [Power effective buildings]. Moscow, AHVACE -PRESS, 2004. 196 p.
14. Sherman M. ASHRAE's First Residential Ventilation Standard. *Proc. Buildings IX Conference*. Clearwater FL. LBNL-54331. 2004. P.252
15. Tarabanov M. G. [Calculation of air conditioning systems with the central conditioners and fancoils]. *AVOK* [Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics], 2005, no. 2, pp. 24—31.
16. Tarabanov M. G., Kopyshkov A. V., Koroleva N. A. [Energy Efficient Ventilation and Air Conditioning Systems in a Large Shopping Center]. *AVOK* [Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics], 2013, no. 1, pp. 24—29.
17. Tarabanov M. G. [New power effective HVAC scheme for office and multipurpose buildings]. *AVOK* [Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics], 2010, no. 5, pp. 22—34.
18. Khomutskii Yu. [Use of adiabatic moistening for air cooling]. *Mir klimata* [World of climate], no. 73, july, 2012, pp. 104—112.
19. A. c. SU No. 1216576. Device for air heat and moist processing.
20. Tarabanov M. G. [Air moistening in ventilation and conditioning systems. Engineering systems]. *AVOK-Severo-Zapad* [AHVACE -North-West], 2009, no. 3, pp. 41—47.
21. *Standart AVOK Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Normy vozdukhoobmena. STO NP «AVOK» 2.1-2008* [AHVACE standard of Residential and public building. Norms of air exchange. CS NE "AHVACE" 2.1-2008], p. 16.

*For citation:*

Koroleva N. A., Tarabanov M. G., Fokin V. M. [Improvement of air conditioning systems using rotary plate heat exchanger as local adiabatic humidifier]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 164—172. (In Russ.).

*About authors:*

**Koroleva Natal'ya Anatol'evna** — Postgraduate student of Power Supply and Heat Engineering Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [Koroleva\\_80@inbox.ru](mailto:Koroleva_80@inbox.ru)

**Tarabanov Mikhail Grigor'evich** — Candidate of Engineering Science, Docent, the Director of "Invent" R&D. 36, Shtemenko St., Volgograd, 400105, Russian Federation, [M.tarabanov@mai.ru](mailto:M.tarabanov@mai.ru)

**Fokin Vladimir Mikhailovich** — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Power Supply and Heat Engineering Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 697.94

**Н. А. Королева, В. М. Фокин**

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА С ИСПАРИТЕЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ В СОВРЕМЕННЫХ ЗДАНИЯХ**

В статье описана методика построений и применения схем систем кондиционирования воздуха с испарительным охлаждением в современных общественных зданиях.

**Ключевые слова:** система кондиционирования воздуха, испарительное охлаждение, косвенное испарительное охлаждение.

Основными потребителями электроэнергии и основными потребителями теплоты в теплый и холодный периоды года в новых и современных общественных зданиях являются системы вентиляции и кондиционирования воздуха. При снижении энергопотребления в системах вентиляции и кондиционирования воздуха при проектировании современных административных и общественных зданий [1—4] следует выделить два момента:

снижение начальной мощности (на стадии получения технических условий);

сокращение эксплуатационных затрат, это особенно важно для арендаторов и собственников объектов.

Существует множество различных мероприятий по снижению энергозатрат в системах кондиционирования воздуха [5—8], но на практике выбор энергоэффективных решений очень сложен.

В статье описаны некоторые энергоэффективные схемы систем кондиционирования воздуха, а именно системы кондиционирования воздуха с испарительным охлаждением, которые используются в жилых и общественных зданиях, производственных помещениях, системах обработки воздуха для объектов энергетики [9].

Для осуществления процессов испарительного охлаждения используются форсуночные камеры, пленочные, насадочные и пенные аппараты.

Системы кондиционирования воздуха с прямым испарительным охлаждением являются наиболее экономичным способом охлаждения воздуха, потому что предполагают применение стандартного оборудования без использования источников искусственного холода. Энергозатраты сводятся к перемещению воздуха и рециркуляционной воды в адиабатических увлажнителях, установленных в центральном кондиционере [10,11].

Схема системы кондиционирования воздуха с прямым испарительным охлаждением приточного воздуха показана на рис. 1.

Преимущества систем кондиционирования воздуха с прямым испарительным охлаждением:

минимальные затраты на обслуживание при эксплуатации;

конструктивная простота и надежность.

Недостатки прямых испарительных систем кондиционирования воздуха:

исключение рециркуляции в обслуживаемом помещении;

невозможность поддержания параметров приточного воздуха;

зависимость от внешних климатических условий.

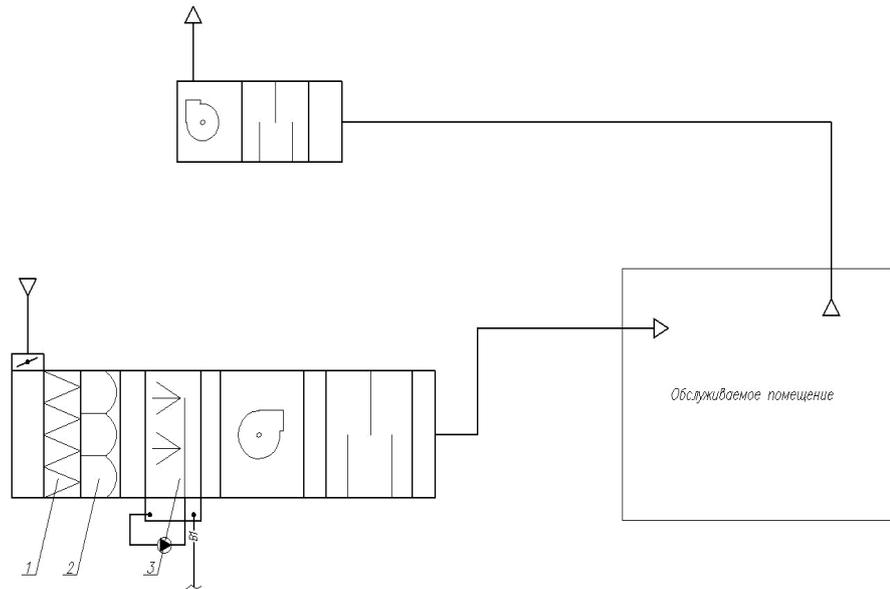


Рис. 1. Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха с прямым испарительным охлаждением: 1, 2 — фильтры грубой и тонкой очистки; 3 — увлажнитель воздуха

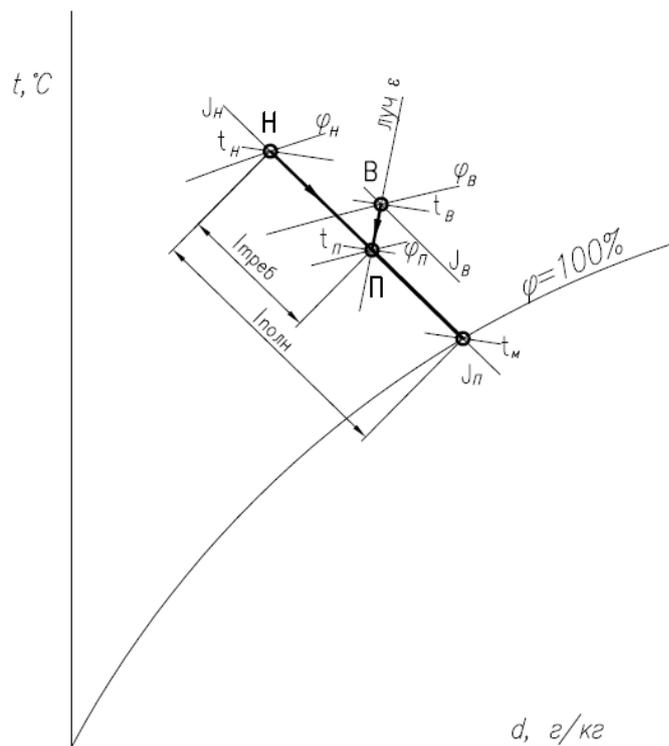


Рис. 2. Процесс обработки воздуха в системах кондиционирования воздуха с прямым испарительным охлаждением

Применение СКВ с испарительным охлаждением ограничивается климатическими зонами с сухим климатом. При использовании адиабатического увлажнения (охлаждения) в центральных кондиционерах необходимо использовать воду питьевого качества. Расчет систем кондиционирования воздуха с прямым испарительным охлаждением не отличается от расчета прямой системы кондиционирования с поверхностными воздухоохладителями. Методика расчета систем кондиционирования воздуха [12] с прямым испарительным охлаждением и метод построения процесса испарительного охлаждения на  $J-d$ -диаграмме приведен на рис. 2.

Для методики расчета систем кондиционирования воздуха с испарительным охлаждением необходимы следующие исходные данные:

расчетные тепло- и влагоизбытки обслуживаемого помещения;

требуемые параметры внутреннего и наружного воздуха в теплый период года.

На  $J-d$ -диаграмме (рис. 2) наносятся точки внутреннего  $B$  и наружного  $H$  воздуха. Из точки внутреннего воздуха строится луч  $\epsilon$ , кДж/кг, процесса ассимиляции тепловлагоизбытков. Из точки наружного воздуха  $H$  проводится луч адиабатического охлаждения воздуха в испарительном аппарате по температуре мокрого термометра  $t_m = \text{const}$ . Находится точка пересечения лучей процессов ассимиляции тепловлагоизбытков с лучом адиабатического охлаждения воздуха, точка  $\Pi$ . Точка  $\Pi$  показывает параметры приточного воздуха, который необходимо подавать для ассимиляции тепловлагоизбытков.

По соотношению отрезков  $l_{\text{полн}}$  и  $l_{\text{треб}}$  определяется требуемый коэффициент адиабатической эффективности увлажнителя по формуле:

$$E_{\text{тр}} = \frac{l_{\text{полн}}}{l_{\text{треб}}}. \quad (1)$$

На основании расхода воздуха, требуемого для поддержания параметров воздушной среды, и коэффициента адиабатической эффективности, определенного по формуле (1), осуществляется подбор аппарата для увлажнения воздуха. Подбор осуществляется по расчетным программам заводов-производителей оборудования. В соответствии с типом увлажнителей, определенных по программам завода-изготовителя, выбирается метод регулирования температуры приточного воздуха при изменении параметров наружного воздуха. Регулирование следует осуществлять:

изменением расхода воздуха, подаваемого приточной установкой;

переходом на частичную рециркуляцию;

изменением расхода воды, подаваемой на увлажнитель;

догревом приточного воздуха в воздухонагревателе второго подогрева.

Системы кондиционирования воздуха с испарительным охлаждением применяются на объектах, не требующих точного поддержания тепловлажностных параметров. Обычно это объекты различных отраслей промышленности, где при высокой теплонапряженности помещений необходим дешевый способ охлаждения внутреннего воздуха. Одно из основных устройств местной приточной вентиляции — воздушное душирование постоянных рабочих мест [13, 14].

Систему кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением [5, 6] рекомендуется применять в случаях, когда параметры внут-

ренного воздуха невозможно получить прямым испарительным охлаждением, увеличивающим влагосодержание приточного воздуха. Охлаждение приточного воздуха в этом случае осуществляется в теплообменном аппарате рекуперативного либо регенеративного типа, контактирующего со вспомогательным потоком воздуха, охлаждаемым испарительным охлаждением [15, 17].

Схемы систем кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением с применением рекуперативного и регенеративного типов теплообменников показаны на рис. 3, 4, а схема с применением промежуточного теплоносителя — на рис. 5.

Системы кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением применяют, если требуется подавать приточный воздух без осушки.

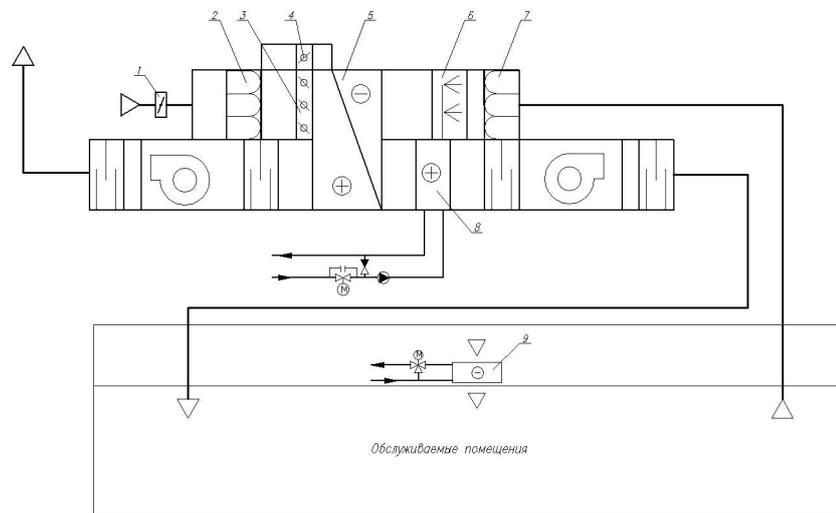


Рис. 3. Схема системы кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением с рекуперативным теплообменником «воздух — воздух»: 1 — клапан наружного воздуха; 2 — воздушный фильтр (приточный воздух); 3, 4 — клапаны обводного канала; 5 — пластинчатый теплообменник «воздух — воздух»; 6 — адiabатический увлажнитель (вытяжной воздух); 7 — воздушный фильтр (вытяжной воздух); 8 — воздухонагреватель (приточный воздух); 9 — местный доводчик

Поддержание нормируемых параметров внутренней среды при этом осуществляется местными доводчиками. Расход приточного воздуха определяется по санитарным нормам либо по воздушному балансу помещений. В зависимости от санитарно-гигиенических требований по качеству приточного воздуха в качестве вспомогательного потока воздуха используется либо наружный, либо вытяжной воздух. Вытяжному воздуху при наличии местных доводчиков отдается предпочтение, так как он повышает энергетическую эффективность процесса. Наружный воздух в качестве вспомогательного потока воздуха используется в тех случаях, когда не допускается перетекания вытяжного воздуха в приточный через неплотности теплообменника-утилизатора. При невозможности получения требуемых параметров приточного воздуха с использованием в качестве вспомогательного потока наружного воздуха или при невозможности блокирования приточных и вытяжных установок следует применять схему с промежуточным теплоносителем (рис. 5).

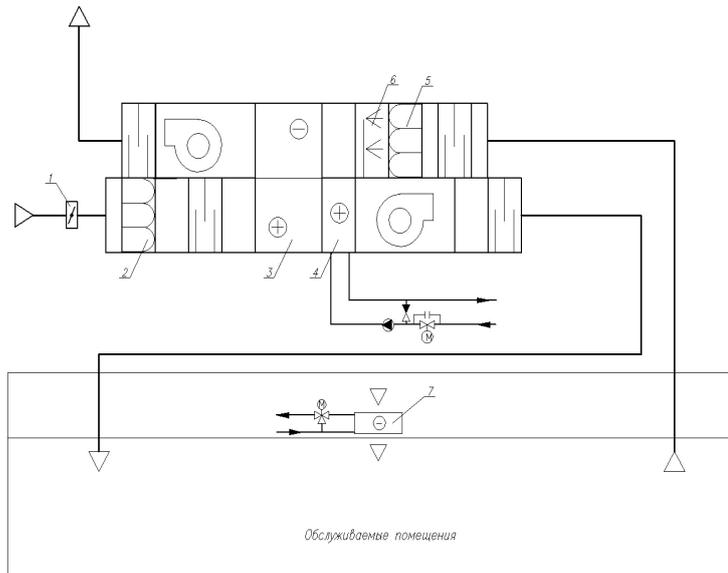


Рис. 4. Схема системы кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением с роторным регенеративным теплообменником: 1 — клапан наружного воздуха; 2 — воздушный фильтр (приточный воздух); 3 — роторный утилизатор; 4 — воздухонагреватель; 5 — воздушный фильтр (вытяжной воздух); 6 — адиабатический увлажнитель; 7 — местный доводчик

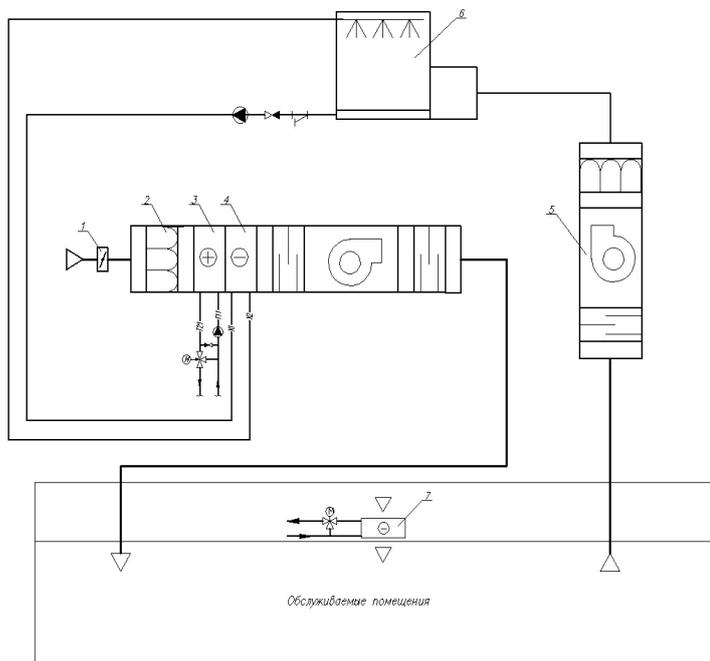


Рис. 5. Схема системы кондиционирования воздуха с косвенным испарительным охлаждением с промежуточным теплоносителем: 1 — клапан наружного воздуха; 2 — воздушный фильтр; 3 — воздухонагреватель I подогрева; 4 — теплообменник-утилизатор; 5 — вытяжная установка; 6 — вентиляторная градирня открытого типа; 7 — местный доводчик

В качестве вспомогательного потока вытяжного воздуха не допускается использование воздуха с ядовитыми, дурнопахнущими, взрывоопасными примесями, а также со значительным содержанием взвешенных частиц, загрязняющих поверхность теплообмена.

Вспомогательный поток воздуха перед подачей на увлажнение очищается в воздушных фильтрах. Предпочтение отдается системам кондиционирования воздуха с регенеративными теплообменниками, так как данная схема обладает большей энергетической эффективностью и меньшей стоимостью оборудования.

Схемы систем кондиционирования воздуха с регенеративными и пластинчатыми теплообменниками при использовании вытяжного воздуха в качестве вспомогательного потока следует проверять на работоспособность в холодный период года. Разрабатываются мероприятия по регулированию процессов утилизации теплоты в холодный период года с целью исключения обмерзания теплообменников [18]. Мероприятия, исключающие обмерзание теплообменников:

обвод части обрабатываемого приточного воздуха в пластинчатом теплообменнике;

догрев вытяжного воздуха перед утилизатором;

регулирование частоты вращения роторного утилизатора.

Общий процесс обработки воздуха в системах кондиционирования с косвенным испарительным охлаждением приведен на рис. 6.

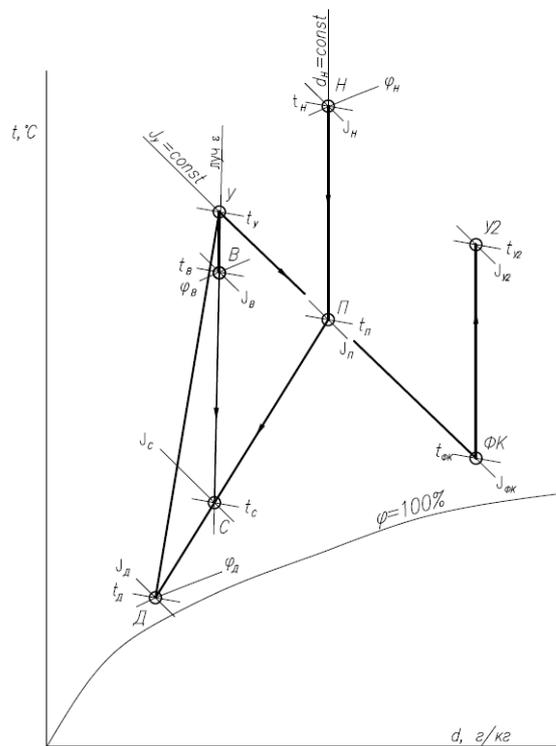


Рис. 6. Процесс обработки воздуха в системах кондиционирования с косвенным испарительным охлаждением

На  $J$ — $d$ -диаграмме (рис. 6) наносится точка внутреннего В, наружного Н и удаляемого У воздуха. Из точки внутреннего воздуха В строится луч процесса ассимиляции тепловлагоизбытков  $\varepsilon$ , кДж/кг. Из точки Н наружного воздуха по  $d_n = \text{const}$  строится луч процесса, отражающий охлаждение приточного воздуха в теплообменнике-охладителе (роторном утилизаторе, пластинчатом или поверхностном теплообменнике) [19]. В зависимости от типа используемого вспомогательного потока воздуха (наружный или вытяжной воздух) строят соответствующий луч процесса адиабатического увлажнения по  $J_y = \text{const}$  вспомогательного потока. Подбирается адиабатический увлажнитель с максимально возможным коэффициентом эффективности. Расчет выполняется по компьютерной программе подбора оборудования. На основании программного подбора увлажнителя определяется температура охлажденного вытяжного воздуха на выходе из форсуночной камеры  $t_{\text{фк}}$ . На  $J$ — $d$ -диаграмме на пересечении луча процесса адиабатического увлажнения с температурой  $t_{\text{фк}}$  строится точка ФК, соответствующая параметрам вытяжного воздуха на выходе из форсуночной камеры. Исходя из расхода воздуха во вспомогательном потоке и расхода наружного воздуха по данным производителя оборудования подбирается теплообменник. На основе результатов подбора теплообменника-утилизатора определяются параметры приточного и вытяжного воздуха после прохождения ротора.

Строятся на  $J$ — $d$ -диаграмме точки П с параметрами приточного воздуха и  $V_2$  с параметрами вытяжного воздуха, удаляемого в атмосферу после прохождения ротора.

Энергоэффективность обработки воздуха в системах вентиляции и кондиционирования часто достигается за счет использования схем с прямым, косвенным и двухступенчатым испарительным охлаждением.

Использование систем с испарительным охлаждением позволяет достичь значения условного холодильного коэффициента до 12...15 кВт/кВт, т. е. на один киловатт затраченной мощности получить 12...15 кВт холода, что недостижимо при использовании самых лучших холодильных машин.

Применение схем с испарительным, косвенным и двухступенчатым испарительным охлаждением позволяет в некоторых случаях отказаться полностью от использования искусственного холода или значительно снизить холодильную нагрузку.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Al-Farayedhi A. A., Gandhidasan P., Al-Mutuari M. A. Evaluation of heat and mass transfer coefficients in a gauze-type structured packing air dehumidifier operating with liquid desiccant // Int. J. Refr. 2002. Pp. 106—111.
2. Walker I. S., Mingee D. M., Brenner D., and Dickerhoff D. J. 2003. "Improving Air Handler Efficiency in Residential HVAC Applications." LBNL 53606. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA. P. 103.
3. Foster R. E. and Dijkstra E. Evaporative Air-Conditioning Fundamentals: Environmental and Economic Benefits Worldwide // Applications for Natural Refrigerants '96, Refrigeration Science and Technology Proceedings. Pp. 121—126.
4. Skaaret E. and Mathisen H. M. Ventilation Effectiveness — A Guide to Efficient Ventilation // Proceedings of the 1983 ASHRAE Annual Meeting, June 26—30. Washington, DC: ASHRAE, Atlanta, GA, LBL-16155. P. 38.

5. El Paso Electric Company, Life Cycle Cost Analyses: Evaporative Cooler vs. Refrigerated Air Conditioning, Volume I, El Paso, Texas, October, 1991. Pp. 92—94.
6. Королева Н. А., Околелов А. В. Применение схем кондиционирования в зданиях с использованием косвенного охлаждения // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техно-сферной безопасности: Материалы Всероссийской научно-технической конференции молодых исследователей (с международным участием), Волгоград, 21—26 апреля 2014 г. С. 153—155.
7. Богословский В. Н., Кокорин О. Я., Петров Л. В. Кондиционирование воздуха и холодо-снабжение. М.: Стройиздат. 1985. 367 с.
8. Тарабанов М. Г., Копышков А. В., Королева Н. А. Энергоэффективные системы вентиляции и кондиционирования воздуха крупного торгового центра // АВОК. 2013. № 1. С. 24—29.
9. Баркалов Б. В., Карпис Е. Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. М.: Стройиздат, 1982. 312 с.
10. Хомутский Ю. Применение адиабатного увлажнения для охлаждения воздуха // Мир климата. № 73. Июль 2012. С. 104—112.
11. Хомутский Ю. Расчет косвенно-испарительной системы охлаждения // Мир климата. Март 2012. № 71. С. 174—182.
12. Тарабанова М. Г. Косвенное испарительное охлаждение приточного наружного воздуха в СКВ с доводчиками // АВОК. 2009. № 3. С. 20—32.
13. Учаскин П. В. Вентиляция, кондиционирование воздуха и отопление на предприятиях легкой промышленности: Учеб. пособие для студентов высш. технич. учеб. заведений. М.: Легкая индустрия, 1980. 243 с.
14. CMHC. 1992. “Barriers to the use of Energy Efficient Residential Ventilation.” Research Division, Canada Mortgage and Housing Corporation. Ottawa, Canada. Pp. 52—56.
15. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1993 ASHRAE. P. 437.
16. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Справочное пособие / под ред. Л. Д. Богуславского и В. И. Ливчака. М.: Стройиздат, 1990. 624 с.
17. Табунищев Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2004. 196 с.
18. Кокорин О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха. М.: Физматлит, 2003. 272 с.
19. Сотников А. Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. М., 2006. Т. 2. Ч. 1. 416 с.

© Королева Н. А., Фокин В. М., 2015

Поступила в редакцию  
в ноябре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Королева Н. А., Фокин В. М. Применение систем кондиционирования воздуха с испарительным охлаждением в современных зданиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 173—182.

Об авторах:

**Королева Наталья Анатольевна** — аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, Koroleva\_80@inbox.ru

**Фокин Владимир Михайлович** — д-р техн. наук, проф., заведующий каф. энергоснабжения и теплотехники, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

**N. A. Koroleva, V. M. Fokin**

## APPLICATION OF AIR CONDITIONING EVAPORATIVE COOLING IN MODERN BUILDINGS

The article describes the method of construction and application of air conditioning systems with evaporative cooling in modern public buildings.

**Key words:** air conditioning, evaporative cooling, indirect evaporative cooling.

#### REFERENCES

1. Al-Farayedhi A. A., Gandhidasan P., Al-Mutuari M. A. Evaluation of heat and mass transfer coefficients in a gauze-type structured packing air dehumidifier operating with liquid desiccant. *Int. J. Refr.*, 2002, pp. 106—111.
2. Walker I. S., Mingee D. M., Brenner D. and Dickerhoff D. J. 2003. *Improving Air Handler Efficiency in Residential HVAC Applications. LBNL 53606*. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA. P. 103.
3. Foster R.E. and Dijkstra E. Evaporative Air-Conditioning Fundamentals: Environmental and Economic Benefits Worldwide. *Applications for Natural Refrigerants '96, Refrigeration Science and Technology Proceedings*, pp. 121—126.
4. Skaaret E. and Mathisen H. M. Ventilation Effectiveness — A Guide to Efficient Ventilation. *Proc. of the 1983 ASHRAE Annual Meeting, June 26—30*. Washington, DC, ASHRAE, Atlanta, GA, LBL-16155. P. 38.
5. El Paso Electric Company, Life Cycle Cost Analyses: Evaporative Cooler vs. Refrigerated Air Conditioning. Vol. I. El Paso, Texas, October, 1991. Pp. 92—94.
6. Koroleva N. A., Okolelov A. V. [Application of conditioning schemes in buildings with the use of indirect cooling]. *Aktual'nye problemy stroitel'stva, ZhKKh i tekhnosfernoi bezopasnosti: materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh issledovatelei, Volgograd, 21—26 aprelya 2014 g.* [Actual problems of construction of housing and communal services and technosphere safety. Proc. of All-Russ. Conf., 21—26 April 2014 g.]. Volgograd, 2014, pp. 153—155.
7. Bogoslovskii V. N., Kokorin O. Ya., Petrov L. V. *Konditsionirovanie vozdukh i kholodosnabzhenie* [Air conditioning and cold supply]. Moscow, Stroizdat Publ., 1985. 367 p.
8. Tarabanov M. G., Kopyshkov A. V., Koroleva N. A. Energy Efficient Ventilation and Air Conditioning Systems in a Large Shopping Center. *AVOK* [Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics], 2013, no. 1, pp. 24—29.
9. Barkalov B. V., Karpis E. E. *Konditsionirovanie vozdukh v promyshlennykh, obshchestvennykh i zhilykh zdaniyakh* [Air conditioning in industrial, public and residential buildings]. Moscow, Stroizdat Publ., 1982. 312 p.
10. Khomutskii Yu. [Use of adiabatic moistening for air cooling]. *Mir klimata* [World of climate], no. 73, July, 2012, pp. 104—112.
11. Khomutskii Yu. [Calculation of the indirect vaporizing cooling system]. *Mir klimata* [World of climate], March, 2012, no. 71, pp. 174—182.
12. Tarabanova M. G. [Indirect vaporizing cooling of inducing external air in HVAC with closers]. *AVOK* [Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics], 2009, no. 3, pp. 20—32.
13. Uchastkin P. V. *Ventilyatsiya, konditsionirovanie vozdukh i otoplenie na predpriyatiyakh legkoi promyshlennosti: Uchebnoe posobie* [Ventilation, air conditioning and heating at the enterprises of light industry. Study guide]. Moscow, Legkaya Industriya Publ., 1980. 243 p.
14. CMHC. 1992. *Barriers to the use of Energy Efficient Residential Ventilation*. Research Division, Canada Mortgage and Housing Corporation. Ottawa, Canada. Pp. 52—56.
15. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1993 ASHRAE. P. 437.
16. Boguslavskii L. D. and Livchak V. I. (ed.). *Energoberezhenie v sistemakh teplosnabzheniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh. Spravochnoe posobie* [Energy saving in the systems of heat supply, ventilation and air conditioning. Reference book]. Moscow, Stroizdat Publ., 1990. 624 p.
17. Tabunshchikov Yu. A., Brodach M. M., Shilkin N. V. *Energoeffektivnye zdaniya* [Power effective buildings]. Moscow, AHVACE -PRESS, 2004. 196 p.
18. Kokorin O. Ya. *Sovremennye sistemy konditsionirovaniya vozdukh* [Modern air conditioning systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 272 p.
19. Sotnikov A. G. *Protsessy, apparaty i sistemy konditsionirovaniya vozdukh i ventilyatsii* [Processes, devices and systems of air conditioning and ventilation]. Moscow, 2006. V. 2. P. 1. 416 p.

*For citation:*

Koroleva N. A., Fokin V. M. [Application of air conditioning evaporative cooling in modern buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 173—182. (In Russ.).

*About authors:*

**Koroleva Natal'ya Anatol'evna** — Postgraduate student of Power Supply and Heat Engineering Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, Koroleva\_80@inbox.ru

**Fokin Vladimir Mikhailovich** — Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Power Supply and Heat Engineering Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation

УДК 51-7:711.4

**А. В. Гоблик**

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

## **ПРИМЕНЕНИЕ КРАТНЫХ РЯДОВ В ЗАДАЧАХ РАСЧЕТА СОВОКУПНОГО ПОТЕНЦИАЛА ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Статья посвящена проблеме описания многообразия и особенностей развития города методами математического моделирования. Рассмотрены вопросы применения кратных числовых рядов в задаче расчета совокупного потенциала градостроительной системы.

**Ключевые слова:** совокупный потенциал города, структурно-графическая модель, кратные числовые ряды, частичная сумма, математическая модель, матрица.

**Введение.** Город является очень сложным и многогранным объектом для изучения и осмысления. Адекватное восприятие действительности, понимание природы социально-пространственных процессов, особенностей формирования градостроительного пространства и других проблем, связанных с развитием и функционированием города, остро необходимо специалистам, отвечающим за создание комфортной среды жизнедеятельности людей. Ключом к пониманию и описанию всей многогранности и сложности города может стать новая форма структурирования информации об уровне развития города.

Одним из наиболее удобных подходов к описанию всего многообразия города является подход с использованием понятия потенциала. Привлекательность применения понятия потенциала объясняется тем, что потенциал является одновременно и количественной, и качественной характеристикой и в общем случае описывает собой возможности, имеющиеся силы, запасы, ресурсы, средства, которые могут быть использованы. Им удобно пользоваться для описания характеристик и состояний сложных систем различной природы.

Понятие потенциала сегодня широко используется урбанистами для описания уровня развития различных отраслей экономики города или, к примеру, для оценки его культурного наследия. Например, употребляются понятия экономического потенциала города, инфраструктурного, природно-ландшафтного, научного, творческого, социального и другие [1—8]. Однако из-за различных методик оценки разных видов потенциала города не представляется возможным в конечном итоге получить целостную картину города в виде количественного и качественного описания его совокупного потенциала, отражающего всю сложность и многообразие города.

Единственным решением в преодолении несовместимости подходов к оценке носителей совокупного потенциала города является создание универсальной модели данных о составляющих потенциала города и разработка математической модели, описывающей структурные особенности формирования совокупного потенциала города. Важным и необходимым условием для выполнения математической формализации задачи о совокупном потенциале города является использование в математической модели универсальной условной единицы, количественно описывающей разновидности потенциала города.

Решение описанной задачи было предложено в работе [9], в которой был представлен метод, особенность и новизна которого состоит в возможности построить структурно-графическую модель совокупного потенциала некоторого города в полном соответствии с ее математической моделью. Аналогично, имея структурно-графическую модель, можно в дальнейшем ее математически формализовать.

Дальнейшее развитие идеи представления города в виде структурно-графической модели совокупного потенциала, а также изучение особенностей построения математических моделей на некоторых примерах оценки потенциалов городов [10—14] позволило установить взаимно однозначное соответствие между предложенными в работе [9] моделями совокупного потенциала и кратными числовыми рядами. Оказалось, что кратные ряды, известные в теории бесконечных рядов с постоянными членами [15], могут быть успешно использованы для построения математических моделей градостроительных систем любой сложности в терминах потенциала, что имеет также важное фундаментальное значение для развития математической теории таких рядов. Поэтому актуальной проблемой является изучение возможностей применения кратных числовых рядов в задачах расчета совокупного потенциала города и описания составляющих потенциала города.

**Целью** данной работы является решение задачи количественного и качественного описания многообразия города с использованием понятий потенциала и кратных числовых рядов.

**1. Совокупный потенциал города: модели-аналоги в природе, его структурно-графическая и математическая модели.** Потенциал — это скалярная величина, он также обладает таким свойством, как аддитивность, и может представлять собою совокупность нескольких структурно-объединенных носителей потенциала. Многообразие и сложность города можно представить в виде совокупного потенциала, который графически удобно изобразить в виде многоуровневой иерархической ветвящейся структуры составляющих потенциала города, объединенных в некоторые классы, подклассы на основании определенных признаков.

В природе встречаются модели-аналоги, которые достаточно наглядно дают представление об идее такой модели потенциала города и ее структуре. К примеру, на рис. 1 представлены схемы некоторых соцветий растений, которые также являются ветвящимися иерархическими структурами. Еще одной моделью-аналогией является речная система, которая состоит из главной реки (ствола системы) и притоков первого, второго и следующих порядков. Притоками первого порядка называются реки, непосредственно впадающие в главную реку, второго порядка — притоки притоков первого порядка и т. д.

Еще одной интересной аналогией в природе, которая может продемонстрировать идею формирования совокупного потенциала города посредством суммирования потенциалов структурно-объединенных элементов, является правило Леонардо да Винчи. Речь идет о соотношении суммы диаметров всех ветвей и диаметра основного ствола дерева, которое, как определил великий Леонардо да Винчи, всегда остается неизменным [16]. Также площадь срезов всех ветвей на каждой конкретной высоте является постоянной величиной (сколько бы ветвей там ни было) и также равна площади среза ствола (рис. 2).

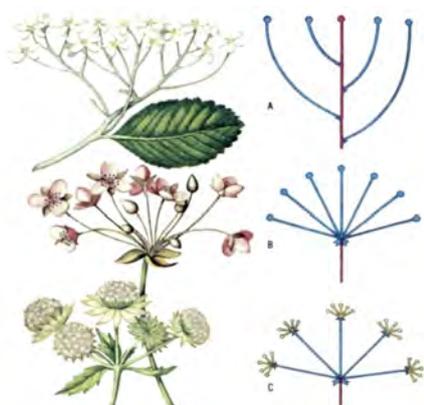


Рис. 1. Схемы соцветий (Научно-технический энциклопедический словарь. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ntes/4473/СОЦВЕТИЕ>)

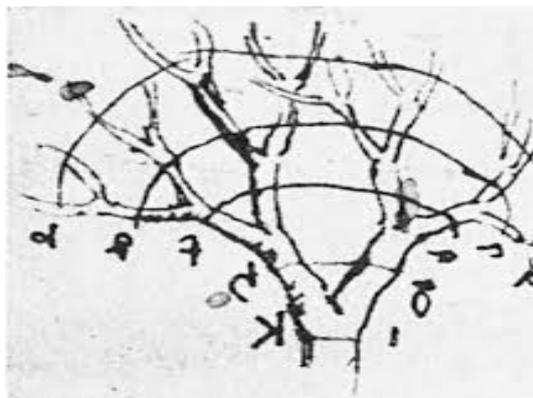


Рис. 2. Правило Леонардо да Винчи о «лесной геометрии» [17]

По аналогии с существующими в природе ветвящимися иерархическими структурами можно создать структурно-графическую модель совокупного потенциала города, принцип построения которой показан на рис. 3.

Важную роль при разработке модели данных о составляющих совокупного потенциала города сыграли также работы ученых проф. Н. М. Дёмина и проф. М. М. Габреля. В [18] для описания территориально-производственной системы города было предложено понятие производственного потенциала градостроительной системы, имеющего отраслевую структуру. В рамках этой работы понятие «производство» охватывает: все отрасли материального производства; «производство информации», включающее научно-исследовательские, проектные и другие институты, средства массовой информации и др.; «производство услуг», включающее все виды отраслей сферы общественного обслуживания населения; «управление» и «коммуникации» [18, с. 14]. Составляющие производственной сферы города имеют свое материальное воплощение в виде городских инфраструктур: трудовой (места приложения труда), социально-культурной, транспортной, инженерной, создание которых требует выполнения определенных работ (энергетических затрат). Отсюда следует, что производственный потенциал города является энергетической характеристикой, которая отражает или описывает уровень развития материально-пространственной среды города в заданной точке пространства в соответствии с доминирующими общественными ценностями.

Взгляды проф. Н. М. Дёмина на проблему моделирования социально-пространственной организации региональных систем расселения, а также оценки их потенциала повлияли на возникновение в градостроительной теории понятия пространственного потенциала, введенного проф. М. М. Габрелем [19, с. 16], который описывает ресурсные характеристики векторов градостроительного пространства.

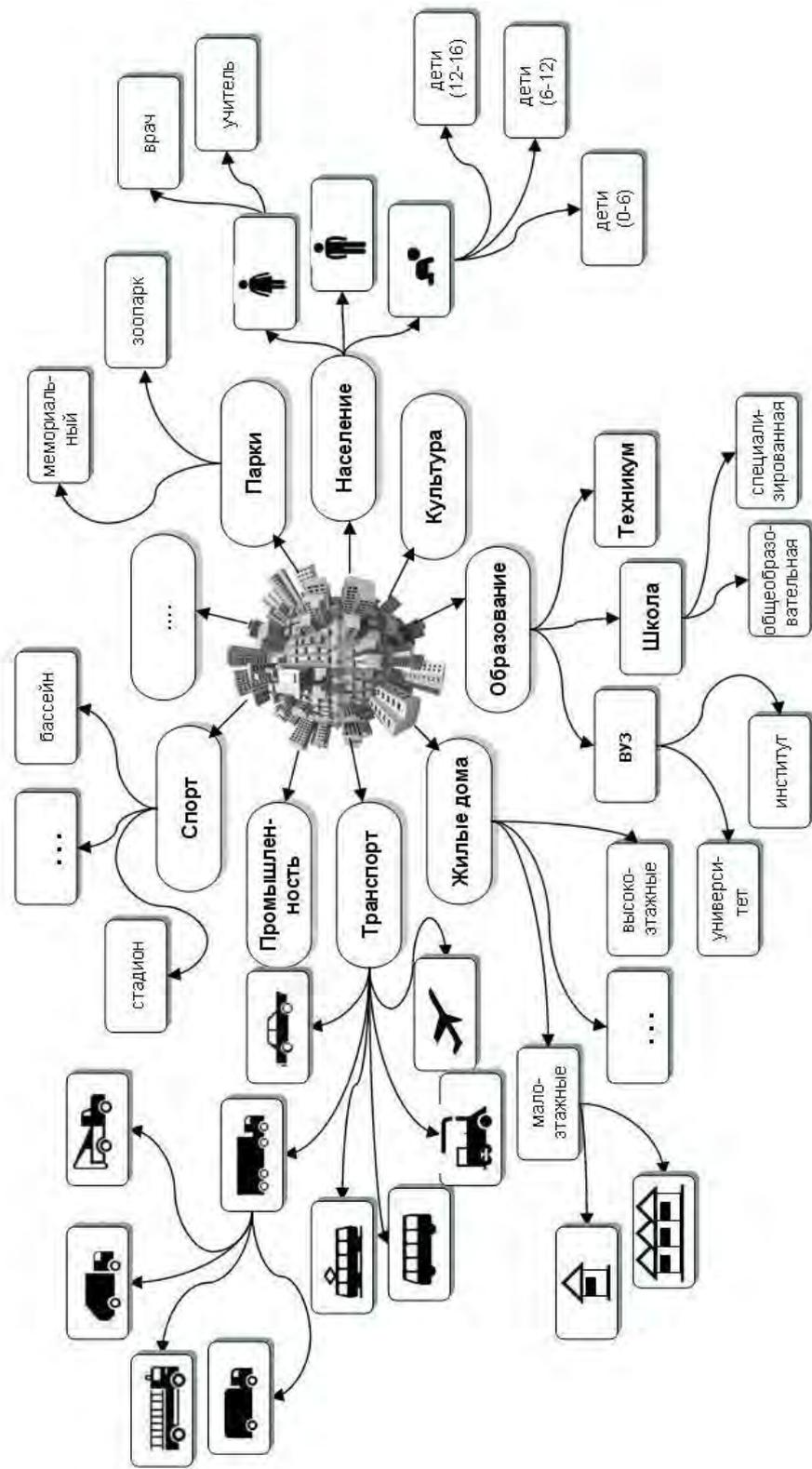


Рис. 3. Принцип построения модели совокупного потенциала города

Дальнейшее развитие этих идей позволило сопоставить структурно-графической модели совокупного потенциала города (рис. 3) математическую модель (1) [9]:

$$P_{\Sigma} = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \dots \sum_{q=1}^Q P_{lmn\dots q} + \dots + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P_{ij} + \sum_{t=1}^T P_t, \quad (1)$$

где  $l, m, n, \dots, q; i, j, t$  — независимые друг от друга индексы, которые присваиваются некоторой структурной единице потенциала, созданного группой типовых объектов, объединенных по некоторым признакам. Выражение (1) в математической теории бесконечных рядов с постоянными членами носит название частичной суммы кратного ряда [15, с. 398]. Метод, основанный на применении кратных рядов для моделирования структурных особенностей формирования совокупного потенциала объектов и процессов различной природы, обещает получение новых важных научных результатов.

Структурные единицы совокупного потенциала градостроительных систем предложено оценивать в денежных единицах. Потенциал любого объекта является скалярной величиной, и выбор денежной меры для оценки носителя потенциала совершенно естественный, поскольку потенциал косвенно выражает работу, которую необходимо выполнить для создания определенного носителя потенциала. Например, сегодня известна стоимость обучения студента определенной специальности или известны затраты на содержание и воспитание ребенка определенного возраста. Еще более естественным является применение денежной оценки к объектам недвижимости и другим элементам градостроительной системы.

Разработанный метод расчета совокупного потенциала города позволяет наглядно представить все многообразие города и в интегральном виде описать функциональные, технические, архитектурные, социальные и другие особенности градостроительной системы. Структурно-графическая модель позволяет в полной мере отразить с соответствующей степенью детализации и структурным подчинением составляющие совокупного потенциала, в качестве которых могут выступать выделенные на основе определенных признаков в классы, подклассы или группы носители потенциала. Математическая и структурно-графическая модели отражают и количественные, и качественные характеристики совокупного потенциала города. Также предложенный метод описания города позволяет при необходимости «разворачивать» и «сворачивать» информацию о составляющих потенциала города.

**2. Методика применения кратных рядов для описания структурных составляющих совокупного потенциала города.** Рассмотрим далее на демонстрационных примерах методику применения кратных рядов для описания структурных составляющих совокупного потенциала города.

**Пример № 1.** Пусть необходимо записать в виде частичной суммы кратного ряда совокупный потенциал  $P_{\Sigma}$  студентов одной группы, которая состоит из 6 человек (3 девушки и 3 парня). Для этого введем следующие обозначения индексов и их комбинаций:  $P_{ij}$  — потенциал объекта (студента). Индекс  $i$  обозначает одномерный потенциал, который описывает объект по какому-либо одному признаку. Например, обозначает принадлежность студентов к подгруппе парней или подгруппе девушек, то есть порядковый номер подгруппы студентов.

Пусть  $i=1$  — это подгруппа студентов-парней;  $i=2$  — подгруппа студентов-девушек. Следовательно,  $P_{i=1}$  — потенциал подгруппы «студенты-парни»,  $P_{i=2}$  — потенциал подгруппы «студенты-девушки». Индекс  $j$  обозначает порядковый номер студента (студентки) в подгруппе. В нашем случае в каждой подгруппе находится трое студентов.

Таким образом, частичная сумма кратного ряда для описанного случая будет иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 P_{ij} = (P_{11} + P_{12} + P_{13}) + (P_{21} + P_{22} + P_{23}). \quad (2)$$

Запись  $\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 P_{ij}$  означает в свернутом виде частичную сумму ряда по-

следовательности чисел (потенциалов каждого студента группы), обозначенных индексами:  $i=1, 2$ ;  $j=1, 2, 3$ .

В выражении (2) индекс  $i$  занимает место по иерархии выше (обозначает более обобщенный потенциал), чем индекс  $j$ .

Придерживаясь такой логики, можно построить структурно-графическую модель для этого ряда в следующем виде (рис. 4).

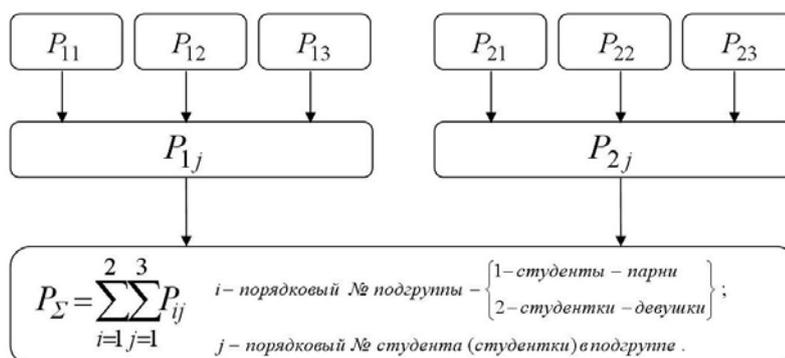


Рис. 4. Структурно-графическая модель совокупного потенциала студентов группы

**Пример № 2.** Пусть задана двумерная таблица, содержащая данные об оценке в денежных единицах потенциалов объектов социальной инфраструктуры в трех административных районах.

*Данные о потенциалах объектов социальной инфраструктуры*

$P_{i,j}$	$j=1$ (клуб)	$j=2$ (спортзал)	$j=3$ (детсад)	$j=4$ (школа)	$j=5$ (магазин)
$i=1$ (район № 1)	10	3	0	17	3
$i=2$ (район № 2)	7	5	9	10	8
$i=3$ (район № 3)	4	4	7	1	6

Таблица состоит из 3 строк и 5 столбцов. Порядковый номер каждой строки соответствует порядковому номеру одного из трех административных районов ( $i = 1, 2, 3$ ), а порядковый номер каждого столбца соответствует одному из пяти типов объектов социальной инфраструктуры  $j = 1, 2, 3, 4, 5$ . Соответственно комбинация индексов обозначает положение значения величины потенциала объекта в таблице с данными. Например  $P_{12}$  — это потенциал объекта № 2 (спортзала), расположенного в административном районе № 1.

Этой таблице сопоставим следующую прямоугольную матрицу:

$$I = \begin{matrix} & J = 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & P_{25} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad (3)$$

где элементы матрицы  $P_{ij}$  соответствуют числовым значениям величины потенциала табл.

Далее, следуя работе [15, с. 329], соотнесем с матрицей (3) частичную сумму кратного ряда:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 P_{ij} = (P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{14} + P_{15}) + \\ + (P_{21} + P_{22} + P_{23} + P_{24} + P_{25}) + \\ + (P_{31} + P_{32} + P_{33} + P_{34} + P_{35}). \quad (4)$$

Сопоставляя далее представление совокупной величины потенциала  $P_{\Sigma}$  в виде (3) и (4), можно сделать вывод о том, что частичную сумму кратного ряда (4) можно определить путем вычисления суммы сумм строк матрицы (3). Такую операцию удобно выполнять в системах компьютерной математики, в частности в среде MATLAB, ориентированной на матричные вычисления.

Структурно-графическая модель совокупного потенциала объектов социальной инфраструктуры административных районов, которая описывается в свернутом виде рядом (4), имеет следующий вид (рис. 5).

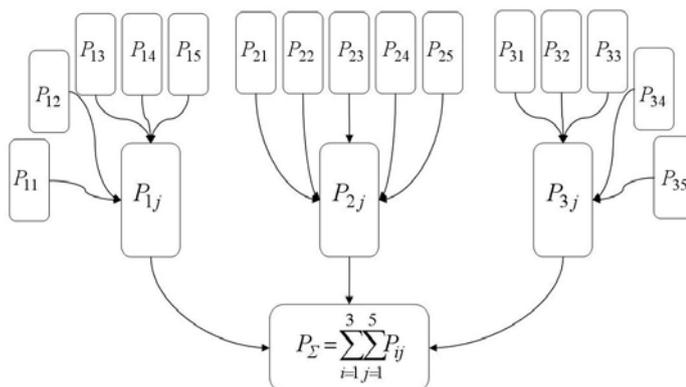


Рис. 5. Структурно-графическая модель совокупного потенциала объектов социальной инфраструктуры административных районов

**Заключение.** Рассмотренный в статье метод позволяет свести воедино разнообразную информацию о носителях совокупного потенциала города, а также использовать компьютерные информационные системы для обработки и хранения данных.

Метод удобно применять для описания состояний пространственной организации градостроительных объектов различной сложности: населенного пункта, города и его структурных элементов, а также системы населенных мест. На демонстрационных примерах рассмотрена методика математической формализации многообразия города, основанная на использовании понятий потенциала и кратных рядов.

Практическое значение предложенного метода состоит в существенном повышении информативности исследований процессов формирования структуры совокупных потенциалов городов, что имеет важное значение для разработки генеральных планов их развития.

Установленное взаимно однозначное соответствие кратных рядов и структурно-графической модели потенциала может быть распространено в качестве обобщенной модели на целый ряд задач физики, техники, экономики и других отраслей науки для описания структуры разнообразных видов совокупного потенциала по аналогии с описанием структуры совокупного потенциала города. К примеру, можно описать совокупный потенциал рек, природно-ресурсный или промышленно-экономический потенциал страны и т. д.

Расчет совокупного потенциала в виде частичных сумм кратных рядов сведен к вычислению суммы сумм строк матриц, который не сложно выполнить в системах компьютерной математики, в частности в среде MATLAB, ориентированной на матричные вычисления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трифонова З. А. Социокультурный потенциал города: методика определения, результаты оценки и модели использования в центрах национальных регионов России // Культурная и гуманитарная география. 2012. Т. 1. № 2. С. 175—179.
2. Сыров А. Н. Оценка экономического потенциала территории // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2008. № 2 (13). С. 98—102.
3. Корнеева А. С. Оценка социально-инфраструктурного потенциала регионов России // Вестник Новосибирского государственного университета: Социально-экономические науки. 2011. Т. 11. Вып. 3. С. 156—166.
4. Князева И. В., Матовых Е. А. Оценка ресурсного потенциала города-спутника (на примере спутников г. Новосибирска) // Муниципалитет: экономика и управление. 2012. № 2(3). С. 57—66.
5. Abdulla Al Mamun, Soumen Mitra. A Methodology for Assessing Tourism Potential: Case Study Murshidabad District, West Bengal, India // International Journal of Scientific and Research Publications. 2012. Vol. 2. Iss. 9. P. 429—436.
6. D'Acci L. Monetary, Subjective and Quantitative Approaches to Assess Urban Quality of Life and Pleasantness in Cities // Social Indicators Research. 2014. Vol. 115. Iss. 2. P. 531—559.
7. Jankauskaite M. Natural self-cleaning potential of Urbanized environment (Vilnius city case) // Ekologija (Bratislava): International Journal for Ecological Problems of the Biosphere. 2006. Vol. 25. P. 96—104.
8. Unleashing the economic potential of agglomeration in African cities // The Global Urban Economic Dialogue Series. Nairobi: UN-HABITAT, 2013. 51 p.
9. Гоблик А. В. Оптимізація просторової організації територій в зоні підвищених ризиків: автореф. дис... канд. техн. наук. Київ, 2006. 20 с.
10. Габрель М. М., Гоблик А. В. Проблема просторової організації території, її потенціал та методика його оцінки // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2004. Вип. 13. С. 95—101.

11. Гоблик А. В. Про алгоритм оцінки сукупного потенціалу просторової організації містобудівних систем // Матеріали І конференції молодих науковців «Геодезія, архітектура та будівництво». Львів, 2007. С. 44—45.
12. Гоблик А. В. Методичні основи оцінки сукупного потенціалу міста // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2013. Вип. 33. С. 208—216.
13. Hoblyk A. Transformation of urban space: tasks and methods of study // Space & form: scientific journal of West Pomeranian University of Technology in Szczecin. 2013. № 20. P. 273—286.
14. Дёмин Н. М., Гоблик А. В. О применении методов теории потенциала в градостроительных задачах // Градостроительство и территориальное планирование. 2014. Вип. 51. С. 140—154.
15. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. II. М.: Наука, 1966. 800 с.
16. Eloy C. Leonardo's rule, self-similarity and wind-induced stresses in trees // Physical Review Letters, 107, 258101 (2011). URL: <http://arxiv.org/pdf/1105.2591v2.pdf>
17. Rizwan Aratsu. Leonardo Was Wise // Journal of Young Investigators. 1998. URL: <http://www.jyi.org/issue/leonardo-was-wise/>
18. Дёмин Н. М. Управление развитием градостроительных систем. Киев: Будивельник, 1991. 184 с.
19. Габрель М. М. Просторова організація містобудівних систем. Київ: А.С.С., 2004. 395 с.

© Гоблик А. В., 2015

Поступила в редакцію  
в ноябре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Гоблик А. В. Применение кратных рядов в задачах расчета совокупного потенциала градостроительных систем // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 183—192.

Об авторе:

Гоблик Анна Викторовна — канд. техн. наук, доцент, докторант кафедры городского строительства, Киевский национальный университет строительства и архитектуры. Украина, Киев-037, 0368, г. Киев, пр. Воздухофлотский, 31, [a.hoblyk@gmail.com](mailto:a.hoblyk@gmail.com)

**A. V. Goblik**

## USE OF MULTIPLE SERIES IN TASKS TO CALCULATE AGGREGATE POTENTIAL OF URBAN PLANNING SYSTEMS

The article deals with the problem of description of the diversity and special features of the development of the cities using mathematical modeling. The article examines the problem of usage of the multiple numerical series to calculate the aggregate potential of urban planning system.

**Key words:** aggregate potential of the city, structural and graphic model, multiple numerical series, partial sum, mathematical model, matrix.

### REFERENCES

1. Trifonova Z. A. Urban sociocultural potential: methods, estimations and models in the centres of national regions of Russia. *Kul'turnaya i gumanitarnaya geografiya* [Cultural Geography & Geohumanities], 2012, 1(2), pp. 175—179.
2. Syrov A. N. [Assessment of economic capacity of the territory]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Ekonomika. Ekologiya* [Science Journal of VolSU. Global Economic System], 2008, 2(13), pp. 98—102.
3. Korneeva A. S. [Assessment of social and infrastructure potential of Russia's regions]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta: Sotsial'no-ekonomicheskie nauki* [News of Novosibirsk State University. Social and Economic Sciences], 2011, 11(3), pp. 156—166.
4. Knyazeva I. V., Matovykh E. A. Evaluation of the resource potential of urban-fringe (by the example of Novosibirsk urban-fringes). *Munitsipalitet: ekonomika i upravlenie* [Municipality: economy and management], 2012, 2(3), pp. 57—66.

5. Abdulla Al Mamun, Soumen Mitra. A Methodology for Assessing Tourism Potential: Case Study Murshidabad District, West Bengal, India. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2012, 2(9), pp. 429—436.
6. D'Acci L. Monetary, Subjective and Quantitative Approaches to Assess Urban Quality of Life and Pleasantness in Cities. *Social Indicators Research*, 2014, 115(2), pp. 531—559.
7. Jankauskaite M. Natural self-cleaning potential of Urbanized environment (Vilnius city case) *Ekológia (Bratislava): International Journal for Ecological Problems of the Biosphere*, 2006, vol. 25, pp. 96—104.
8. Unleashing the economic potential of agglomeration in African cities. *The Global Urban Economic Dialogue Series*. Nairobi, UN-HABITAT Publ., 2013. 51 p.
9. Goblik A. V. *Optimizatsiya prostorovoï organizatsii teritorii v zoni pidvishchenikh rizikiv* [Optimization of the spatial organization of territories in high risk areas. Diss. Cand. Eng. Sci.]. Kiev, 2006. 20 c.
10. Gabrel' M. M., Goblik A. V. [Problem of spatial organization of the territory, its potential and methodology of its assessment]. *Suchasni problemi arkhitekturi ta mistobuduvannya* [Modern problems of architecture and town planning], 2004, iss. 13, pp. 95—101.
11. Goblik A. V. [About the algorithm of assessment of cumulative capacity of spatial organization of town-planning systems]. *Materiali I konferentsii molodikh naukovtsiv «Geodeziya, arkhitektura ta budivnitstvo»* [Geodesy, architecture and construction. Proc. of Conf.]. Lvov, 2007, pp. 44—45.
12. Goblik A. V. [Methodological principals of assessment of cumulative capacity of the city]. *Suchasni problemi arkhitekturi ta mistobuduvannya* [Modern problems of architecture and town planning], 2013, iss. 33, pp. 208—216.
13. Hoblyk A. Transformation of urban space: tasks and methods of study. *Space & form: scientific journal of West Pomeranian University of Technology in Szczecin*, 2013, no. 20, pp. 273—286.
14. Demin N. M., Goblik A. V. [About application of methods of potential theory in town-planning tasks]. *Gradostroitel'stvo i territorial'noe planirovanie* [Town planning and territorial planning], 2014, iss. 51, pp. 140—154.
15. Fikhtengol'ts G. M. *Kurs differentsial'nogo i integral'nogo ischisleniya. T. II* [Course of differential and integral calculations. V. II]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 800 p.
16. Eloy C. Leonardo's rule, self-similarity and wind-induced stresses in trees. *Physical Review Letters*, 107, 258101 (2011). URL: <http://arxiv.org/pdf/1105.2591v2.pdf>
17. Rizwan Aratsu. Leonardo Was Wise. *Journal of Young Investigators*, 1998. URL: <http://www.jyi.org/issue/leonardo-was-wise/>
18. Demin N. M. *Upravlenie razvitiem gradostroitel'nykh sistem* [Management of town-planning system development]. Kiev, Budivelnik Publ., 1991. 184 p.
19. Gabrel' M. M. *Prostorova organizatsiya mistobudivnykh sistem* [Spatial organization of town-planning systems]. Kiev, A. S. S. Publ., 2004. 395 p.

*For citation:*

Goblik A. V. [Use of multiple series in tasks to calculate aggregate potential of urban planning systems]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 183—192. (In Russ.).

*About author:*

**Goblik Anna Viktorovna** — Candidate of Engineering Science, Docent, Doctoral Candidate of Urban Development Department, Kiev National University of Civil Engineering and Architecture. Ukraine, Kiev-037, 0368, Kiev, 31, Vozdukhoflotskii Prospect.

УДК 711.122:620.9

**В. Э. Петров**

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОСТУПНОГО ЖИЛЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНЦИПОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

В статье рассмотрены современные принципы проектирования малоэтажной экологически безопасной жилой застройки с применением ресурсосберегающих технологий.

Ключевые слова: экология, энергоэффективность, индивидуальные дома, блокированные дома, многоквартирные дома.

Тема обеспечения экологической безопасности приобрела особую актуальность в силу объективной необходимости и реакции общественности на рост числа примеров изменения климата и окружающей среды в результате деятельности человека. Необходимость проектировать здания и сооружения с учетом их экологичности возникла именно как следствие такого положения.

В условиях городской среды система жизнеобеспечения призвана наилучшим образом удовлетворить социальные, экономические, эстетические и экологические потребности человека. Город представляет собой сложную систему, все элементы которой взаимосвязаны между собой, и изменения, произошедшие в одном из них, влекут изменения во всех компонентах и системе в целом. Являясь искусственно созданной материальной частью природных ландшафтов, города оказывают на них негативное влияние. Состояние же всех природных элементов отражается непосредственно на среде города. Неблагоприятная экологическая обстановка, в свою очередь, отрицательно влияет на состояние экологической среды непосредственного проживания человека [1].

Понятие «устойчивое развитие» все шире используется для обозначения деятельности или состояния, которые согласуются с законами экологии, с ограниченностью природных ресурсов, и вместе с тем с интересами общества, включая интересы будущих поколений. Устойчивое развитие — комплексное понятие, включающее обеспечение потребностей живущих людей, не лишаящее будущие поколения возможности удовлетворения своих потребностей, согласование образа жизни с экологическими возможностями региона, определенные ограничения в эксплуатации природных ресурсов, связанные со способностью биосферы Земли справляться с последствиями человеческой деятельности.

Устойчивое развитие на современном этапе понимается как положительное экономическое, технологическое и социальное развитие отдельных территорий (регионов, городов) при сохранении жизнеспособной среды обитания. Решение этой задачи достигается в процессе взаимодействия общества и природы. Достижение соответствия во взаимодействии элементов этой системы (природа, население, строительство) является главной целью обеспечения экологической безопасности строительства. При этом необходимо, чтобы взаимодействие носило не разрушительный, а созидательный характер для всех элементов этой системы.

Применительно к строительству зданий и сооружений экологически безопасной считается такая взаимосвязь здания и инженерных систем, которая на протяжении всего срока службы обеспечивает эффективную эксплуатацию объекта при соблюдении следующих условий:

минимальные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, в частности веществ, способствующих созданию парникового эффекта, глобальному потеплению, выпадению кислотных дождей;

минимальные объемы потребляемой энергии из невозобновляемых источников, сокращение энергопотребления и энергосбережение;

минимальные объемы твердых и жидких отходов, в том числе от ликвидации самого здания (сооружения) и утилизации частей инженерного оборудования по истечении срока службы и выработке ресурса;

минимальное влияние на экосистемы окружающей среды по месту нахождения объекта;

наилучшее качество микроклимата в помещениях здания, санитарно-эпидемиологическая безопасность помещений, оптимальный тепловлажностный режим, высокое качество воздуха, качественные акустика, освещение.

Если все перечисленное кажется перечнем благих намерений, вряд ли осуществимых в обозримом будущем, отметим, что, в частности, в Европе за последние 10...20 лет построено много разных зданий по типу и назначению, которые доказали, что многие условия экологической безопасности можно осуществить уже сегодня, если на этапе разработки проекта отойти от традиционного разделения задач архитекторов, инженеров и заказчика.

Общим признаком таких проектов стал отказ от существующего представления о необходимости использовать для обеспечения комфортных условий системы климатизации со всей их холодильной и тепловой мощностью. Экологическое проектирование, напротив, предлагает «ввести природу в дом» и использовать природные возможности, в том числе энергетические, настолько широко, насколько это возможно, сохранив за инженерными системами одну лишь задачу интеграции, и только в случае крайней необходимости.

В такой форме концепция экологически безопасного проектирования ведет к переоценке задачи, открывая двери применению естественной вентиляции, солнечной радиации и другим возобновляемым источникам энергии так, чтобы само сооружение становилось самодостаточным благодаря использованию систем, регулирующих состояния его теплообмена с внешней средой. Механическим системам отводится чисто интегрирующая роль — компенсировать состояния, обусловленные экстремальными условиями температуры и влажности воздуха в зимний и летний периоды.

Обычное проектирование не может считаться экологически безопасным, поскольку целиком и полностью сводится к одному лишь поиску энергоэффективных инженерных систем, пусть даже с высокими стоимостными показателями. Между тем именно взаимосвязь здания с местными климатическими условиями с учетом предусматриваемых инженерных решений должна решить задачу его «экологической» привязки [2].

Актуальность проектирования и строительства доступного энергоэффективного жилья на сегодняшний день очевидна. Сегодня для многих понятие «энергоэффективный дом» подразумевает только лишь применение хорошего утеплителя в стенах или использование светильников с энергосберегающими

лампами, а доступное жилье — это маленькие квартиры с кухнями-нишами. В то время как центры многих городов урбанизируются, жилищная застройка уплотняется высокоэтажными домами, возникает потребность в проектировании малоэтажной застройки с адекватными и удобными для жизни человека условиями.

Современная малоэтажная застройка — это разнообразные по архитектуре и функциональному содержанию типы жилища: от индивидуального жилого дома до многоквартирных домов. Малоэтажные жилые дома всех типов (индивидуальный, блокированный, многоквартирный) обладают общим качеством — наиболее гуманной формой организации жилища. Разнообразие форм, разновидностей и типов дает возможность малоэтажной застройке органично вписаться в жилую среду городов, соседствовать с многоэтажными районами новостроек, восполнять утраченные фрагменты в исторических зонах. Вытесненные многоэтажными жилыми домами и общественными, торгово-развлекательными, офисными зданиями из зон массового строительства, малоэтажные жилые дома вновь начинают занимать подобающее им место в системе городской застройки. Несмотря на жесткие нормативные ограничения, в противовес «экономичным» стереотипам многоэтажного строительства малоэтажная застройка отдельными объектами стала появляться в городах нашей страны [3].

Современные тенденции в отечественном жилищном строительстве дают основание считать, что малоэтажная застройка в ближайшее время станет одной из приоритетных. Преимущества данной застройки заключаются в том, что разрабатываются типовые проекты, которые возможно применять на любой территории, ускоряются способы строительства, возникает привлекательность с экологической точки зрения. Диапазон планировочных схем домов для такой застройки практически неограничен. На сегодня уже сложился определенный стандарт многоквартирных жилых домов, которые могут пользоваться спросом у индивидуальных застройщиков и инвесторов. На основе современных тенденций и исследований выявлено, что наиболее дешевые дома — общей площадью до 100 м<sup>2</sup>. Как правило, на них разрабатываются так называемые типовые проектные решения, предназначенные для массового применения.

Специалистами ЗАО «Институт Волгоградгражданпроект» был разработан проект типового индивидуального жилого дома (рис. 1). В плане здание представляет из себя квадрат 8 на 8 метров в осях, в нем применяются столбчатые фундаменты с железобетонным ростверком, на который устанавливаются деревянные щитовые панели с полужестким утеплителем из минеральной ваты. Строительство данного объекта не предусматривает применение тяжелой строительной техники. Функционально дом разделен на две зоны по вертикали: 1-й этаж — зона гостиной и кухни, 2-й этаж — зона спален (рис. 2, 3). Отопление и горячее водоснабжение осуществляется 2-контурным газовым котлом, расположенным на кухне или в туалете. Общая инженерная система здания предусматривает применение энергоэффективных систем. На крыше здания размещаются пассивные и активные солнечные батареи, которые могут использоваться для нагрева воды и электроснабжения здания в течение солнечного дня. В подвале устанавливается коллектор системы теплового насоса. Система труб данного насоса расположена на индивидуальном

участке, заглублена в грунт и использует тепло земли. Все инженерные системы управляются и координируются внутридомовой системой «Умный дом». Общая площадь дома 123 м<sup>2</sup>, стоимость м<sup>2</sup> строительства составляет 17 209 руб. Данный типовой дом возможно строить в любом регионе России.



Рис. 1. Индивидуальный жилой дом. Общий вид

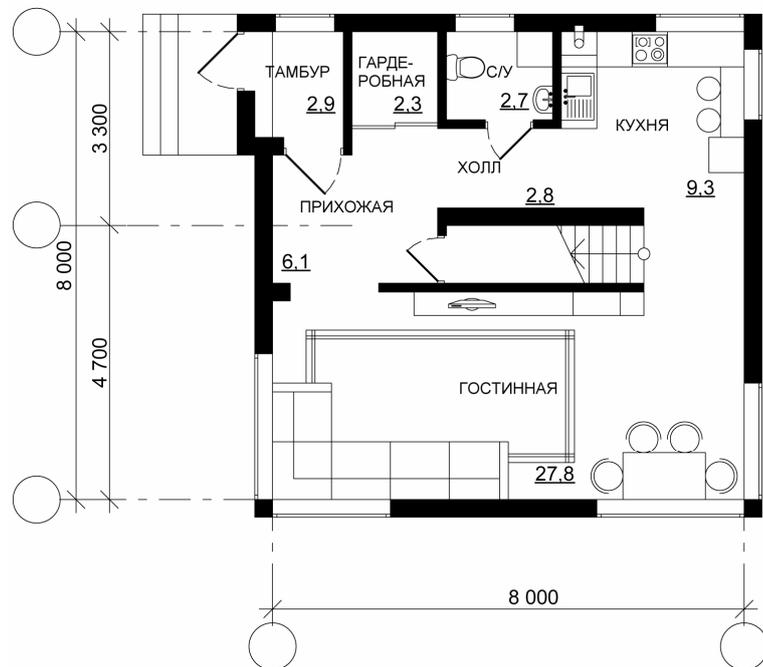


Рис. 2. Индивидуальный жилой дом. План первого этажа

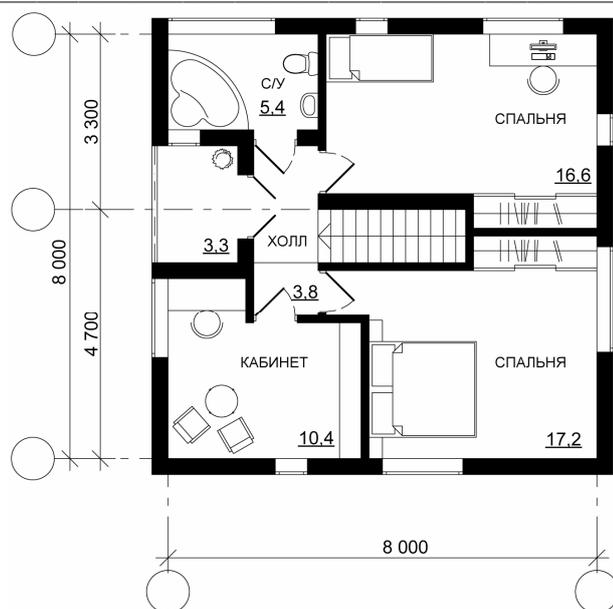


Рис. 3. Индивидуальный жилой дом. План второго этажа

Блокированные дома, сохраняя основные преимущества односемейного дома — обособленный вход в квартиру с улицы и непосредственную связь с приквартирным участком, обеспечивают более эффективное (по сравнению с отдельно стоящими домами) использование городской территории. Блокированные дома могут состоять из различных видов блоков — одноквартирных или из нескольких квартир, скомпонованных по вертикали в один объем [4]. Блоки могут иметь различную конфигурацию: прямоугольную, квадратную, Г-образную или быть сложной формы для вариантной блокировки квартир в застройке. Обычно высота блокированных домов — два-три этажа. Например, жилой дом в городе Вассенберг в Германии (рис. 4, 5). На узкой полоске земли размещается 3-квартирный дом с квартирами в двух уровнях. Форма дома состоит из двух объемов. Архитекторы должны были исходить из строгих экологических соображений при проектировании этого объекта, используя экологически чистые материалы и эффективные энергетические системы. Так как одной из основных целей было добиться максимальной энергоэффективности, основные жилые помещения были ориентированы на солнечную сторону, в то время как подсобные помещения обращены на север [5].

Малозэтажные многоквартирные дома наиболее приемлемы для строительства на урбанизированных территориях. Для обеспечения необходимой плотности застройки жилые многоквартирные дома должны образовывать компактные жилые группы с минимальными разрывами между объемами зданий. Применение ресурсосберегающих технологий должно быть основано на перспективном использовании. Зачастую солнечные батареи, коллекторы тепловой и солнечной энергии имеют высокую стоимость, поэтому для применения этих систем в строительстве необходимо снизить стоимость самого строительства. Для этого необходим комплексный анализ строительного рынка, проектных предложений, конструктивных и инженерных решений.

Применение же ресурсосберегающих технологий позволяет в перспективе существенно снизить затраты на потребление природных и материальных ресурсов.

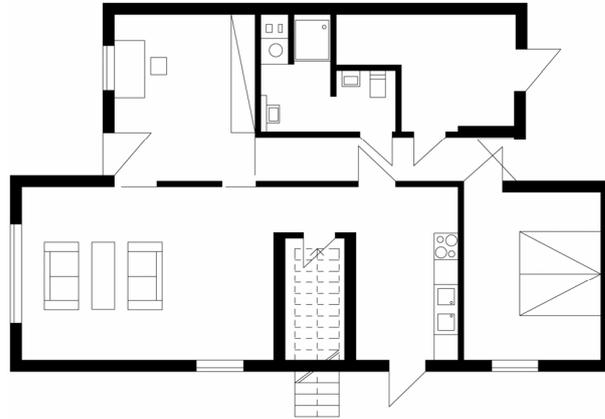


Рис. 4. Жилой дом в городе Вассенберг в Германии. План первого этажа

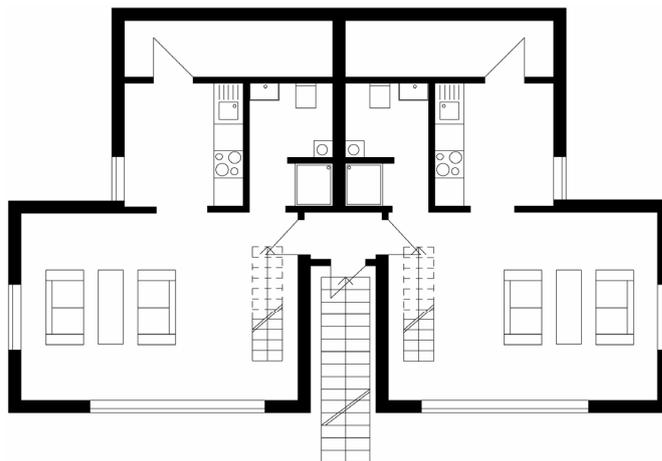


Рис. 5. Жилой дом в городе Вассенберг в Германии. План второго этажа

Использование солнечной энергии для подогрева воды, энергии земли для отопления, ветрогенераторов для снабжения домов электричеством, грамотное применение современных технологий и материалов в строительстве решает множество проблем. Каркасный дом и столбчатый (свайный) фундамент снижают потребление материалов, ориентация здания по сторонам света дает возможность экономить на отоплении и кондиционировании, эффективная теплоизоляция ограждающих конструкций, подвала и фундамента, а также приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепла позволяют снизить теплопотери, сантехническое оборудование с низким потреблением воды и вторичное использование дождевой и технической воды позволяют экономно расходовать воду. Все вышеприведенные примеры экологически ориентированного подхода в строительстве жилья дают нам пример экономичных проектных решений.

Дом Solar Tube (рис. 6, 7) находится на северо-западной окраине Вены, в тихом жилом районе, который, в основном, застроен домами на одну семью. Дом расположен на крутом склоне, центром его конструкции стал полностью застекленный атриум, который обеспечивает вертикальную циркуляцию воздуха во всех пяти ярусах.



Рис. 6. Дом Solar Tube. Общий вид

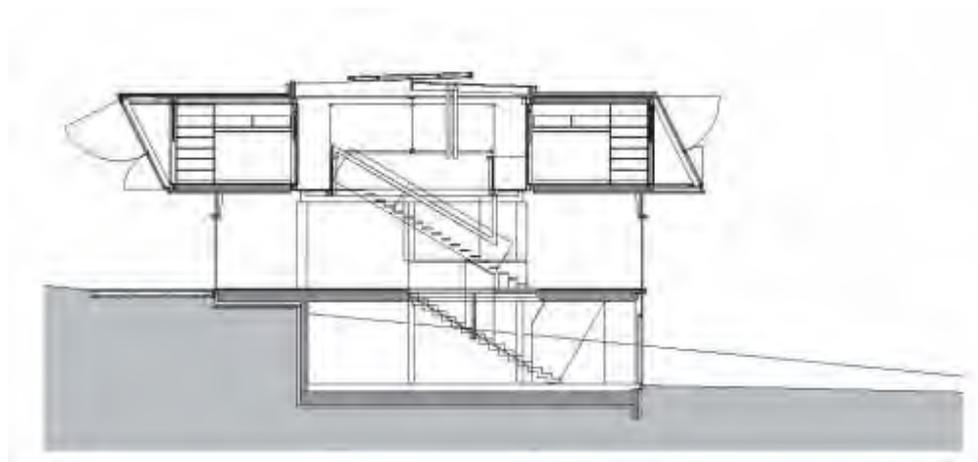


Рис. 7. Дом Solar Tube. Разрез

Находясь вне дома, можно наблюдать интерьеры многочисленных уровней и ярусов. Из дома открываются виды местного ландшафта. Сооружение в целом спланировано как «приемник» тепла и света. Вокруг дома — лесистая территория, и достаточное количество тени позволяет смело делать застекленные фасады. Крыша и полы дома также имеют прозрачные вставки, посредством которых атриум приобретает функцию пассивного распределителя света и воздуха по всему дому. Благодаря атриуму, который действует по принципу вытяжной трубы, летом теплый воздух поднимается и уходит через открывающуюся панель остекления крыши. Зимой же затраты на отопление значительно сокращаются, так как солнечная энергия проникает через застекленную поверхность. Solar Tube был построен всего за пять месяцев, что стало возможным за счет использования в основном готовых компонентов и материалов заводского или индивидуального изготовления. Неотъемлемая часть интерьера — это стальная конструкция. Покрашенная в черный цвет, она является каркасом для деревянных панелей, стекла, камня и придает эстетичность кубическому дизайну [6].

Конструктивные системы и схемы зданий и сооружений должны отвечать требованиям охраны окружающей среды, т. е. быть экологически целесообразными.

Экологизация проектного решения жилого здания с помощью объемно-планировочных и конструктивных решений достигается различными мерами, среди которых: оптимизация размеров площади, объема и ориентации помещений, из которых состоит здание; максимальное использование подземного пространства; выбор оптимальной формы здания и ориентации по направлению ветра; проектирование экологически безопасных инженерных сетей (вентиляционных, отопительных, канализационных, мусороудаляющих и др.); озеленение всех поверхностей здания (стен, кровли) и благоустройство прилегающей территории, выбор экологического покрытия и пр. Специалисты отмечают высокую экологичность покрытий из нештучных материалов, особенно из природного камня — брусчатки, плит. В отличие от асфальтобетонных покрытий, они не растрескиваются, требуют меньшего ремонта и, главное, сохраняют «дыхание» почвы, благоприятно влияя на почвенную микрофлору [7].

Что касается высоты зданий, то этажность новых жилых домов на городских территориях колеблется в очень большом диапазоне: от 3 до 25 этажей. Казалось бы, малоэтажная массовая застройка с экологической точки зрения неприемлема, так как неизбежно приводит к бесхозяйственному расходованию земельного фонда. Однако приоритетным видом жилища в настоящее время являются именно малоэтажные жилые здания.

Новые источники финансирования в ряде случаев будут ориентированы на относительно малые объемы, меньшую этажность и более простую технологию возведения средствами малой механизации. В связи с этим конструктивные решения зданий должны измениться. Уменьшение этажности позволяет применять более дешевые варианты: стены из блоков ячеистого бетона, крыши по деревянным стропилам и т. п. вместо несущих бетонных стен, железобетонных покрытий. Но в условиях крупных городов этажность стремится к увеличению.

В энергоэффективных зданиях предусматривается использование тепла солнечной радиации и возможностей компьютерной техники для управления инженерным оборудованием, повышения качества микроклимата и окружающей среды. Это достигается применением комплекса мер по снижению затрат в строительстве, реконструкции и эксплуатации зданий: облегченные фундаменты, многослойные и эффективные конструкции стен и несущего каркаса зданий, использование инновационных систем инфраструктуры возводимых зданий и жилых комплексов — меньше материалов, соответственно меньше затрат на их производство и нагрузка на окружающую среду.

Наибольший эффект достигается, когда все мероприятия и системы (теплоготурбинные станции, локальные очистные сооружения с оборотным использованием очищенной воды, активные и пассивные солнечные коллекторы, земле-травяные кровли, системы тепловых насосов, системы рекуперации воздуха, светодиодное освещение и т. д.) решаются в комплексной застройке, при этом следует учитывать, что проектные решения должны приниматься на основе ресурсосберегающего подхода.

Для строительства энергоэффективного здания изначально необходима совместная работа инженеров по отоплению, вентиляции и строительным конструкциям с архитектором (проектировщиком).

При проектировании мы должны тщательно подбирать технологии и оборудование — от этого зависит результат, размер экономии. Очень важно, чтобы системы и оборудование слаженно встраивались в общую систему, подключались к автоматике, ими управляющей, и корректно работали.

Применяя экологические принципы и представления, которые могут быть положены в основу концепции проектирования устойчивого экологически безопасного строительства, можно не только существенно снизить воздействие на окружающую среду при строительстве, но и создать в городе адекватную для жизни экологическую систему.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидоренко В. Ф. Теоретические и методологические основы экологического строительства, Волгоград, 2000. 200 с.
2. Экологическая безопасность. Взаимосвязь здания и инженерного оборудования // АВОК. 2006. № 4. С. 70—83.
3. Малоэтажное городское жилище: каталог проектов // ЦНИИЭП Жилища. М., 1992.
4. Дом XXI века: каталог архитектурных проектов / Фонд РЖС. М., 2010.
5. DETAIL. Журнал об архитектуре и строительных деталях. Серия 2010-7/8. С. 718.
6. SMALL Eco-HOUSES. TASCHEN GmbH, 2007.
7. «Здания малоэтажные жилые. Общие требования обеспечения экологической безопасности. СТО БДП-3-94, М., 1994. 40 с.

© Петров В. Э., 2015

Поступила в редакцию  
в январе 2015 г.

Ссылка для цитирования:

Петров В. Э. Проектирование доступного жилья с применением принципов экологической безопасности // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 193—202.

Об авторе:

**Петров Всеволод Эдвинович** — ассистент кафедры урбанистики и теории архитектуры, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолгГАСУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [rainboss@yandex.ru](mailto:rainboss@yandex.ru)

**V. E. Petrov**

## **DESIGN OF AFFORDABLE HOUSING WITH THE USE OF ENVIRONMENTAL SAFETY METHODS**

The article is devoted to the modern principles of design of environmentally friendly low-rise residential development with the use of resource-saving technologies.

**Key words:** environment, energy efficiency, individual houses, town houses, apartment blocks.

### REFERENCES

1. Sidorenko V. F. *Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy ekologicheskogo stroitel'stva* [Theoretical and methodological principals of ecological construction]. Volgograd, 2000. 200 p.
2. [Ecological safety. Interrelation of a building and engineering equipment]. *AVOK* [HVAC], 2006, no. 4, pp. 70—83.
3. [Low rise city dwelling: catalog of projects]. *TsNIEP Zhilishcha* [CNIIEP Dwelling]. Moscow, 1992.
4. *Dom XXI veka: katalog arkhitekturnykh proektov* [A house of XXI century: catalog of architectural projects]. RHD Fund. Moscow, 2010.
5. *DETAIL*. Magazine about architecture and construction details. Ser. 2010-7/8. P. 718.
6. *SMALL Eco-HOUSES*. TASCHEN GmbH, 2007.
7. Low rise residential buildings. General requirements of ensuring ecological safety. SA BDP-3-94. Moscow, 1994. 40 p.

#### *For citation:*

Petrov V. E. [Design of affordable housing with the use of environmental safety methods]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 193—202. (In Russ.).

#### *About author:*

**Petrov Vsevolod Edvinovich** — Assistant of Urban Planning and Theory of Architecture Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [rainboss@yandex.ru](mailto:rainboss@yandex.ru)

УДК 556.5(470.45)

**А. Н. Салугин**

*Российский государственный университет туризма и сервиса*

## **СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ВОДНОГО БАЛАНСА ВОЛГОГРАДСКОГО РЕГИОНА**

Разработана структура водного обмена внутри территории Волгоградского региона с помощью ориентированного графа для использования в имитационном моделировании. Основой структурного описания является динамический баланс воды между объектами сложной системы. Вводится фиктивный параметр в виде свободной воды с нормировкой всего объема на единицу. Имитационная модель реализована в контексте системной динамики и автономного импульсного процесса.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** водный баланс, оргграф, имитационное и математическое моделирование, сложные системы, импульсные процессы.

Одной из главных эколого-экономических задач управления является проблема эффективного использования водных ресурсов территории. Это особенно важно для регионов, расположенных в аридных зонах. Проектирование мероприятий, сохраняющих влагу и привносящих в водный баланс ландшафта устойчивость, должно быть экономически обосновано. При этом должны учитываться экологические и социально-демографические аспекты проблемы. Эффективное управление регионом с дефицитом воды должно обеспечивать водный баланс территории с учетом отмеченных выше факторов. Эффективность управления достигается оптимальностью принимаемых решений, которая требует, в свою очередь, математического моделирования. Теория управления предполагает использование различных методов моделирования [1—4]. Разработка математической модели региона ставит своей целью показать возможность компьютерных технологий в оказании помощи руководству региона при принятии грамотных управленческих решений, когда приходится учитывать несколько критериев оптимальности.

Структурная модель водного баланса является начальным этапом и разрабатывалась для дальнейшего использования в имитационном моделировании (системная динамика) [4] и автономных импульсных процессов на взвешенных оргграфах [3]. При разработке моделей водного баланса рассматривался гипотетический (идеализированный) регион. Это позволяет путем внесения изменений в параметры структурной модели привести ее в соответствие с реальным регионом.

Основным аспектом экономического и социального развития территории, подлежащей исследованию в разрабатываемой модели, является его водный баланс, который исследовался нами как функция от различных факторов развития территории: экономических, социально-демографических, политических.

Водный баланс — показатель, который указывает на соотношение между всей аккумулируемой и потребляемой на территории водой за некоторый период времени. Уравнение водного баланса в общем виде может быть описано простой формулой:

$$\sum_{i=1}^n S_i = \sum_{j=1}^m U_j, \quad (1)$$

где  $S_i$  — объем воды, получаемый регионом из  $i$ -го источника, а  $U_j$  — это объем воды, затрачиваемый  $j$ -м потребителем;  $n, m$  — число источников и потребителей.

Все источники и потребители разделяются на две большие категории: естественные и искусственные (антропогенные). К естественным относятся атмосфера, защитные лесные насаждения (ЗЛН), земельные угодья (ЗУ), почвенный растительный покров (ПРС), искусственные и естественные водоемы, т. е. все элементы экосистемы. Антропогенными потребителями являются здания и сооружения, предприятия агропромышленных комплексов (АПК) и человек как частное лицо. Антропогенные источники — другие регионы как поставщики дополнительной воды.

В общих чертах схема водного баланса региона может быть описана схемой, представленной на рис. 1, где вершины графа — участники водного баланса, а дугами отмечены направления перемещения водных масс.

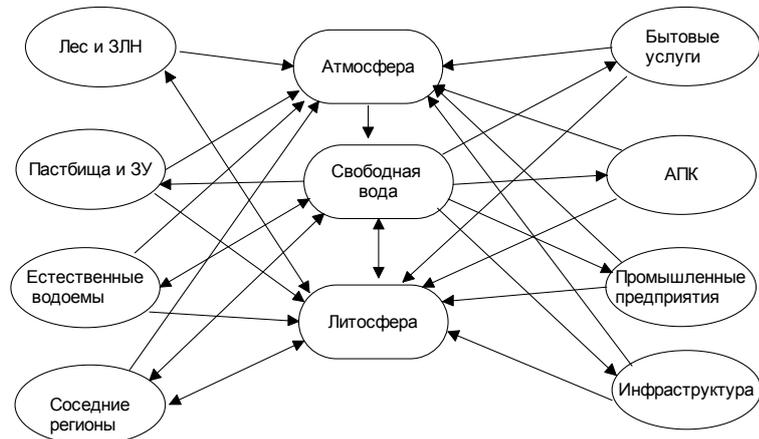


Рис. 1. Модель водного баланса региона в первом приближении с экономическими показателями

Свободная вода — индикатор баланса: объем воды, не используемой в текущий момент. Это понятие введено условно для моделирования процессов динамического обмена водными ресурсами.

Приведенная обобщенная модель показывает, что вода становится свободной в результате: выпадения осадков (переход из атмосферы); естественного возврата воды из земной поверхности (переход из литосферы); естественного стока из других соседних регионов (переход из других регионов); завоза воды из других регионов; забора воды из естественных водоемов.

Все остальные элементы водного баланса по отношению к свободной воде являются потребителями и возвращают ее в оборот посредством переходов в атмосферу (испарение) и литосферу (инфильтрация). Таким образом, возврат воды в свободное состояние является процессом динамического обмена водными массами внутри системы, обеспечивая выполнение условия (1).

Модель можно уточнить, вводя, например, элементы экосистемы — естественных участников водного баланса. На рис. 1 представлена модель, описывающая водный баланс региона, в которой участвуют лишь естественные элементы экосистемы и выделено всего два типа растительности. Это сделано для упрощения. Для реальных регионов можно включить дополнительно типы растительности. Это делается легко, т. к. в модели реализован модульный подход к учету потребления и восстановления воды различными видами растительного покрова: для каждого типа покрова определяется его суммарная площадь по всему региону; для всех участков с заданным типом покрова определяются такие показатели, как количество воды, испаряемое с единицы площади в атмосферу; количество воды, просачивающееся через единицу площади его поверхности в землю (инфильтрация), и количество воды, удерживаемое биомассой экосистемы на единицу площади (транспирация). Отмеченные параметры вводятся в модель перед ее выполнением.

Водный обмен между регионом и соседними территориями осуществляется через грунтовые воды (переход из других регионов в литосферу и обратно) за счет речного потока или в виде поверхностного стока и частично через атмосферу.

Следующая часть баланса — антропогенная. Особенность антропогенных участников в том, что воду они забирают из свободного состояния, а возвращают трем естественным потребителям: атмосфере, литосфере и водоему. При этом для восполнения объемов свободной воды производится забор воды из водоемов и обмен водой с соседними регионами. Уточним некоторые детали объектов модели в ее антропогенной части.

Первыми объектами, выбранными нами для уточнения, явились промышленность и сельское хозяйство, которые были объединены в агропромышленный комплекс (АПК) (рис. 2). Оба объекта представлены большими предприятиями, выпускающими некоторый условный продукт, характеристики которого определены как средние по отрасли.

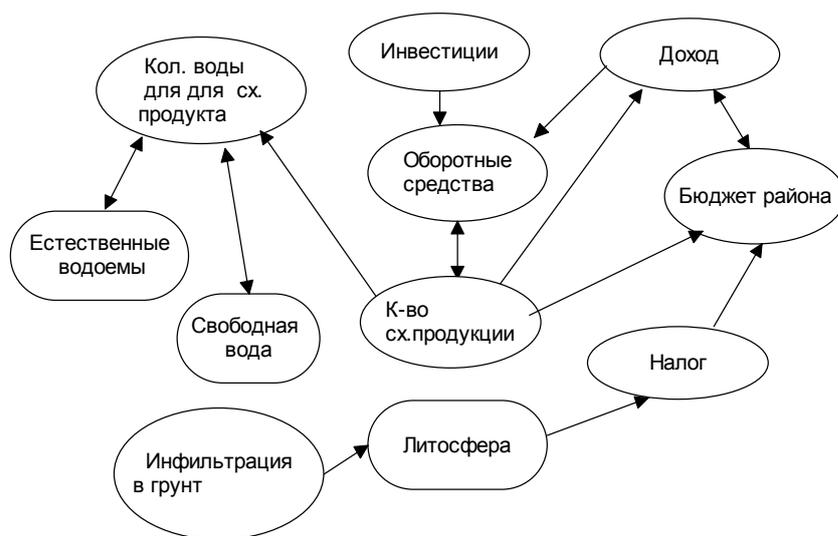


Рис. 2. Модель водного баланса агропромышленного комплекса

Водный баланс АПК зависит от количества единиц сельскохозяйственной продукции (объем производства) и объема воды, используемой для производства единицы продукции. При этом учитывается объем воды, попадающей в грунт за счет инфильтрации. Объемы воды определяются здесь как водой при непосредственном производстве, так и используемой другими цехами АПК в технологическом процессе.

Количество производимого продукта зависит от ряда экономических показателей, эта зависимость также представлена на схеме и учтена в модели отдельным блоком экономики.

Социальные аспекты моделировались расходом воды на бытовые нужды. Здесь вводятся величины объемов воды, забираемой из запаса свободной воды для частных нужд, рассчитанных на одного человека. Объем свободной воды для всего населения определяется средним объемом воды на одного человека и численностью населения. Аналогично протекают процессы для формирования запасов воды в атмосфере, водоемах и грунте. Демографическая ситуация в регионе отражается на общем балансе основным блоком «Численность населения». Численность населения зависит от таких социально-демографических показателей, как рождаемость, смертность и интенсивность миграционных потоков. Последнее определяет стратегию развития региона с учетом политики стабильного развития и повышения жизненного уровня людей.

К антропогенным объектам водного баланса территории относится также инфраструктура региона. Под инфраструктурой здесь понимается совокупность объектов, обеспечивающих функционирование системы при обмене информацией, строительными материалами, электроэнергией, перевозке людей (школьники, рабочие и т. д.). В основном это транспортные пути, по которым осуществляется передвижение различного рода ресурсов, а также людей. В модели условного региона нет различия между типами элементов инфраструктуры, а учитывается лишь количество усредненных элементов и среднестатистические объемы воды, затрачиваемые на их функционирование. Для модели реального региона можно поступить аналогичным образом, вводя соответствующие показатели для различных элементов инфраструктуры.

Разработанная структурная модель водного баланса региона, выполненная в виде ориентированного графа, учитывает экологические, экономические и социально-демографические аспекты. В модели имеется ряд переменных, которые могут участвовать в управлении регионом с учетом политики повышения жизненного уровня населения. Эта укрупненная схема может быть использована в контексте конкретной реализации численного или имитационного моделирования отдельного реально существующего региона. Для этого необходимо иметь исходные данные из наблюдений или других источников.

Следующим этапом разработки модели водного баланса является выбор математического метода для ее реализации. Очевидно, что здесь весьма эффективны методы дискретной математики [1—4]. Обращает на себя внимание наличие потоков в сложной и достаточно развитой системе объектов с определенной динамикой в процессе жизнедеятельности территории. Важно, чтобы модель отвечала на вопросы устойчивого функционирования и жизнедеятельности и служила эффективному управлению регионом. В последние

годы интенсивно развиваются методы имитационного моделирования на базе системной динамики, использующей идею балансовых соотношений и дифференциальных уравнений [5]. В связи с этим автор планирует развитие предложенной модели в контексте системной динамики с использованием пакета имитации AnyLogic фирмы XJ Technologies.

Имитационное моделирование (ИМ) — это процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить различные стратегии, обеспечивающие ее функционирование [6]. ИМ позволяет демонстрировать поведение системы во времени, используя при этом *модельное* время, течением которого можно управлять, замедляя, ускоряя или останавливая его. Это время является аналогом реального, масштабируемого исследователем с целью выяснения характера процессов за удобное для наблюдения время. ИМ — это экспериментальная и прикладная методология, имеющая своей целью [7]: описать поведение системы; построить теории и гипотезы, объясняющие наблюдаемое поведение; предсказать будущее поведение системы. Имитационное моделирование не решает оптимизационных задач [8] и скорее является техникой оценки значений функциональных характеристик моделируемой системы.

Структура имитационной модели в общем случае может быть представлена в виде

$$E = f(x_i, y_i), \quad (2)$$

где  $E$  — результат действия системы;  $x_i, y_j$  — независимые и управляемые переменные и параметры;  $f$  — это функциональная связь между переменными и параметрами системы, описывающая функционирование системы.

Методика ИМ напрямую зависит от уровня моделирования (от степени детализации) описания объекта. При этом каждому уровню ставится в соответствие определенное понимание системы, законов функционирования и ее элементов, реакции на внешние воздействия. Как правило, выделяют 3 уровня моделирования: структурный, логический и уровень количественного моделирования [7].

ИМ относится к уровню структурного моделирования, на котором система описывается с помощью алгоритмических процедур. На этом уровне определяется состав и структура системы, иерархическая подчиненность элементов системы и функциональные связи между ними.

Функционирование системы и динамика процессов, протекающих в ней, описываются системой дифференциальных отношений в виде системной динамики. Системная динамика — парадигма ИМ, сосредоточенная на причинных связях в системе и глобальных влияниях одних параметров системы на другие в процессе ее функционирования. Этот метод осуществляет подход к изучению систем, целью которого является исследование их поведения во времени в зависимости от структуры элементов системы и взаимодействия между ними. Системная динамика, разработанная автором [5], при моделировании системы предъявляет особые требования к модели. Модель должна иметь простую математическую форму и отражать сложные причинно-следственные связи независимо от характера взаимодействий (непрерывные,

дискретные, случайные). Кроме этого, модель должна иметь схожую с экономическими и социальными науками терминологию с большим числом переменных.

Системно-динамическая модель XJ AnyLogic состоит из накопителей — абстракция, показывающая накопление значения какой-либо величины в системе; потоков между накопителями с заданными скоростями, управляемыми посредством вентилях; динамических переменных и параметров в виде исходных констант [9]. При системно-динамическом подходе не конкретизируются элементы системы, а рассматриваются их агрегированные показатели [8]. Данная методология применяется, когда нет необходимости изучать отдельные объекты системы, и функционирование системы рассматривается на уровне интегрированных величин. Формально — это система дифференциальных уравнений, задающих динамику потоков между накопителями.

Структурная модель была реализована нами в виде системно-динамической нотации AnyLogic (рис. 3) с рядом условностей. В водный обмен внутри региона был введен фиктивный параметр для более прозрачного понимания водного баланса в связи с достаточно сложной распределительной системой потребления воды. Это было необходимо для более четкого выделения места для экосистемы, включающей в себя ландшафты с системами водного орошения и защитного лесоразведения земельных угодий и т. д.

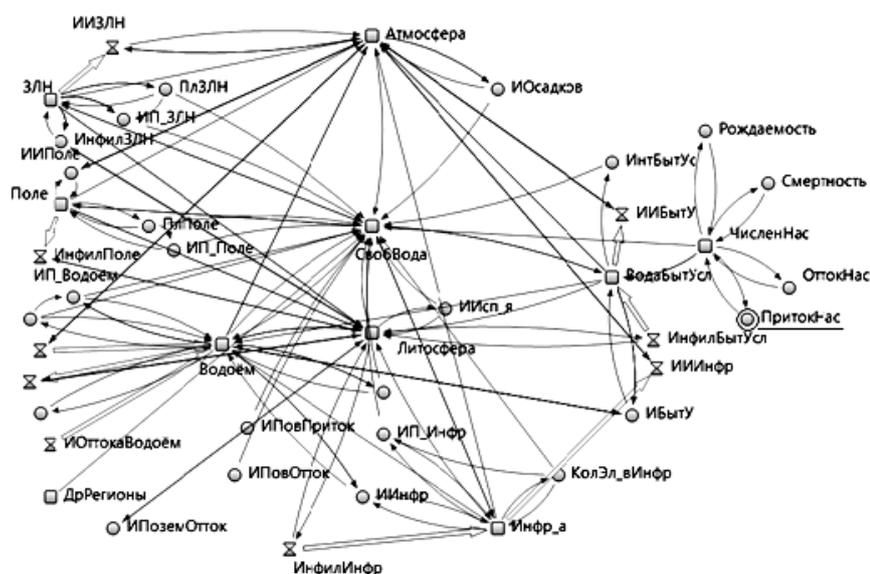


Рис. 3. Системно-динамическая интерпретация структурной модели региона

Моделирование осуществляется с учетом нормирования — весь объем воды в регионе принимался за единицу. Для предотвращения перерасхода воды количество производимых АПК продуктов ограничивалось минимальным значением из соотношений: оборотные средства к цене производства единицы продукции и объема свободной воды к затратам воды на производство единицы продукции. Такое ограничение является логичным отражением реальности: производство не растет, если для роста не хватает хотя бы одного

ресурса. Для стоимости производства единицы продукции также использовалось масштабирование. Так, если реальная стоимость производства единицы продукции составляет 100 тыс. руб., то модельная равна 100 руб. Результат предварительного прогона разработанной модели представлен на рис. 4. Исходные начальные данные были взяты из работы [8], нормировались и применялись в качестве динамических переменных или констант системно-динамической модели AnyLogic. Отметим некоторые допущения в выборе связей между объектами моделей территории и их интенсивностей. Это было не принципиальным моментом, так как регион модели являлся вымышленным с параметрами, близкими к реальным наблюдаемым.

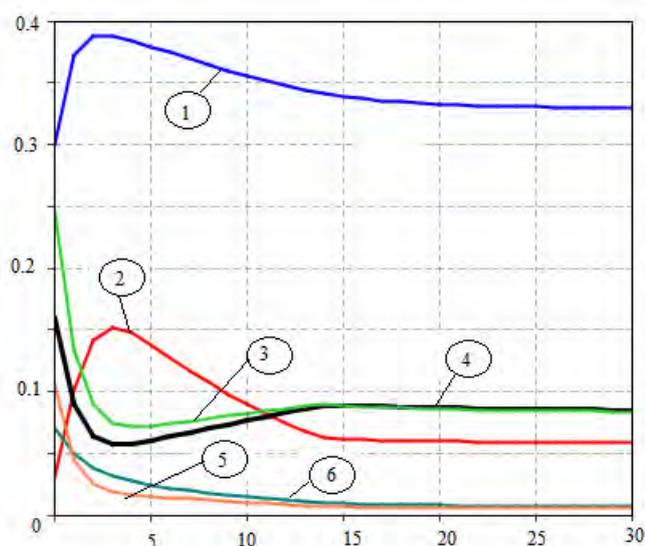


Рис. 4. Результат имитации в приближении заданных исходных значений переменных и параметров: 1 — водоем, 2 — свободная вода, 3 — АПК, 4 — грунтовые воды (литосфера), 5 — бытовые расходы

Как видно из представленного графика, система водного баланса модельного региона приходит к равновесному состоянию. Качественно результат ИМ демонстрирует нелинейное поведение системы после запуска имитации. Это свидетельствует о том, что исходные начальные данные накопителей, динамических переменных и параметров не обеспечивают устойчивого развития региона. На начальном этапе имитации вода перераспределяется между отдельными элементами системы. В районе 4-го периода прогона имитационной модели наблюдается качественная перестройка хода кривых динамики: «Водоем» и «Свободная вода» вначале увеличивают свой расход до некоторого значения, затем постепенно уменьшают, выходя на «плато».

Кривые для поглотителей ведут себя также нелинейно. Качественная перестройка распределения водных потоков на 4-й итерации свидетельствует, на наш взгляд, о бифуркационном переходе в устойчивое состояние.

Импульсная модель водного баланса в нашем случае была необходима для поиска оптимальных параметров системно-динамической модели, приводящих к устойчивому водному балансу.

Несмотря на то, что используемые подходы хотя и сходны при наблюдении за эволюцией системы во времени, но имеют и отличия. Главное заключается в том, что в системно-динамической модели можно переводить потоки одного типа в потоки других типов, как это было сделано в разработанной ранее модели: потоки воды переходили в потоки денег через коэффициенты интенсивности водных и экономических затрат на производство единицы условной продукции АПК. В импульсной модели такие преобразования невозможны, необходимо, чтобы в системе через все ее элементы пульсировал поток одного типа.

В качестве потока в импульсной модели водного баланса региона использовался реальный поток воды. Сама модель строилась на основе модели водного баланса первого приближения (см. рис. 1). Структурная импульсная модель водного баланса была реализована в виде орграфа [10]. Все вершины пронумерованы. Это было необходимо для облегчения работы компьютерной программы имитации импульсного процесса на взвешенном орграфе.

Для симуляции импульсных процессов на взвешенных орграфах его необходимо представить в виде матрицы смежности, которая так же, как и графическое представление, показывает взаимное влияние вершин и удобна для алгоритмов оптимизации.

Если задать исходные значения матрицы смежности и запустить симуляцию автономного процесса продолжительностью 30 итераций, то в результате численной реализации получается график, показывающий, что импульсный процесс также стабилизируется. Вместе с тем, отметим, что стабильному состоянию также предшествует зона нелинейного формирования устойчивого распределения водных ресурсов внутри всей моделируемой системы.

На основании того, что графики водного баланса по всем выявленным потребителям и источникам для обеих моделей совпадают, и на основании того, что для построения импульсной модели использовались исходные данные системно-динамической модели, можно сделать вывод об их аналогичности и взаимозаменяемости, а также применимости результатов, полученных из одной модели, в другой. Динамика импульсных процессов определяет диапазон устойчивых параметров системы, а сама модель симуляции является основой для подбора оптимальных параметров, обеспечивающих устойчивое развитие региона в многокритериальной постановке.

Отметим основные наиболее важные результаты структурного моделирования с их реализацией в имитационных и импульсных процессах.

Разработаны и реализованы модели водного баланса территории. Имитационная модель в виде системно-динамической концепции AnyLogic прогнозирует состояние водного баланса региона с точки зрения многокритериального и системного подхода к проблеме использования свободной воды. Системно-динамическое и импульсное моделирование условного региона позволяет оптимизировать его водный баланс с точки зрения экономического, социально-демографического и политического развития.

Применение методов имитационного моделирования для управления регионом позволит его руководителям производить первичный анализ последствий для экосистемы после тех или иных действий экономического, демографического, политического и иного характера. Это, в свою очередь, ускорит работу по принятию обоснованных управленческих решений.

Предварительный анализ результатов предполагаемых решений методами имитационного моделирования позволит более качественно планировать и управлять, выявляя «узкие места» в плане реализации. Предварительное моделирование последствий позволит снизить затраты на экологические экспертизы предполагаемых действий за счет уменьшения числа и сложности таких экспертиз. Следует отметить, что имитационное моделирование стимулирует развитие науки управления в аспекте принятия оптимальных решений. Вместе с тем имитационное моделирование предлагает доступные компьютерные программные средства для реализации сложных территориальных проектов и эффективного управления ими.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алиев Т. И.* Основы моделирования дискретных систем. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. 319 с.
2. *Сидоренко В. Н.* Системная динамика. М. : ТЕИС, 1998. 267 с.
3. *Робертс Ф. С.* Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М. : Наука, 1986. 496 с.
4. *Боев В. Д., Кирик Д. И., Сыпченко Р. П.* Компьютерное моделирование: пособие для курсового и дипломного проектирования. СПб.: ВАС, 2011. 348 с.
5. *Форрестер Дж.* Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика) / пер. с англ. М. : Прогресс, 1971. 340 с.
6. *Sterman J.* Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Higher Education, 2000. 1008 p.
7. *Warren K.* Strategic Management Dynamics. London Business School, John Wiley&Sons Ltd., 2008.
8. *Евстегнеев Д. В., Ледащцева Т. Н.* Использование когнитивных моделей при построении комплексной оценки состояния территории // ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ. 2003. № 6. С. 1592—1599.
9. AnyLogic Tutorial. XJ Technologies. URL: <http://www.xjtek.com>
10. *Салугин А. Н., Устиченко А. А.* Автономные импульсные процессы // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2013. Вып. 3(28). Ст. 15. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

© Салугин А. Н., 2015

Поступила в редакцию  
в ноябре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

*Салугин А. Н.* Структурная модель водного баланса Волгоградского региона // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 203—212.

Об авторе:

**Салугин Александр Николаевич** — канд. физ.-мат. наук, д-р с.-х. наук, доц., проф. кафедры информационных систем, Российский государственный университет туризма и сервиса. Российская Федерация, 400067, г. Волгоград, ул. Кирова, д. 121, [saluginan@mail.ru](mailto:saluginan@mail.ru)

**A. N. Salugin**

#### STRUCTURAL MODEL OF WATER BALANCE IN VOLGOGRAD OBLAST

The authors develop the structure of water exchange in the region by means of a directed graph for use in simulation modeling. The basis of the structural description is the dynamic water balance between the objects of a complex system. Fictitious parameter is introduced as free water with normalization of the total volume. Simulation model is implemented in the context of the system of dynamic and autonomous impulse process.

**К e y w o r d s:** water balance, digraph, simulation and mathematical modeling, complex systems, impulse processes.

#### REFERENCES

1. Aliev T. I. *Osnovy modelirovaniya diskretnykh sistem* [Principals of discrete system modeling]. St. Petersburg, SPbSU ITP Publ., 2009. 319 p.
2. Sidorenko V. N. *Sistemnaya dinamika* [System dynamics]. Moscow, TEIS Publ., 1998. 267 p.
3. Roberts F. S. *Diskretnye matematicheskie modeli s prilozheniyami k sotsial'nym, biologicheskim i ekologicheskim zadacham* [Discrete mathematical models with appendixes to social, biological and ecological tasks]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 496 p.
4. Boev V. D., Kirik D. I., Sypchenko R. P. *Komp'yuternoe modelirovanie: posobie dlya kursovogo i diplomnogo proektirovaniya* [Computer modeling: guidebook for course and qualifying work design]. St. Petersburg, VAS Publ., 2011. 348 p.
5. Forrester J. *Osnovy kibernetiki predpriyatiya (industrial'naya dinamika)* [Principals of cybernetics of an enterprise (industrial dynamics). Transl. from English.]. Moscow, Progress Publ., 1971. 340 p.
6. Sterman J. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill Higher Education, 2000. 1008 p.
7. Warren K. *Strategic Management Dynamics*. London Business School, John Wiley&Sons Ltd., 2008.
8. Evstegneev D. V., Ledyashcheva T. N. [Use of cognitive models when designing a complex assessment of the state of the territory]. *Issledovano v Rossii* [Investigated in Russia], 2003, 6, pp. 1592—1599.
9. AnyLogic Tutorial. XJ Technologies. URL: <http://www.xjtek.com>
10. Salugin A. N., Ustichenko A. A. [Autonomous pulse precosses and system stability]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2013, no. 3(28), paper 15. Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

#### For citation:

Salugin A. N. [Structural model of water balance in Volgograd oblast]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 203—212. (In Russ.).

#### About author:

**Salugin Aleksandr Nikolaevich** — Candidate of Physics and Mathematics, Doctor of Agricultural Science, Docent, Professor of Information Service Department, Russian State University of Tourism and Service. 121, Kirova St., Volgograd, 400067, Russian Federation, [saluginan@mail.ru](mailto:saluginan@mail.ru)

УДК 666.964.32

**Д. А. Скоробогатченко, М. С. Боровик**

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДОВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ**

В работе рассматриваются вопросы, связанные с размещением и выбором мощности асфальтобетонных заводов для удовлетворения потребностей городского дорожного хозяйства в асфальтобетонных смесях. Авторами рассматриваются факторы, определяющие дислокацию завода, и приводится формализация комплексной задачи управления размещением асфальтобетонных заводов с целью максимизации суммарного экономического эффекта.

**Ключевые слова:** оптимизация дислокации, выбор мощности, асфальтобетонный завод, содержание городской улично-дорожной сети.

В настоящее время подавляющее большинство автомобильных дорог России не отвечают нормативным требованиям по транспортно-эксплуатационным показателям и функционируют в условиях значительного превышения допустимой нагрузки от транспортных средств. Данное обстоятельство способствует быстрому износу дорожных конструкций, приводя к сокращению сроков службы автомобильных дорог, что, в свою очередь, влечет за собой существенные социально-экономические потери [1].

Обеспечение нормативного транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог нежесткого типа, наряду с прочими не менее важными факторами, в значительной степени зависит от качества применяемых асфальтобетонных смесей [2]. Следовательно, без комплексной программы размещения и использования асфальтобетонных заводов (АБЗ), автоматизации управления и оснащения дорожно-строительных организаций новыми высокоэффективными и производительными смесителями невозможно повышение эффективности функционирования дорожного хозяйства страны<sup>1</sup>.

По мнению [3], ключевыми показателями, определяющими эффективное функционирование АБЗ, являются себестоимость производства асфальтобетонных смесей и их качество, которые, в свою очередь, зависят от размещения АБЗ их технических характеристик и загрузки.

В соответствии с отечественными нормативными документами<sup>2</sup> [4], в качестве традиционных факторов, определяющих дислокацию АБЗ (рис. 1), рассматривается близость к железнодорожным, автомобильным и водным путям, а также карьерам дорожно-строительных материалов. Далее после проверки выбранного места на время остывания смеси, так чтобы оно было меньше времени ее доставки к месту укладки, уточняются технические дета-

<sup>1</sup> Проект национальной программы модернизации и развития автомобильных дорог Российской Федерации до 2025 года // URL: <http://mindortrans.donland.ru/Default.aspx?pageid=51782>

<sup>2</sup> Технические рекомендации по устройству дорожных конструкций с применением асфальтобетона : Технический регламент ТР 103-07 : утв. Управлением научно-технической политики в строительной отрасли 01.06.2007. ГУП «НИИМосстрой», № 2007.

ли относительно площадки, персонала и коммуникаций. Важным фактором планирования размещения АБЗ является дальность до жилой застройки. АБЗ относятся к экологически опасным производствам, оказывающим серьезное негативное воздействие на окружающую среду, и санитарными требованиями должны быть отнесены не менее чем на 500 м от жилой застройки<sup>3</sup>.

Зарубежные исследователи, ориентируясь на технологии доставки асфальтобетонных смесей к объекту с минимальными теплопотерями [5], зачастую проблему выбора места дислокации АБЗ решают как логистическую задачу управления транспортом [6].

При этом выполнение условия размещения АБЗ с подветренной стороны населенного пункта на дальности не ближе 500 м является спорным и не всегда выполняется на практике (табл. 1).

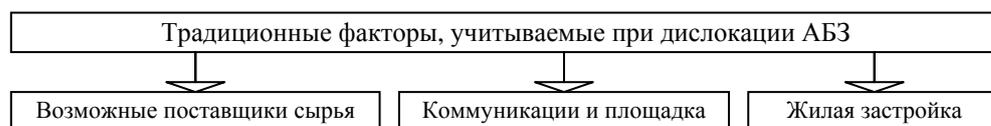


Рис. 1. Схема факторов, традиционно учитываемых при размещении АБЗ

Т а б л и ц а 1

*Данные по размещению некоторых АБЗ в г. Волгограде*

Наименование собственника	Тип АБЗ	Экология	Выпуск смеси
ДСУ-2 МУП трест ДМС (Кировский район)	1. ДС-158 — 30 т/ч 2. ДС 117 — 25 т/ч 3. Д 508 — 20 т/ч	Через дорогу (2-я Продольная магистраль) жилой сектор — 100 м, средняя школа — 200 м	Около 50 тыс. т
ОАО ДРСУ «Южное» (Кировский район)	ДС-158 — 30 т/ч	Через дорогу (2-я Продольная магистраль) жилой сектор — 100 м, средняя школа — 400 м	10...20 тыс. т
СУ 873 (Дзержинский район)	Тельтомат — 60 т/ч	Близость больницы № 18	3...5 тыс. т

Следует отметить, что применение инновационных технологий очистки и переработки на АБЗ позволяет существенно снизить уровень их загрязняющего воздействия [7, 8]. Безусловно, учет дальности поставки материалов и полуфабрикатов является чрезвычайно важным фактором при выборе места

<sup>3</sup> Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. / утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 10.04.2008 № 25. М.: Минздрав России, 2003. 48 с.

дислокации АБЗ. Тем не менее, считаем крайне ограниченным подход, опирающийся только на данный фактор при оптимизации вопросов, связанных с себестоимостью конечного продукта.

Другим существенным показателем, определяющим эффективное функционирование АБЗ, является выбор его мощности, способствующей непрерывности укладки смеси [9, 10]. Как в отечественных [11], так и в зарубежных [12] исследованиях указывается, что мощность АБЗ должна быть оптимальной: как низкая производительность АБЗ, так и превышение его производительности над потребностями ведет к нарушению технологии и снижению качества.

Следовательно, можно констатировать, что проблема выбора места дислокации и мощности АБЗ для обеспечения потребностей города в асфальтобетонных смесях является комплексной, многофакторной и подверженной действию ряда вероятностно-неопределенных факторов (рис. 2).

Сторонники подобного подхода делают попытку максимизировать экономический эффект на основе комплексного подхода к размещению и развитию всех АБЗ, обеспечивающих потребности города с учетом неравномерности потребления готовой продукции множеством разрозненных потребителей<sup>4</sup>. Однако в экономических реалиях сегодняшнего дня с негосударственными подрядчиками, тендерными торгами и бюджетным финансированием различного уровня этот, безусловно, ценнейший подход имеет ограниченное применение.



Рис. 2. Схема факторов, предлагаемых при построении системы оптимизации дислокации и мощности городских АБЗ

Отметим, что при размещении городских АБЗ необходимо учитывать значительные объемы продукции из регенерируемой смеси, которые в связи с низкими энергозатратами и повышенными экологическими требованиями возрастают в последнее время<sup>5</sup> [13, 14].

<sup>4</sup> Методические рекомендации по оптимизации развития и размещения стационарных и передвижных асфальтобетонных заводов / утв. Постановлением Минавтодор РСФСР от 11.04.1980. М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР.

<sup>5</sup> Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации / утв. распоряжением Росавтодора № ОС-568-р от 27.06.2002. М.: Федеральная государственная служба дорожного хозяйства (Росавтодор), 2002.

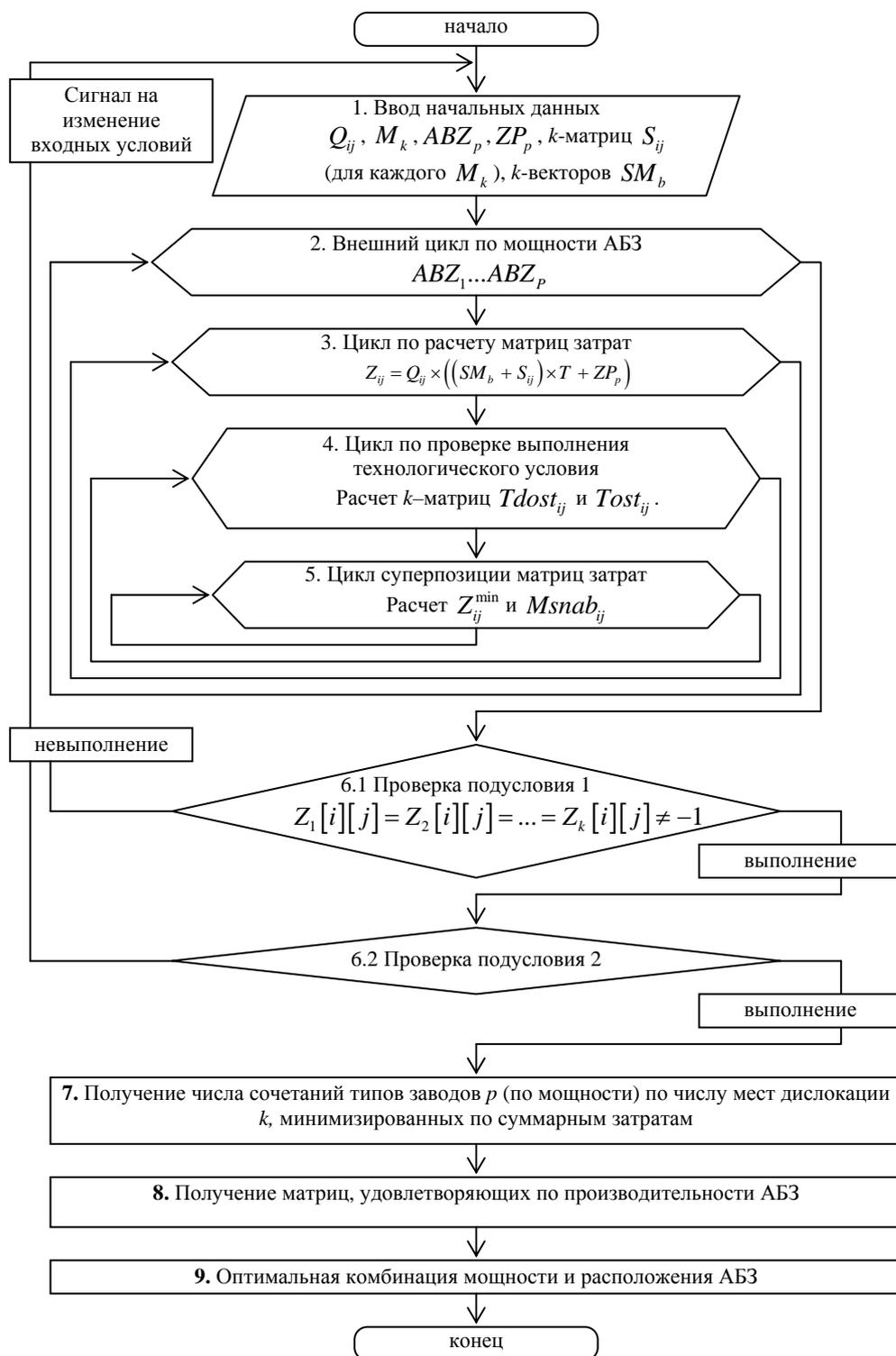


Рис. 3. Алгоритм выбора места дислокации и мощности АБЗ для обеспечения потребностей городского дорожного хозяйства

Таким образом, можно трансформировать сформулированную выше проблему обеспечения потребностей города в асфальтобетонных смесях в задачу моделирования дислокации и мощности асфальтобетонных заводов в городских условиях. Городское хозяйство характеризуется определенной потребностью в асфальтобетонных смесях, поставляемых с нескольких АБЗ различной мощности для ремонта и содержания муниципальных автомобильных дорог. Известны зарубежные подходы к решению проблемы повышения эффективности дорожного хозяйства на основе оптимизации размещения асфальтобетонных заводов и выбора их мощности. Так, в частности, в [15] авторами излагается подход, имеющий целью повышение эффективности использования выпускаемой продукции асфальтобетонных заводов на основе их передислокации по территории страны с одновременным усовершенствованием конструкций под выпуск смесей новых составов при модернизации технологических процессов. Однако следует отметить, что авторы решают задачу с точки зрения снижения затрат при функционировании четырех заводов, не рассматривая комплексное повышение эффективности муниципального дорожного хозяйства от передислокации АБЗ и оптимизации их мощности.

Целью дальнейших исследований является разработка системы поддержки выбора оптимального расположения АБЗ и их мощности для удовлетворения потребностей города в асфальтобетонных смесях.

Для достижения поставленной цели авторами предлагается алгоритм, представленный на рис. 3. Рассмотрим его.

На первом этапе алгоритма осуществляется ввод данных, в частности:

1) потребность города в асфальтобетонной смеси. Потребность в асфальтобетонной смеси можно рассматривать как матрицу. При этом число ее ячеек будет определять дискретность и точность расчетов. Матрица потребителей обозначена как  $Q_{ij}$ , где  $i$  и  $j$  — индексы, определяющие местоположение потребителя (сегмент города — см. рис. 4);

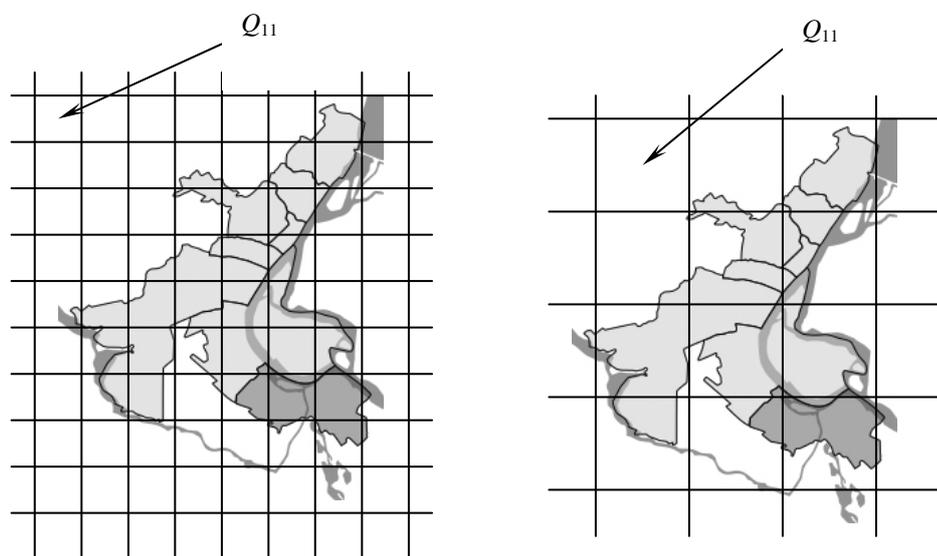


Рис. 4. Определение матрицы потребителей асфальтобетонной смеси  $Q_{ij}$

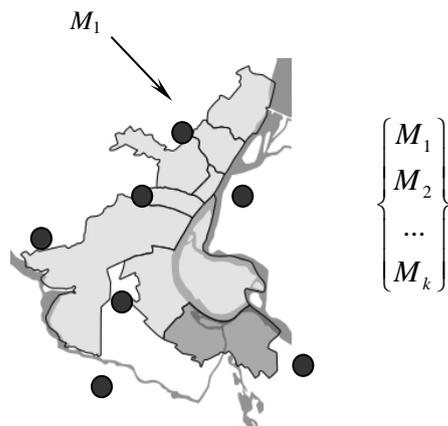


Рис. 5. Определение координат потенциального расположения поставщиков  $M_k$

2) координаты потенциального расположения поставщиков (то есть места возможной дислокации АБЗ). Вектор поставщиков обозначен  $M_k$ , где  $k$  — число заводов (первоначальное число мест возможной дислокации АБЗ — рис. 5);

3) типы АБЗ, отличающиеся производительностью по выпуску смеси и удельными затратами на ее производство. Вектор типов АБЗ обозначен  $ABZ_p$ , где  $p$  — число типов АБЗ по производительности (и соответствующей удельной стоимости смеси);

4) затраты на производство условной тонны смеси в зависимости от мощности завода  $ZP_p$ ;

5) расстояния от каждого потенциального месторасположения АБЗ до всех сегментов потребителей. Другими словами, для каждой точки потенциального расположения АБЗ вектора  $M_k$  необходимо задать матрицу расстояний  $S_{ij}$  до потребителей смеси (эта матрица будет влиять на стоимость поставки смеси к потребителям);

6) расстояния от каждого потенциального месторасположения АБЗ до поставщиков материалов. Для каждой точки потенциального расположения АБЗ вектора  $M_k$  необходимо задать вектор расстояний поставки материалов  $SM_b$ , где  $b$  — количество используемых материалов для приготовления асфальтобетонной смеси (этот вектор будет влиять на стоимость доставки компонентов на АБЗ).

На втором этапе функционирования алгоритма (см. рис. 3) осуществляется внешний цикл по перебору АБЗ по типам мощности. Данный цикл будет отвечать за подбор оптимальной пространственной конфигурации расположения заводов по мощности. Перебор АБЗ осуществляется, начиная с завода с минимальной мощностью до АБЗ с максимальной мощностью.

На третьем этапе осуществляется расчет матриц суммарных затрат каждого АБЗ по сегментам поставки. То есть для каждой точки потенциального расположения АБЗ вектора  $M_k$  необходимо рассчитать матрицу суммарных затрат по производству и доставке асфальтобетонной смеси до каждого потребителя (сегмента города)  $Z_{ij}$ . Общие затраты АБЗ на каждом сегменте города представляют собой сумму транспортных затрат на подвоз компонентов и вывоз готовой продукции, а также производственных затрат. Следовательно, с учетом введенных обозначений на данном этапе необходимо рассчитать  $k$ -матриц вида:

$$Z_{ij} = Q_{ij} \left( (SM_b + S_{ij})TR + ZP_p \right), \quad (1)$$

где  $TR$  — затраты на транспортировку 1 тонн-км, руб.

На четвертом этапе осуществляется проверка выполнения условия соблюдения технологического времени. Как уже отмечалось ранее, время остывания смеси должно быть меньше времени ее доставки на объект для каждого потребителя. Следовательно, для каждого месторасположения АБЗ  $M_k$  необходимо рассчитать две матрицы: одна будет содержать в себе данные о времени остывания смеси при ее транспортировке до каждого потребителя ( $Tost_{ij}$ ), другая — данные о времени фактической доставки до каждого потребителя ( $Tdost_{ij}$ ).

Потребитель, технологическое условие для которого не выполняется, должен быть исключен из «клиентов» рассматриваемого АБЗ. Технически для реализации данного условия необходимо затраты завода в точке невыполнения условия приравнять «-1», то есть:

$$\text{если } Tdost_{ij} > Tost_{ij}, \text{ то } Z_{ij} = -1. \quad (2)$$

Данное условие позволит исключить поставку клиентам заведомо остывшей смеси при дальнейшей суперпозиции матриц и выбора матрицы с минимальными (положительными) затратами.

На пятом этапе осуществляется суперпозиция матриц затрат. В результате из  $k$ -матриц  $Z_{ij}$  (составленных для каждого потенциального места дислокации АБЗ  $M_k$ ) необходимо получить одну составленную матрицу затрат  $Z_{ij}^{\min}$  и соответствующую ей матрицу пунктов снабжения  $Msnab_{ij}$ , минимизирующих суммарные затраты. В качестве примера представим следующую иллюстрацию:

$$M = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} \rightarrow Z_2 = \begin{bmatrix} 3 & (4) \\ 4 & (3) \end{bmatrix} \rightarrow Z^{\min} = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \text{ и } Msnab = \begin{bmatrix} M_3 & M_2 \\ M_1 & M_2 \end{bmatrix}$$

$$Z_1 = \begin{bmatrix} 2 & 6 \\ (2) & 8 \end{bmatrix}$$

$$Z_3 = \begin{bmatrix} (1) & 5 \\ 3 & 9 \end{bmatrix}$$

На шестом этапе осуществляется проверка выполнения двух подусловий:

1 подусловие: невозможность обеспечения всех потребностей города. Базовым условием, соблюдение которого необходимо при решении задачи, является обеспечение всех потребностей города в асфальтобетонных смесях. Это означает, что каждая из ячеек матрицы  $Q_{ij}$  должна быть обеспечена в полном объеме. В связи с этим необходимо исключить ситуацию, когда по технологическим причинам в одну из ячеек не поставляется асфальтобетонная смесь. В качестве примера представим следующую иллюстрацию:

$$M = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} \rightarrow Z_1 = \begin{bmatrix} -1 & 6 \\ (2) & 8 \end{bmatrix} \rightarrow Z_2 = \begin{bmatrix} -1 & (4) \\ 4 & (3) \end{bmatrix} \rightarrow Z^{\min} = \begin{bmatrix} \times & 4 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \text{ и } Msnab = \begin{bmatrix} \times & M_2 \\ M_1 & M_2 \end{bmatrix}$$

$$Z_3 = \begin{bmatrix} -1 & 5 \\ 3 & 9 \end{bmatrix}$$

Таким образом, если выполняется условие:

$$Z_1[i][j] = Z_2[i][j] = \dots = Z_k[i][j] = -1, \quad (3)$$

то необходимо выйти на самый верхний уровень алгоритма и дать сигнал о том, что в рамках заданных потенциальных мест расположения АБЗ решить задачу снабжения города невозможно без нарушения технологического времени поставки смеси.

2 подусловие: одновременная поставка с двух заводов. Если два и более различных АБЗ могут поставить смесь одному и тому же потребителю при равных затратах, необходимо выбирать комбинацию, способствующую нагрузке АБЗ, близкой к оптимальной. При этом оптимальной загрузкой АБЗ, способствующей снижению себестоимости производства, в соответствии с [16] считаем его работу на мощности свыше 80 % от номинальной.

На седьмом этапе в результате выполнения цикла перебора АБЗ по мощности и суперпозиции матриц затрат в рамках каждой комбинации получаем набор сочетаний типов заводов по мощности  $ABZ_p$ , по числу мест дислокации  $M_k$ , минимизированных по суммарным затратам  $Z_{ij}^{\min}$ . Другими словами, есть двумерный массив АБЗ различной мощности и дислокации с минимальными затратами (рис. 6).

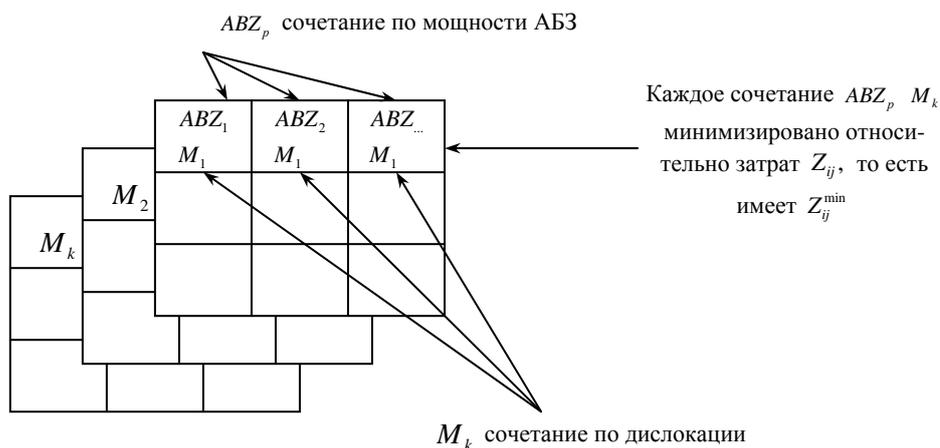


Рис. 6. Схема работы седьмого этапа алгоритма по выбору матриц поставки продукции АБЗ с минимальными затратами

На восьмом этапе осуществляется выбор матриц, удовлетворяющих по производительности таким образом, чтобы суммарная потребность обслуживаемых одним АБЗ сегментов не превышала его годовой производительности. Дополнительным подусловием является выбор комбинации с мощностью АБЗ, близкой к оптимальной.

На девятом, заключительном, этапе осуществляется итоговый выбор одного варианта с минимальными затратами (оптимальная комбинация мощности и расположения АБЗ).

Таким образом, можно сделать вывод, что авторами на основе предложенного перечня факторов (см. рис. 2) разработана комплексная система оптимизации дислокации и мощности АБЗ и на ее основе реализован алгоритм (см. рис. 3), позволяющий минимизировать затраты при обеспечении потребностей городской сети автомобильных дорог в асфальтобетонных смесях. Безусловно, такие вопросы, как прогнозирование потребностей города в асфальтобетонных смесях, размещение АБЗ с учетом требований экологии и правовые интересы собственников АБЗ, затронутые в работе вскользь, требуют дальнейших, более детальных исследований. Однако уже сейчас можно констатировать, что дальнейшая работа в направлении совершенствования предложенной методики моделирования выбора места размещения и мощности АБЗ позволит повысить эффективность использования бюджетных средств и транспортно-эксплуатационные показатели городской улично-дорожной сети и получить значительный социально-экономический эффект.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скоробогатченко Д. А., Ерохин А. В. Нечеткая нейросетевая модель для прогнозирования числа ДТП региона в условиях ограниченной информации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. № 36(55). С. 174—181.
2. Зубков А. Ф., Одолько В. Г., Евсеев Е. Ю. Технология ремонта дорожных покрытий автомобильных дорог с применением горячих асфальтобетонных смесей. М. : Спектр, 2013. 180 с.
3. Ткачев П. П. Российский асфальтобетонный завод // ЗАО «Энергопрогресс» [Сайт]. URL: <http://www.ompspb.ru/info/tehnologii/asfalto-betonni-zavod.php>
4. Силкин В. В., Лупанов А. П. Асфальтобетонные заводы: учебное пособие. М. : Экон-Информ, 2008. 266 с.
5. Überlegene Technik, heißerer Asphalt, bessere Straße // Fliegl Asphaltprofi perfektioniert den Straßenbau [Сайт]. URL: <http://www.fliegl-baukom.de/ueberlegene-technik-heisserer-asphalt-bessere-strasse/150/1877/3238/>
6. Miller S. R. and Dorée A. G. Improving logistics in the asphalt paving process: what can we learn from the planner's logic? // 24th Annual ARCOM Conference. 2008, Association of Researchers in Construction Management: Cardiff, UK. Pp. 381—390.
7. Лупанов А. П., Моисеева Н. Г., Гладышев Н. В. Выбросы загрязняющих веществ при производстве асфальтобетонных смесей и пути их снижения // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. № 4. С. 37—38.
8. Нове обладнання для АБЗ // Автошляховик України. 2000. № 4. С. 48.
9. The Asphalt Handbook. Manual Series No. 4 (MS-4). Lexington, KY: The Asphalt Institute, 1989.
10. Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction. Lanham, Maryland: National Center for Asphalt Technology, 1996.
11. Выбор производительности АБЗ // Асфальтобетонные заводы SPECO [Сайт]. URL: [http://www.speco-plants.ru/novaya\\_statya.php](http://www.speco-plants.ru/novaya_statya.php)
12. de Freitas D., Paulo P., Luis P., Thomas A. Effect of construction quality, temperature, and rutting on initiation of top-down cracking // Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board. 2005. № 1929. P. 174—182.

13. Lane B., Kazmierowski T., Chan S. Evaluation of Cold In-Place Recycling with Expanded Asphalt On Highway 7, Perth, Ontario. Canadian Technical Asphalt Association 49th Annual Conference Proceedings, 2004.

14. Neues Asphaltmischwerk der BBR Rothenburg: Eine schone Anlage, die wirtschaftlich produziert // Schweiz. Baust.-Ind. 2008. Vol. 40. № 6. P. 51—54.

15. Ein Optimum an Leistung // Asphalt (BRD). 2001. Vol. 36. № 6. P. 41—42.

16. Mansfield C. How To Choose The Right Asphalt Plant // Roads and bridges [сайт] URL: <http://www.roadsbridges.com/how-choose-right-asphalt-plant>

© Скоробогатченко Д. А., Боровик М. С., 2015

Поступила в редакцию  
в ноябре 2014 г.

Ссылка для цитирования:

Скоробогатченко Д. А., Боровик М. С. Моделирование задачи размещения асфальтобетонных заводов в городских условиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 213—223.

Об авторах:

**Скоробогатченко Дмитрий Анатольевич** — д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры экономики и управления дорожным хозяйством, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолГАСУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, Skor2004@rambler.ru

**Боровик Максим Сергеевич** — аспирант, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолГАСУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, [maximborowee@gmail.com](mailto:maximborowee@gmail.com)

**D. A. Skorobogatchenko, M. S. Borovik**

## MODELING OF PLACEMENT OF ASPHALT CONCRETE FACTORIES IN CITIES

The problems associated with the placement and choice of power of asphalt concrete factories to meet the needs of the urban road sector in asphalt concrete mixes are considered in the article. The authors examine the factors that determine the disposition of the plant and provide a formalization of the complex task of managing the placement of asphalt plants in order to maximize the overall economic effect.

**Key words:** optimization of the dislocation, choice of power, asphalt concrete factory, upkeep of the urban road network.

### REFERENCES

1. Skorobogatchenko D. A., Erokhin A. V. [Fuzzy connectionist model to forecast the number of accidents in the region taking into account limited information]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2014, iss. 36(55), pp. 174—181.

2. Zubkov A. F., Odnol'ko V. G., Evseev E. Yu. *Tekhnologiya remonta dorozhnykh pokrytii avtomobil'nykh dorog s primeneniem goryachikh asfal'tobetonnykh smesei* [Technology of repair of highway paving using hot asphalt concrete mixes]. Moscow, Spektr Publ., 2013. 180 p.

3. Tkachev P. P. [Russian asphalt concrete plant]. *ZAO «Energoprogress»* [CJSC “Energoprogress”]. URL: <http://www.ompspb.ru/info/tehnologii/asfalo-betonni-zavod.php>

4. Silkin V. V., Lupanov A. P. *Asfal'tobetonnye zavody: uchebnoe posobie* [Asphalt concrete plants: manual]. Moscow, Ekon-Inform Publ., 2008. 266 p.

5. Überlegene Technik, heißerer Asphalt, bessere Straße. *Fliegl Asphaltprofi perfektioniert den Straßenbau*. URL: <http://www.fliegl-baukom.de/ueberlegene-technik-heisserer-asphalt-bessere-strasse/150/1877/3238/>

6. Miller S. R. and Dorée A. G. Improving logistics in the asphalt paving process: what can we learn from the planner's logic? *24th Annual ARCOM Conference*, 2008, Association of Researchers in Construction Management: Cardiff, UK. Pp. 381—390.

7. Lupanov A. P., Moiseeva N. G., Gladyshev N. V. [Emissions of polluting substances in the production of asphalt mixtures and ways to reduce them]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli* [Science and equipment in road industry], 2013, no. 4(67), pp. 37—38.
8. [New equipment for ACP]. *Avtodorozhnik Ukrainy* [Road worker of Ukraine], 2000, no. 4, p. 48.
9. *The Asphalt Handbook. Manual Series No. 4 (MS-4)*. Lexington, KY, The Asphalt Institute, 1989.
10. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction*. Lanham, Maryland, National Center for Asphalt Technology, 1996.
11. [Choice of ACP productivity]. *Asfal'tobetonnye zavody SPECO* [SPECO asphalt concrete plants]. URL: [http://www.speco-plants.ru/novaya\\_statya.php](http://www.speco-plants.ru/novaya_statya.php)
12. de Freitas D., Paulo P., Luis P., Thomas A. Effect of construction quality, temperature, and rutting on initiation of top-down cracking. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 2005, no. 1929, pp. 174—182.
13. Lane B., Kazmierowski T., Chan S. Evaluation of Cold In-Place Recycling with Expanded Asphalt On Highway 7, Perth, Ontario. *Canadian Technical Asphalt Association 49th Annual Conference Proceedings*, 2004.
14. Neues Asphaltmischwerk der BBR Rothenburg: Eine schone Anlage, die wirtschaftlich produziert. *Schweiz. Baust.-Ind.*, 2008, 40(6), pp. 51—54.
15. Ein Optimum an Leistung. *Asphalt (BRD)*, 2001, 36(6), pp. 41—42.
16. Mansfield C. How To Choose The Right Asphalt Plant. *Roads and bridges*. URL: <http://www.roadsbridges.com/how-choose-right-asphalt-plant>

*For citation:*

Skorobogatchenko D. A., Borovik M. S. [Modeling of placement of asphalt concrete factories in cities]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 213—223. (In Russ.).

*About authors:*

**Skorobogatchenko Dmitrii Anatol'evich** — Doctor of Engineering Science, Docent, Docent of Economy and Administration of Public Roads Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, Skor2004@rambler.ru

**Borovik Maksim Sergeevich** — Postgraduate student, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, maximborroweeek@gmail.com

УДК 510.67:533.6.01

**Л. П. Харитонова**

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

**О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ НАТЕКАНИИ СИСТЕМ ИМПАКТНЫХ  
ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СТРУЙ НА ТЕПЛООБМЕННУЮ ПОВЕРХНОСТЬ. Часть 1**

Статья представляет собой развитие общей теории аэродинамики при натекании системы плоскопараллельных импактных струй на плоскую теплообменную поверхность. Приведено аналитическое обобщение данных по аэродинамическому сопротивлению при обдуве плоской поверхности системой плоскопараллельных импактных струй, полученных в результате применения математической теории планирования эксперимента. Уравнения регрессии представляют собой математическую модель процесса. Установлены функциональные зависимости между конструктивными факторами и режимными параметрами впервые полученных экспериментальных зависимостей по аэродинамическому сопротивлению в струйных теплообменниках с натеканием воздуха в виде системы плоскопараллельных струй.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, аэродинамическое сопротивление, система плоскопараллельных импактных струй.

Процесс теплообмена в устройствах с системами импактных струй рассматривается в весьма значительном числе работ [1—21], в том числе обзоров [1—2]. Изучение этого вопроса представляет интерес для решения проблем, возникающих в большом количестве в различных областях науки и техники, в том числе энергетике, металлургии, электронной технике и др., для нагрева или охлаждения элементов различного оборудования, лопаток турбин, нанесения покрытий, сушки и термической обработки различных материалов, для совершенствования конструкций теплообменных устройств и т. д. При аналитическом решении задач сопряженного теплообмена требуется знать эмпирические зависимости, определение которых невозможно без исследований аэродинамических характеристик потока, так как интенсивность теплоотдачи от теплообменной поверхности в огромной степени от них зависит.

Хотя есть некоторый прогресс в понимании физической картины струйно-вихревых структур, для изучения есть еще большое количество вопросов. Основная проблема — огромное количество геометрических и режимных факторов, которые оказывают влияние на эти процессы. Доступные для рассмотрения базы экспериментальных и расчетных данных весьма ограничены. Например, результатов изучения аэродинамических характеристик, особенно в системах плоскопараллельных струй при малых значениях чисел Рейнольдса, обнаружить не удастся.

Вначале рассмотрим более подробно механизм турбулентности при импактном натекании струй на теплообменную поверхность. В последнее время в качестве причины перехода систем от ламинарного к турбулентному состоянию принято рассматривать так называемый «фазовый переход», объясняющийся большим усилением постоянно имеющегося в любой системе слабого шума [3].

В случае струйных течений малыми случайными источниками в выходном сечении сопла, из которого истекает затопленная дозвуковая струя, порождаются усиливающиеся по ходу потока гидродинамические волны. Появляются когерентные структуры — вихри, вызывающие сильное увеличение пульсаций скорости. Этот процесс и можно назвать «фазовым переходом». Рассматриваемые ранее в качестве причины возникновения турбулентности автоколебания возможны лишь при наличии в потоке обратной связи. В большинстве случаев такой обратной связи нет, поэтому даже при значительной неустойчивости автоколебания не возникают. Взаимодействующие с препятствием гидродинамические волны индуцируют распространяющиеся вверх по течению акустические волны, а не просто подвергаются отражению. При этом взаимодействующие с этим же препятствием акустические волны вызывают появление распространяющихся вниз по течению гидродинамических волн. В этом просматривается, как указывается в [4], механизм обратной связи.

В случае импактных струй происходит процесс возбуждения автоколебаний в отличие от свободных струй, в которых вследствие слабой и нелинейной вышеуказанной обратной связи не только не происходит самовозбуждения автоколебаний, но и даже ранее возбужденные автоколебания не сохраняются.

На аэродинамические характеристики потока при импактном натекании систем струй большое влияние оказывают вид преграды — теплообменной поверхности (плоская, вогнутая или выпуклая), наличие сферических каверн (лунок) на ней, вид сопловых отверстий, из которых истекают струи (плоскопараллельные, осесимметричные и др.). Значительное влияние оказывают также схема отвода отработанного потока, неравномерность профиля скорости и уровень турбулентности в начальном сечении струи (выполнение профилированных сопел), пассивные турбулизаторы — решетки, сетки и т. п. в различных участках сопла, активные турбулизаторы в виде вращающихся заслонок, акустические воздействия и закрутка потока, импульсная подача потока и т. п. [1, 2, 5, 6, 13].

Для дифференциальных уравнений в частных производных, которые описывают течение газообразных сред со сложной гидродинамикой, а также систем дифференциальных уравнений для случаев сложной гидродинамики [7] только в очень малом числе случаев получены аналитические решения. Весьма часто вследствие большого числа допущений и упрощений полученные результаты имеют малую достоверность. В связи с этим аналитическое исследование течения газообразных сред обычно ограничивается линейными математическими моделями, автоматическими решениями и разными приближенными методами, тем более в многомерных случаях.

Расчеты процессов теплообмена и аэродинамики на теплообменной поверхности (преграде) при сложных условиях, в которых системы струй омывают эту поверхность, могут в настоящее время быть выполнены достаточно точно лишь с использованием эмпирических зависимостей, которые получены с использованием методов теории подобия [2, 8—11]. Схема установки, ее детальное описание, а также матрица планирования полного факторного эксперимента вида  $2^3$ , уровни и интервалы варьирования факторов приведены в работах [8—9]. Экспериментальное исследование включало в том числе измерение аэродинамического сопротивления. Его средние значения приведены в таблице.

В результате после проверки значимости коэффициентов и ряда преобразований были получены уравнения регрессии (в логарифмическом пространстве координат), которые являются математическими моделям процесса:

1 серия:

$$\Delta P_b = 1,5 \cdot 10^{-5} \operatorname{Re}^{1,5069} \left( \frac{s}{\vartheta} \right)^{1,153}. \quad (1)$$

2 серия:

$$\Delta P_b = 0,5562 \left( \frac{\operatorname{Re}}{1240,165} \right)^{1,9152 - 0,096 \ln \left( \frac{s}{\vartheta} \right)} \left( \frac{s}{\vartheta} \right)^{1,1996}. \quad (2)$$

Если пренебречь эффектами межфакторных взаимодействий, то последнее уравнение можно записать в виде

$$\Delta P_b = 9,1 \cdot 10^{-6} \operatorname{Re}^{1,5466} \left( \frac{s}{\vartheta} \right)^{1,1996}. \quad (3)$$

Результаты расчетов, выполненные по двум последним уравнениям, различаются не более чем на 2,5 %.

3 серия:

$$\Delta P_b = 0,7687 \left( \frac{\operatorname{Re}}{620,794} \right)^{1,6017 \ln \left( \frac{s}{\vartheta} \right) - 4,1464} \left( \frac{s}{\vartheta} \right)^{1,0689}. \quad (4)$$

4 серия:

$$\Delta P_b = 0,4393 \left( \frac{\operatorname{Re}}{620,794} \right)^{1,4475 \ln \left( \frac{s}{\vartheta} \right) - 3,5571} \left( \frac{s}{\vartheta} \right)^{1,208}. \quad (5)$$

Уравнения регрессии в обычном пространстве координат имеют вид:

1 серия:

$$\Delta P_b = 94,231x_0 + 63,831x_1 + 52,319x_2 + 35,119x_1x_2; \quad (6)$$

2 серия:

$$\Delta P_b = 92,678x_0 + 63,322x_1 + 52,253x_2 + 34,747x_1x_2; \quad (7)$$

3 серия:

$$\Delta P_b = 35,806x_0 + 22,081x_1 + 23,531x_2 + 22,056x_1x_2; \quad (8)$$

4 серия:

$$\Delta P_b = 33,7x_0 + 22,0x_1 + 23,6x_2 - 0,475x_3 + 20,95x_1x_2. \quad (9)$$

Проверка по  $F_T$ -критерию (табличному значению критерия Фишера) показывает, что полученные уравнения адекватно описывают экспериментальные данные.

За определяющий размер при расчете числа Рейнольдса принималась ширина щелевого сопла, через которое воздух подавался на теплообменную поверхность в виде системы плоскопараллельных струй, а за определяющую температуру — температура воздуха на срезе сопла:

$$Re = \frac{b\omega}{\nu},$$

скорость истечения воздушных струй определялась по формуле:

$$\omega = \frac{V}{3600nLb}.$$

Основная часть потери давления (порядка 90 %) идет на перемещение воздуха через систему щелевых сопел, как показало измерение разности статических давлений между различными элементами конструкции. Это согласуется с результатами работы [12], в которой при исследовании струйного рекуператора с системой осесимметричных отверстий было показано, что потери давления на перфорированной пластине составляли 85...90 % общего аэродинамического сопротивления модуля. Измерение перепада давления между противоположными концами щелевого сопла показало, что при  $h/b$  более 5 обеспечивается практически равномерная подача воздуха по длине плоскопараллельного сопла в исследованном диапазоне расхода воздуха от 416,7 до 1250 м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>).

Анализ данных, приведенных на рисунке, позволяет сделать вывод о весьма низком аэродинамическом сопротивлении в изученном диапазоне, а также оценить влияние температуры подогрева воздуха на его аэродинамическое сопротивление при различных удельных расходах

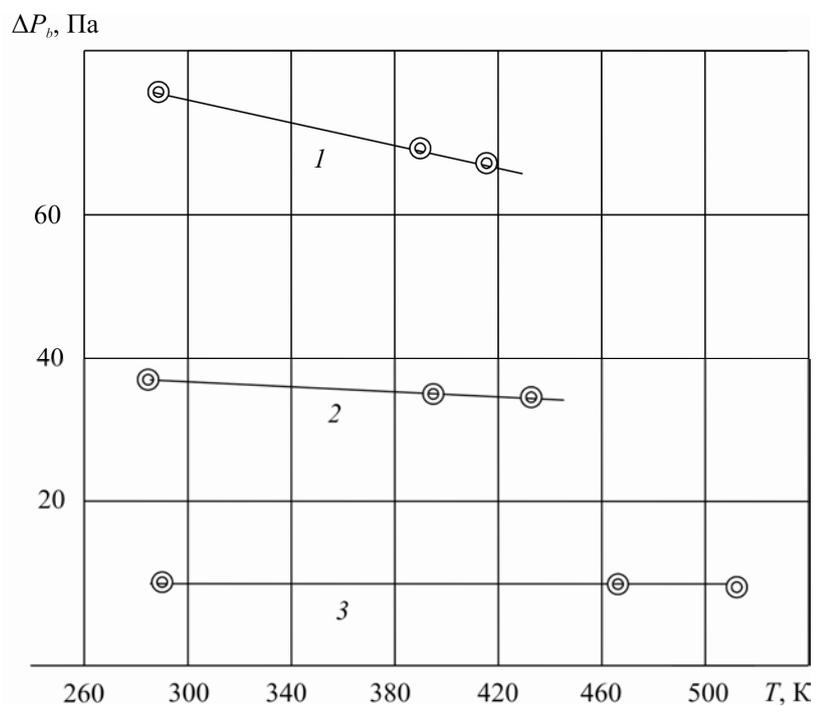
При  $\vartheta = V/F$  и постоянном безразмерном расстоянии от среза сопла до поверхности теплообмена  $h/b = 20$ . Как следует из графика, увеличение удельного расхода воздуха приводит к вполне закономерному росту аэродинамического сопротивления.

Некоторое снижение аэродинамического сопротивления с увеличением температуры подогрева воздуха объясняется, по-видимому, тем, что более нагретый воздух стремится подняться от горячей теплообменной стенки в верхнюю часть желоба [20]. При этом в каждом желобе образуются два циркулирующих контура, вращающихся от сопла к оси желоба. В результате этого вращения поток в желобе как бы эжектирует воздух. Этот результат можно считать достаточно неожиданным.

Все это свидетельствует о сложности и неоднозначности происходящих процессов. Требуется дальнейшее более детальное изучение проявившегося эффекта, в том числе с визуализацией картины течения. Также необходимо дальнейшее изучение зависимости аэродинамического сопротивления и удельных затрат на перемещение теплоносителя от режимных параметров (в частности, числа Рейнольдса, расхода и скорости теплоносителя) и геометрических факторов, в частности ширины щелевых сопел, через которые теплоноситель подается в виде систем импактных плоскопараллельных струй, расстояний от среза сопла до поверхности теплообмена, расстояния по осям струй и других параметров.

Вместе с тем результат снижения аэродинамического сопротивления с увеличением температуры подогрева воздуха является весьма положительным, так как в ранее существовавших конструкциях увеличение температуры теплоносителя всегда приводило к соответствующему увеличению аэродинамического сопротивления, что требовало дополнительных затрат энергии на перемещение теплоносителя и снижало энергетических коэффициент.

Таким образом, помимо высокого коэффициента теплоотдачи, подача теплоносителя в виде системы импактных плоскопараллельных струй, образованных боковыми стенками рядом расположенных желобов [20], имеет преимущество в виде низкого (и еще дополнительно снижающегося с повышением температуры) аэродинамического сопротивления. Это также приводит к более высокой эффективности устройств с системами струй, натекающих нормально на теплообменную поверхность.



Зависимость аэродинамического сопротивления от температуры подогрева воздуха при  $h/b = 20$ ;  $s = 0,08$  м;  $b = 0,003$  м: 1 —  $V = 165$  м<sup>3</sup>/ч ( $\vartheta = 1250$  м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>)); 2 —  $V = 110$  м<sup>3</sup>/ч ( $\vartheta = 833,3$  м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>)); 3 —  $V = 55$  м<sup>3</sup>/ч ( $\vartheta = 416,7$  м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>))

Полученные результаты могут быть использованы при разработке методик расчета новых самых различных устройств с подачей теплоносителя в виде системы импактных плоскопараллельных струй, в том числе струйных рекуператоров.

Обозначения:

Re — число Рейнольдса;

$b$  — ширина щелевого сопла, м;

$h$  — расстояние от среза сопла до поверхности теплообмена, м;

$s$  — расстояние по осям струй, м;

- $n$  — количество щелевых сопел, шт.;  
 $L$  — длина щелевого сопла, м;  
 $V$  — расход теплоносителя, м<sup>3</sup>/ч;  
 $\omega$  — скорость теплоносителя на срезе щелевого сопла, м/с;  
 $\vartheta$  — удельный (на единицу площади) расход теплоносителя, м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>);  
 $\nu$  — коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с;  
 $F$  — площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>;  
 $T$  — температура подогрева теплоносителя, К;  
 $\Delta P_b$  — аэродинамическое сопротивление, Па;  
 $F_T$  — табличное значение критерия Фишера.

*Средние значения аэродинамического сопротивления, Па*

Номер опыта	1 серия	2 серия	3 серия	4 серия
1	245	242	102,7	99
2	47,2	46,5	14,9	14,1
3	70	68	11,6	11
4	12,5	11,5	12,5	8,8
5	246	244	104,25	101,5
6	48	47,2	15,5	14,6
7	71,25	70	13,0	11,3
8	13,9	12,2	12,0	9,3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харитонов Л. П. (Haritonova L.P.) К вопросу о математическом моделировании теплообмена в устройствах, в том числе с импактным натеканием струй (To a question about the mathematical simulation of heat-mass transfer in the devices, including with the impact leakage of the jets) // Материалы Международной науч.-практ. конф. «Фундаментальная наука и технологии — перспективные разработки IV». Fundamental sciens and technology — promising developments IV. Vol. 2 . USA : North Charleston, 2014. P. 176—180.
2. Дыбан Е. П., Мазур А. И. Конвективный теплообмен при струйном обтекании тел. Киев: Наукова думка, 1982. 303 с.
3. Ланда П. С. Возникновение турбулентности в незамкнутых течениях жидкости как неравновесный шумоиндуцированный фазовый переход второго рода // ЖТФ. 1998. Т. 68. Вып. 1. С. 31—40.
4. Ланда П. С. Турбулентность в струйных течениях: что это такое? // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2004. Т. 12. № 6. С. 17—27.
5. Терехов В. И., Калинина С. В., Шаров К. А. Особенности течения и теплообмена при взаимодействии струи с преградой в форме сферической каверны со скругленной кромкой // Теплофизика высоких температур. 2012. Т. 50. № 2. С. 318—320.
6. Пахомов М. А., Терехов В. И. Влияние частоты импульсов на теплообмен в точке торможения импактной турбулентной струи // Теплофизика высоких температур. 2013. Т. 51. № 2. С. 287—293.
7. Калугин В. Т., Мордвинцев Г. Г., Попов В. М. Моделирование процессов обтекания и управления аэродинамическими характеристиками летательных аппаратов (Математическое моделирование в технике и в технологии). М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 527 с.
8. Харитонов Л. П. Использование математической теории планирования эксперимента для расчета теплообмена при омывании плоской стенки системой плоскопараллельных импактных струй // Вестник ВолгГАСА. Сер.: Естественные науки. 1999. Вып. 1(2). С. 16—21.
9. Харитонов Л. П. Математическое моделирование процесса конвективного теплообмена в системах плоскопараллельных струй, натекающих нормально на пластину. Ч. 1 // Вест-

ник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Естественные науки. 2005. Вып. 4(14). С. 32—37.

10. Харитонова Л. П. Математическое моделирование процесса конвективного теплообмена в системах плоскопараллельных струй, натекающих нормально на пластину. Ч. 2 // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Естественные науки. 2006. Вып. 5(18). С. 13—18.

11. Харитонова Л. П. Математическое моделирование процесса конвективного теплообмена в системах плоскопараллельных струй, натекающих нормально на пластину. Ч. 3 // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Естественные науки. 2007. Вып. 6(23). С. 98—104.

12. Скотникова Т. В., Сезоненко Б. Д. Аэродинамическое сопротивление модульных струйных рекуператоров // Промышленная теплотехника. 1987. Vol. 9. № 6. С. 99—101.

13. Харитонова Л. П. О влиянии малых возмущений на результаты математического моделирования процесса теплообмена в системах импульсных струй, натекающих на преграду // Тез. докл. XIII Международной конф. «Математика. Экономика. Образование». III Международн. симпозиум «Ряды Фурье и их приложения». Ростов н/Д. Изд-во ООО «ЦВВР», 2005. С. 125—126.

14. Харитонова Л. П., Костяков В. В., Зеньковский А. Г. Исследование струйного рекуператора для подогрева воздуха в промышленных печах // Изв. вузов. Энергетика. Минск, 1988. 15 с. Деп. в Информэнерго 04.04.88, №2787-эн. 88. issn 0579-2983.

15. Харитонова Л. П., Костяков В. В., Зеньковский А. Г. Инженерная методика расчета струйных рекуператоров // Изв. вузов. Энергетика. Минск, 1988. 14 с. Деп. в ВИНТИ 21.03.88. № 2154. В88.

16. Харитонова Л. П., Пожарский А. В. Разработка струйных рекуператоров // Кузнечно-штамповочное производство. 1989. № 4. С. 10—11.

17. Харитонова Л. П. О математическом моделировании теплообменников с системами осесимметричных импульсных струй с учетом аэродинамического сопротивления // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство: материалы Международной конф., посвященной 60-летию образования вуза. Волгоград: ВолГАСУ, 2012. С. 363—367.

18. Харитонова Л. П. Математическая модель оптимальной геометрии системы плоскопараллельных импульсных струй // Тез. докл. 8 Международной конф. «Математика. Компьютер. Образование». Пушино. М.: Прогресс-традиция, 2001. С. 245.

19. Харитонова Л. П. Об использовании интегрального метода решения задач нестационарной теплопроводности при внешней конвективной теплоотдаче к системе импульсных струй // Материалы IX Международной научн. конф. им. акад. М. Кравчука. Киев: Национальный технический университет Украины, 2002. С. 2003.

20. Харитонова Л. П. Классификация струйных теплообменных устройств // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство: Материалы Международной конф., посвященной 80-летию строительного образования и 40-летию архитектурного образования в Волгоградской области, 6—10 сентября 2010 г. Волгоград: ВолГАСУ, 2010. С. 230—235.

21. Харитонова Л. П. К вопросу о расчете оптимизации конвективного теплообмена // Наука и образование в современном обществе: вектор развития в XXI веке. В 7 ч. Ч. 1. М.: АР-Консалт, 2014. С. 76—77.

© Харитонова Л. П., 2015

Поступила в редакцию  
в январе 2015 г.

Ссылка для цитирования:

Харитонова Л. П. О математическом моделировании аэродинамических характеристик при натекании систем импульсных плоскопараллельных струй на теплообменную поверхность. Ч. 1 // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 39(58). С. 224—232.

Об авторе:

**Харитонова Лариса Петровна** — канд. техн. наук, доц., Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (ВолГАСУ). 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, [haritnova410@yandex.ru](mailto:haritnova410@yandex.ru)

**L. P. Kharitonova**

**ABOUT MATHEMATICAL SIMULATION OF AERODYNAMICS WITH LEAKAGE OF PLANE-PARALLEL IMPACT JETS ON THE FLAT HEAT EXCHANGE SURFACE. Part 1**

The article is about the development of the general theory of aerodynamics with the leakage of the system of plane-parallel impact jets on the flat heat exchange surface. The analytical generalization of data on aerodynamic drag with the blowout of flat surface the system of the plane-parallel impact jets is given. The result of the application of mathematical theory of planning experiment is obtained. The equations of regression are the mathematical model of process. Functional dependences between the efficiency factors and the regime parameters of these first obtained experimental dependences on aerodynamic drag in the jet heat exchangers with the leakage of air in the form of the system of plane-parallel jets were established.

**Key words:** mathematical simulation, aerodynamic drag, system of plane-parallel impact jets.

REFERENCES

1. Haritonova L. P. [To a question about the mathematical simulation of heat-mass transfer in the devices, including with the impact leakage of the jets]. *Fundamental science – promising developments IV*, vol. 2. USA, North Charleston, 2014. Pp. 176–180.
2. Dyban E. P., Mazur A. I. *Konvektivnyi teploobmen pri struinom obtekanii tel* [Convective heat exchange at a body jet flow]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1982. 303 p.
3. Landa P. S. [Occurrence of turbulence in unclosed liquid flow as non-equilibrium noise-induced phase transition of the second sort]. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki* [Technical physics magazine], 1998, 68(1), pp. 31–40.
4. Landa P. S. [Turbulence in jet flows: What is it?] *Izvestiya vuzov. Prikladnaya nelineinaya dinamika* [Izvestiya VUZ. Applied nonlinear dynamics], 2004, 12(6), pp. 17–27.
5. Terekhov V. I., Kalinina S. V., Sharov K. A. Features of flow and heat transfer for the jet interaction with a spherical cavity-shaped obstacle with a round edge. *High Temperature*, 2012, 50(2), pp. 295–297.
6. Pakhomov M. A., Terekhov V. I. Effect of pulse frequency on heat transfer at the stagnation point of an impinging turbulent jet. *High Temperature*, 2013, 51(2), pp. 256–261.
7. Kalugin V. T., Mordvintsev G. G., Popov V. M. *Modelirovanie protsessov obtekaniya i upravleniya aerodinamicheskimi kharakteristikami letatel'nykh apparatov (Matematicheskoe modelirovanie v tekhnike i v tekhnologii)* [Flow process modeling and management of aerodynamic characteristics of flying vehicles (Mathematical modeling in engineering and technology)]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2011. 527 p.
8. Kharitonova L. P. [Use of mathematical theory of experiment planning for calculation of heat exchange at flow about plane wall by the system of plane-parallel the impact jets]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Natural Science], 1999, no. 1(2), pp. 16–21.
9. Kharitonova L. P. [Mathematical modeling of convective heat exchange process in plane-parallel jet streams accumulating normally on a plate. Part 1]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Natural Science], 2005, 4(14), pp. 32–37.
10. Kharitonova L. P. [Mathematical modeling of convective heat exchange process in plane-parallel jet streams accumulating normally on a plate. Part 2]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Natural Science], 2006, no 5(18), pp. 13–18.
11. Kharitonova L. P. [Mathematical modeling of convective heat exchange process in plane-parallel jet streams accumulating normally on a plate. Part 3]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Natural Science], 2007, no. 6(23), pp. 98–104.
12. Skotnikova T. V., Sezenenko B. D. [Aerodynamic resistance of module jet recuperators]. *Promyshlennaya teploekhnika* [Industrial Heat Engineering], 1987, 9(6), pp. 99–101.

13. Kharitonova L. P. [To the issue of the influence of small perturbations on the results of mathematical modeling of heat and mass exchange process in impact jet systems accumulating on a barrier]. *Tezisy докладov XIII Mezhdunarodnoi konferentsii «Matematika. Ekonomika. Obrazovanie». III Mezhdunarodnyi simpozium «Ryady Fur'e i ikh prilozheniya»* [Thesis report of XIII Inter. conf. "Mathematics. Economics. Education". III Inter. Symp. "Fourier's ranks and their appendices"]. Rostov-on-Don, Publishing house OJSC "TsVVR", 2005. Pp. 125—126.
14. Kharitonova L. P., Kostyakov V. V., Zenkovskii A. G. [Research of a jet recuperator for air heating in industrial furnaces]. *Izvestiya vuzov. Energetika* [News of higher education institutions. Power industry]. Minsk, 1988. 15 p.
15. Kharitonova L. P., Kostyakov V. V., Zenkovskii A. G. [Engineering methodology of jet recuperator design]. *Izvestiya vuzov. Energetika* [News of higher education institutions. Power industry]. Minsk, 1988. 14 p.
16. Kharitonova L. P., Pozharskii A. V. [Development of jet recuperators]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure], 1989, no. 4, pp. 10—11.
17. Kharitonova L. P. [To the issue of mathematical modeling of heat exchangers with jet impact axisymmetric systems taking into account aerodynamic resistance]. *Nauka i obrazovanie: arkhitektura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo: materialy Mezhdunarodnoi konferentsii, posvyashchennoi 60-letiyu obrazovaniya vuzov* [Science and education: architecture, town planning and construction. Proc. Int. Conf.]. Volgograd, VSUACE Publ., 2012, pp. 363—367.
18. Kharitonova L. P. [Mathematical model of optimum geometry of plane-parallel impact jet systems]. *Tezisy докладov 8 Mezhdunarodnoi konferentsii «Matematika. Komp'yuter. Obrazovanie». Pushchino* [Proc. of 8 Int. Conf. "Mathematics. Computer. Education". Pushchino]. Moscow, Progress-traditsiya Publ., 2001. P. 245.
19. Kharitonova L. P. [To the issue of use of integrated solution method for problems of non-stationary heat conductivity at an external convective heat output to impact jet system]. *Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii imeni akademika M. Kravchuka* [Proc. of IX Inter. sci. conf. named after M. Kravchuk]. Kiev, National technical university of Ukraine, 2002. Pp. 2003.
20. Kharitonova L. P. [Classification of jet heat exchange devices]. *Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii, posvyashchennoi 80-letiyu stroitel'nogo obrazovaniya i 40-letiyu arkhitekturnogo obrazovaniya v Volgogradskoi oblasti, 6—10 sentyabrya 2010 g.* [Science and education: architecture, town planning and construction. Proc. of Inter. conf., 6—10 September, 2010]. Volgograd, VSUACE Publ., 2010. Pp. 230—235.
21. Kharitonova L. P. [To the issue of calculation of convective heat exchange optimization]. *Nauka i obrazovanie v sovremennom obshchestve: vektor razvitiya v XXI veke. V 7 ch. Ch. 1* [Science and education in modern society: vector of development in XXI century. In 7 parts. P. 1]. Moscow, AR-Consalt Publ., 2014. Pp. 76—77.

*For citation:*

Kharitonova L. P. [About mathematical simulation of aerodynamics with leakage of plane-parallel impact jets on the flat heat exchange surface. P. 1]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2015, iss. 39(58), pp. 224—232. (In Russ.).

*About author:*

**Kharitonova Larisa Petrovna** — Candidate of Engineering Science, Docent, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE). 1, Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, [haritonova410@yandex.ru](mailto:haritonova410@yandex.ru)

### ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» со второго полугодия 2007 г. временно выходит в одной серии «Строительство и архитектура», по 4 выпуска ежегодно.

**Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.**

Библиографические сведения о публикациях в журнале, пристатейные списки литературы и полные тексты статей представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru).

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Серия включена в базу данных **DOAJ — Directory of Open Access Journals** (Директория журналов открытого доступа) научной библиотеки университета г. Лунд (Швеция), [www.doaj.org](http://www.doaj.org), обеспечивающую открытый доступ к полнотекстовым материалам научных и академических журналов на различных языках, поддерживающих систему контроля качества публикуемых статей.

**Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов.** Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/ld-blank.pdf>), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/pdsog.pdf>), *выписки из протокола* заседания кафедры и одной *рецензии*. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: *индекс УДК*; на **русском и английском языках**: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи заверяется личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — от 10 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office (Word 2003)*; шрифт *основного текста* — Times New Roman (Сур) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

*Векторные рисунки*, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата 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 (Сур) № 10 (10 пунктов).

Пристайные *библиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. Библиографический список должен состоять не менее чем из 15 статей в научных журналах, из них 8 — иностранные. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Сур) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников.

*Библиографический список* приводится *дважды*. Во втором варианте все русскоязычные библиографические записи приводятся *в переводе на английский язык*, записи на других языках просто повторяются.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, *в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав*. Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Статьи проверяются на оригинальность с помощью системы «Антиплагиат». Требуемая оригинальность — не менее 80 %.

*Порядок рецензирования*. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректур статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

**Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.**

**КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.**

**Примерный график выпуска серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).**

#### **Тематические рубрики**

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-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 ВолГАСУ [www.vgasu.ru](http://www.vgasu.ru), в разделе *Наука / Научные журналы / Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета* (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

**Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. Редакция «Вестника ВолГАСУ». Тел. (8442)-96-98-46. E-mail: [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru) (для В.И. Воробьева).**

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно по тел. (8442)-96-98-46 у ответственного секретаря редсовета журнала **Владимира Ивановича Воробьева**.

**За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: [mariapes@mail.ru](mailto:mariapes@mail.ru).**

**Вниманию читателей и авторов!**  
**«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета»**  
временно выходит в одной серии  
**«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» (4 выпуска в год).**  
**Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343,**  
**на Интернет-сайте агентства «Книга-Сервис» — E85343**  
(по электронному каталогу можно подписаться и на текущие номера).

По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала  
обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-46 к отв. секретарю редсовета *В.И. Воробьеву*

Продолжается прием статей в очередные выпуски  
серий **«Политематическая»** и **«Строительная информатика»**  
электронного сетевого научно-технического журнала **«ИНТЕРНЕТ-ВЕСТНИК ВолгГАСУ»**.  
*Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,*  
*в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций*  
*на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,*  
**утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.**  
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства  
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286 от**  
**17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, перерегистрирован ФГУП НТЦ  
«Информрегистр», свидетельство № **594 от 20.10.11**, номер гос. рег. **0421200065** (на 2012 г.), включен в  
базу РИНЦ ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)).

Подробная информация на сайте журнала [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru)

«Интернет-вестник ВолгГАСУ» не является электронной версией печатного журнала.  
Оба журнала содержат оригинальные публикации.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале  
**«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»**  
обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.  
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**  
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **E 29507**.  
*Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации,*  
*в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций*  
*на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,*  
**утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.**  
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства  
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286 от**  
**17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)).  
Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: [www.vgasu.ru](http://www.vgasu.ru)  
в разделе Наука / Научные журналы.

Научное издание

**ВЕСТНИК  
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура  
2015. Вып. 39(58)**

Редактор *М. Л. Песчаная*  
Перевод на английский язык *О.Ю. Юшко*  
Компьютерная правка и верстка *А. Г. Сиволобова*  
Компьютерный дизайн обложки *О. Ю. Мелешин*

Подписано в печать 18.03.2015. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.  
Уч.-изд. л. 9,0. Усл. печ. л. 20,6. Тираж 500 экз. Заказ № 11

---

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»  
Редакционно-издательский отдел  
Отдел оперативной полиграфии  
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1