

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК  
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**Выпуск  
32(51)**

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

**2013**

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

Выходит 4 раза в год  
Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолгГАСУ

**С о д е р ж а н и е**

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

- Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Богомолова О. А., Шиян С. И., Ермаков О. В.** Определение напряжений в точках внешности односвязной области, имитирующей контур подземной горизонтальной выработки 6
- Богомолов А. Н., Калиновский С. А., Ермаков О. В., Соловьев А. В., Нестеров Р. С.** Оценка влияния коэффициента бокового давления грунта на устойчивость системы «основание фундамента — подземная выработка» 16
- Офрихтер В. Г., Лихачева Н. Н.** Упругая модель твердых бытовых отходов 33
- Пономарев А. Б., Сурсанов Д. Н.** К вопросу определения несущей способности свай, опирающихся на выветрелые скальные грунты 42
- Чаускин А. Ю., Старов А. В., Карасев Г. М.** Расчет и конструирование башенных сооружений комбинированного типа 49

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Калашиников В. И., Миненко Е. Ю., Грачева Ю. В., Кижватова Т. С.** Исследование влияния фибры на прочность бетона для дорожных покрытий 55
- Краюхин В. И., Могилевич Л. И., Попов В. С.** Ударный принцип пропитки бетона вязкой массой 60
- Миненко Е. Ю., Грачева Ю. В., Шлапакова О. И.** Оценка энергетических характеристик дисперсно-армированного бетона в дорожном строительстве 66
- Проскурякова А. О., Корнеев А. Д., Шаталов Г. А.** Сэндвич-панели с утеплением из наполненно-го пенополиуретана для малоэтажного строительства 71

|                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Чесноков А. В.</b> Исследование формы поверхности фрагментов пневматических оболочек                                                                                                            | 76  |
| <b>Эюбов И. Дж.</b> Исследование прочности и устойчивости каркасной ячейки с каменным заполнителем                                                                                                 | 84  |
| <b>СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА</b>                                                                                                                                                                       |     |
| <b>Беликов Г. И.</b> Расчет сетчатых пластин на изгиб с учетом поперечного сдвига                                                                                                                  | 93  |
| <b>Кукса Л. В., Арзамасова Л. М.</b> Упругие свойства поликристаллов различных металлов и их определение на основе построения векториальных моделей модуля Юнга и модуля сдвига для монокристаллов | 101 |
| <b>Муравьева Л. В.</b> Проверка прочности подводных трубопроводов при сейсмических воздействиях                                                                                                    | 110 |
| <b>ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ</b>                                                                                                                     |     |
| <b>Боронина Л. В., Абуова Г. Б., Рыльцева Т. Ф., Гиззатова Г. Л., Гончар Ю. Н., Батманов В. П.</b> Изучение процесса адсорбции органических веществ в водных средах силикатсодержащими частицами   | 116 |
| <b>Боронина Л. В., Абуова Г. Б., Рыльцева Т. Ф., Гиззатова Г. Л., Гончар Ю. Н., Батманов В. П.</b> Модели адсорбционных комплексов углеводов с активными центрами кремнезема и алюмосиликатов      | 122 |
| <b>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ</b>                                                                                                            |     |
| <b>Кудрявцев Л. В.</b> Использование пластиковых труб при капитальном ремонте систем отопления многоквартирных жилых зданий                                                                        | 130 |
| <b>Попова А. В., Ковылин А. В., Фокин В. М.</b> Энергоэффективный и экологически безопасный метод экспериментального определения теплофизических свойств материалов из стекла                      | 135 |
| <b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ</b>                                                                              |     |
| <b>Алексиков С. В., Будрудинова А. Н.</b> Обоснование расчетной влажности и прочности грунтов под укрепленными обочинами автомобильных дорог                                                       | 141 |
| <b>Анопин В. Н., Васильев Ю. И., Рулев Г. А.</b> Особенности методики расчета параметров в сухостепной зоне придорожных снегозащитных лесных насаждений                                            | 147 |
| <b>Волченко С. В.</b> Повышение пропускной способности городских дорог на основе оценки скоростного режима транспортных потоков                                                                    | 153 |
| <b>Романов С. И., Стадник А. Ю., Мельников С. В.</b> Методология быстрой диагностики шероховатости дорожного покрытия из безводного асфальтобетона данного состава                                 | 160 |
| <b>Серова Е. Ю., Сапожкова Н. В., Мельников В. В.</b> Влияние состояния придорожной инфраструктуры на безопасность управления автомобилем                                                          | 166 |
| <b>БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ</b>                                                                                                                               |     |
| <b>Азаров В. Н., Власова О. С., Клименти Н. Ю.</b> Анализ запыленности воздуха рабочих зон цехов завода по производству силикатного кирпича                                                        | 172 |
| <b>Мензелинцев Н. В., Воронкова Г. В., Марышев К. Г., Фомина Е. О., Стефаненко И. В.</b> Математическое моделирование корпуса полумаски респиратора типа «Снежок ГП-В»                             | 178 |
| <b>Мензелинцев Н. В., Фомина Е. О., Марышев К. Г., Стефаненко И. В.</b> Комплексная оценка свойств фильтрующих респираторов                                                                        | 184 |
| <b>ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА</b>                                                                                                                                                   |     |
| <b>Боровков Д. П., Бурба И. В., Азаров Д. В.</b> Об оптимизации параметра интенсивности закрутки первичного потока в пылеуловителях на встречных закрученных потоках                               | 188 |
| <b>Бурба И. В., Боровков Д. П., Азаров Д. В.</b> Экспериментальные исследования по оптимизации конструктивных параметров верхнего ввода пылеуловителя на встречных закрученных потоках             | 194 |
| <b>Дяркин Р. А., Демьянова В. С.</b> Обеспечение экологической безопасности урбанизированных территорий путем утилизации изношенных автомобильных шин в строительстве                              | 200 |
| <b>Жук П. М.</b> Принципы территориального размещения предприятий промышленности строительных материалов                                                                                           | 206 |
| <b>Масляев А. В.</b> Геологические условия для тектонических разломов на территории Волгоградской области                                                                                          | 214 |
| <b>Мягков М. С.</b> Пример моделирования микроклиматических условий для г. Волгограда                                                                                                              | 220 |

|                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Сидельникова О. П.</b> Экологические аспекты строительной отрасли                                                                                                                  | 229 |
| <b>Чебанова С. А., Воробьев В. И.</b> Выявление и организация опасных с точки зрения эколого-градостроительных требований зон от дымовых выбросов тепловых энергетических предприятий | 234 |
| ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА                                                                                                                                            |     |
| <b>Bashova S., Shtefantsova L.</b> Urbanitu and certainty of Places                                                                                                                   | 239 |
| <b>Башова С., Штефанцова Л.</b> Идентификация исторического центра города в урбанизированной среде                                                                                    | 246 |
| <b>Прокопенко В. В., Косицына Э. С.</b> Методика субъективной оценки расчета качества ландшафтно-рекреационной теории                                                                 | 253 |
| ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ. АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ                                                                                                                         |     |
| <b>Гридюшко А. Д., Чентемирова Е. Г.</b> Биомиметический подход к проектированию вертикальных теплиц                                                                                  | 257 |
| <b>Кожевников А. М.</b> Об опыте работы мастеров советской архитектурной школы 30—40-х гг. XX в. над архитектурным эскизом                                                            | 267 |
| <b>Серебряная В. В.</b> Общность развития композиции в культовой архитектуре византийского стиля на Юге России и в Сербии во второй половине XIX — первой половине XX вв.             | 276 |
| ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ                                                                                                                               |     |
| <b>Санжапов Б. Х., Мурадов А. А., Санжапов Р. Б.</b> Оценка риска реализации программы стратегического развития                                                                       | 289 |
| ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ                                                                                         |     |
| <b>Деменков В. А.</b> Повышение функциональных свойств смазочно-охлаждающей жидкости путем рационализации ее подачи в зону резания при шлифовании                                     | 295 |
| НАШИ АВТОРЫ                                                                                                                                                                           | 302 |

## C o n t e n t s

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

|                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Bogomolov A. N., Ushakov A. N., Bogomolova O. A., Shiyan S. I., Ermakov O. V.</b> Stress calculation in points of outside simply-connected area imitating the contour of underground horizontal mine                   | 6  |
| <b>Bogomolov A. N., Kalinovskiy S. A., Ermakov O. V., Solovlev A. V., Nesterov R. S.</b> Assessment of influence of the coefficient of lateral earth pressure on stability of "foundation base — underground mine" system | 16 |
| <b>Ofrikhter V. G., Likhacheva N. N.</b> Elastic model of solid household wastes                                                                                                                                          | 33 |
| <b>Ponomarev A. B., Sursanov D. N.</b> Issue of determination of bearing capacity of piles based on weathered rocky soils                                                                                                 | 42 |
| <b>Chauskin A. Yu., Starov A. V., Karasev G. M.</b> Estimation and design of tower constructions of combined type                                                                                                         | 49 |

### BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Kalashnikov V. I., Minenko E. Yu., Gracheva Yu. V., Kizhvatova T. S.</b> Research of influence of fiber on durability of concrete for road covering  | 55 |
| <b>Krayukhin V. I., Mogilevich L. I., Popov V. S.</b> Shock principle of concrete impregnation of viscous mass                                          | 60 |
| <b>Minenko E. Yu., Gracheva Yu. V., Shlapakova O. I.</b> Assessment of power properties of disperse reinforced concrete in road construction            | 66 |
| <b>Proskuryakova A. O., Korneev A. D., Shatalov G. A.</b> Sandwich panels with heat retainer from filled polyurethane foam for low height constructions | 71 |
| <b>Chesnokov A. V.</b> Research of the form of surface of pneumatic shells fragments                                                                    | 76 |
| <b>Eyubov I. J.</b> Research of strength and stability of a frame box with stone filler                                                                 | 84 |

### STRUCTURAL MECHANICS

|                                                                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Belikov G. I.</b> Calculation of mesh plates on the bend taking into account lateral shift                                                                                                                       | 93  |
| <b>Kuksa L. V., Arzamaskova L. M.</b> Elastic properties of polycrystals of various metals and their determination on the basis of development of vector models of Young modulus and shear modulus for monocrystals | 101 |
| <b>Muraveva L. V.</b> Durability test for underwater pipelines at seismic impacts                                                                                                                                   | 110 |

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

|                                                                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Boronina L. V., Abuova G. B., Ryltseva T. F., Gizzatova G. L., Gonchar Yu. N., Batmanov V. P.</b> Study of the process of organic substances adsorption in water environment with silicate containing particles | 116 |
| <b>Boronina L. V., Abuova G. B., Ryltseva T. F., Gizzatova G. L., Gonchar Yu. N., Batmanov V. P.</b> Models of adsorption complexes of hydrocarbons with active centers of silica and aluminium silicates          | 122 |

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

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Kudryavtsev L. V.</b> Use of plastic pipes at overhaul of heat systems in apartment buildings                                                                              | 130 |
| <b>Popova A. V., Kovylin A. V., Fokin V. M.</b> Power efficient and environmentally safe method of experimental determination of thermophysical properties of glass materials | 135 |

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

|                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Aleksikov S. V., Budrudinova A. N.</b> Basis for calculated humidity and soil strength under the strengthened roadsides                                              | 141 |
| <b>Anopin V. N., Vasilev Yu. I., Rulev G. A.</b> Peculiarities of the calculation method for parameters in dry steppe zone of roadside snow protective forest stands    | 147 |
| <b>Volchenko S. V.</b> Increase of capacity of city roads on the basis of the assessment of the high-speed rate of transport flows                                      | 153 |
| <b>Romanov S. I., Stadnik A. Yu., Melnikov S. V.</b> Methodology of rapid diagnostics of roughness of road covering from waterless asphalt concrete of this composition | 160 |
| <b>Serova E. Yu., Sapozhkova N. V., Melnikov V. V.</b> Influence of roadside infrastructure condition on safety of driving                                              | 166 |

LIFE SAFETY AND LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION

- Azarov V. N., Vlasova O. S., Klimenti N. Yu.** Analysis of dust content of air in working zones of factory workshops producing lime brick 172
- Menzelintseva N. V., Voronkova G. V., Maryshev K. G., Fomina E. O., Stefanenko I. V.** Mathematical modelling of a case of respirator half-mask of "Snezhok GP-V" type 178
- Menzelintseva N. V., Fomina E. O., Maryshev K. G., Stefanenko I. V.** Complex assessment of properties of filter respirators 184

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

- Borovkov D. P., Burba I. V., Azarov D. V.** About parameter optimization of primary flow swirl intensity in dust collectors on counter swirl flows 188
- Burba I. V., Borovkov D. P., Azarov D. V.** Experimental research of optimization of design parameters of upper dust collector input on counter swirl flows 194
- Dyarkin R. A., Demyanova V. S.** Promotion of ecological safety of urbanized territories by recycling of worn-out car tyres in construction 200
- Zhuk P. M.** Principles of territorial arrangement of enterprises producing construction materials 206
- Maslyayev A. V.** Geological conditions for tectonic faults on the territory of Volgograd oblast 214
- Myagkov M. S.** Example of modelling of microclimatic conditions for Volgograd 220
- Sidelnikova O. P.** Ecological aspects of construction industry 229
- Chebanova S. A., Vorobev V. I.** Detection and organization of dangerous from the point of view of ecological and town-planning requirements zones by smoke emissions of thermal power enterprises 234

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT

- Bashova S., Shtefantsova L.** Urbanitu and certainty of Places 239
- Prokopenko V. V., Kositsyna E. S.** Procedure of subjective assessment of calculation of landscape and recreational territory quality 253

THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE. GENERAL ARCHITECTURE

- Gridyushko A. D., Chentemirova E. G.** Biomimetic approach to design of vertical greenhouses 257
- Kozhevnikov A. M.** About the experience of masters of the soviet architectural school in 30 — 40s of the XX century on the architectural sketch 267
- Serebryanaya V. V.** Common features of the development of composition in cult architecture of the byzantine style in the South of Russia and in Serbia in the second half of XIX — the first half of the XX centuries 276

INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

- Sanzhapov B. Kh., Muradov A. A., Sanzhapov R. B.** Risk assessment of the implementation of the program of strategic development of the urbanized territory 289

INNOVATIONS IN CONSTRUCTION, INTENSIFICATION, ENERGY SAVING AND ENERGY PERFORMANCE

- Demenkov V. A.** Increase of functional properties of cutting liquid by rationalization of its injection to the cutting zone when grinding 295

- OUR AUTHORS 302

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

УДК 622.26:624.042.14

**А. Н. Богомолов, А. Н. Ушаков, О. А. Богомолова, С. И. Шиян, О. В. Ермаков**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ТОЧКАХ ВНЕШНОСТИ  
ОДНОСВЯЗНОЙ ОБЛАСТИ, ИМИТИРУЮЩЕЙ КОНТУР  
ПОДЗЕМНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ**

Рассматривается задача об определении формы подземной горной выработки при заданном распределении тангенциальных нормальных напряжений в точках ее контура при различных значениях коэффициента бокового распора  $\mu$  вмещающей породы. Приведены очертания подземных выработок при различных значениях  $\mu$ .

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** контур подземной выработки, метод теории функций комплексного переменного, отображающая функция, напряжения, коэффициент бокового распора.

The authors consider the task of determination of the form of an underground mine at the set distribution of normal circumferential stress in points of its contour at various values of the coefficient of side thrust  $\mu$  of enclosing rock. Contours of underground mines at various  $\mu$  values are provided.

**Key words:** contour of underground mine, method of the theory of function of complex variable, mapping function, stress, coefficient of side thrust.

Задача об определении полей напряжений вокруг бесконечно простирающихся в изотропной среде горизонтальных выработок является весьма сложной. В настоящее время она решена лишь для выработок круглого, эллиптического, прямоугольного (рис. 1, а) и некоторых других видов сечений. Считается [1], что вокруг выработки возникает поле напряжений, которое характеризуется их концентрацией лишь в некоторой зоне (см. рис. 1, а), непосредственно окружающей выработку, размеры которой в поперечных направлениях достигают 3...5 максимальных линейных размеров сечения выработки.

Иллюстрацией этого утверждения могут служить картины изолиний главных нормальных напряжений, построенных вокруг горизонтальной выработки прямоугольного сечения с отношением сторон 1 : 3, которые приведены в работе [2] (см. рис. 1, в, г), а также изображения изолиний в окрестностях такой же выработки, но построенные при помощи компьютерной программы [3], подобно тому, как это сделано в работе [4] (рис. 2, 3).

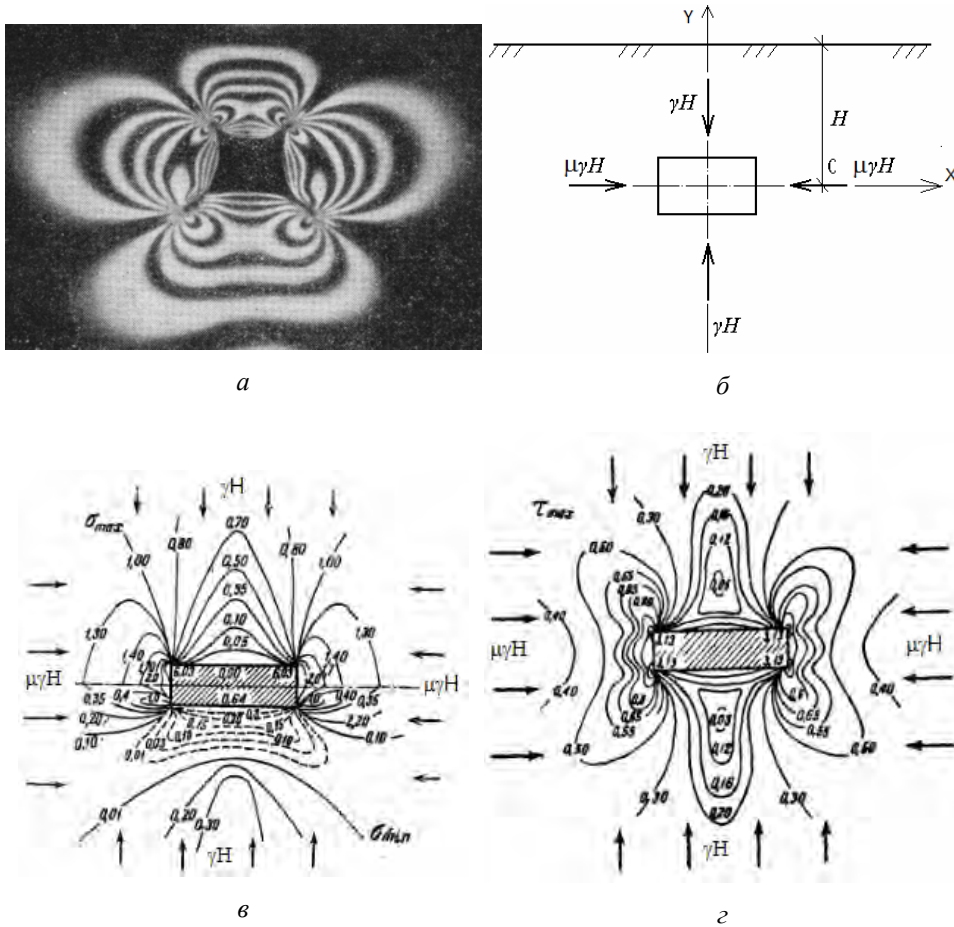


Рис. 1. Картины изолиний вокруг подземной выработки трапециевидного поперечного сечения (цит. по [5]) (а); расчетная схема подземной выработки прямоугольного сечения (б) и изолинии главных нормальных напряжений в окрестностях горизонтальной выработки (цит. по [2]) (в—г)

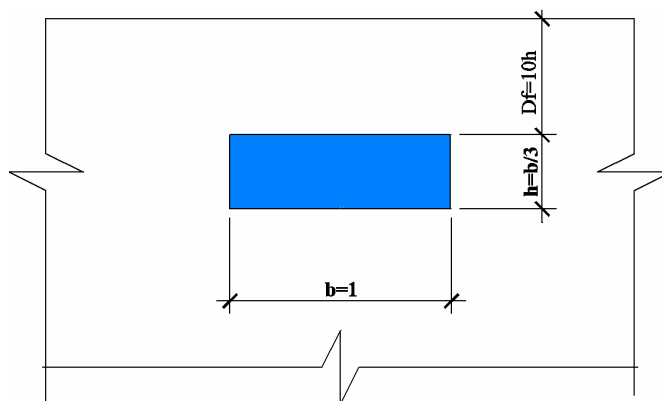


Рис. 2. Фрагмент расчетной схемы метода конечных элементов и ее геометрические параметры

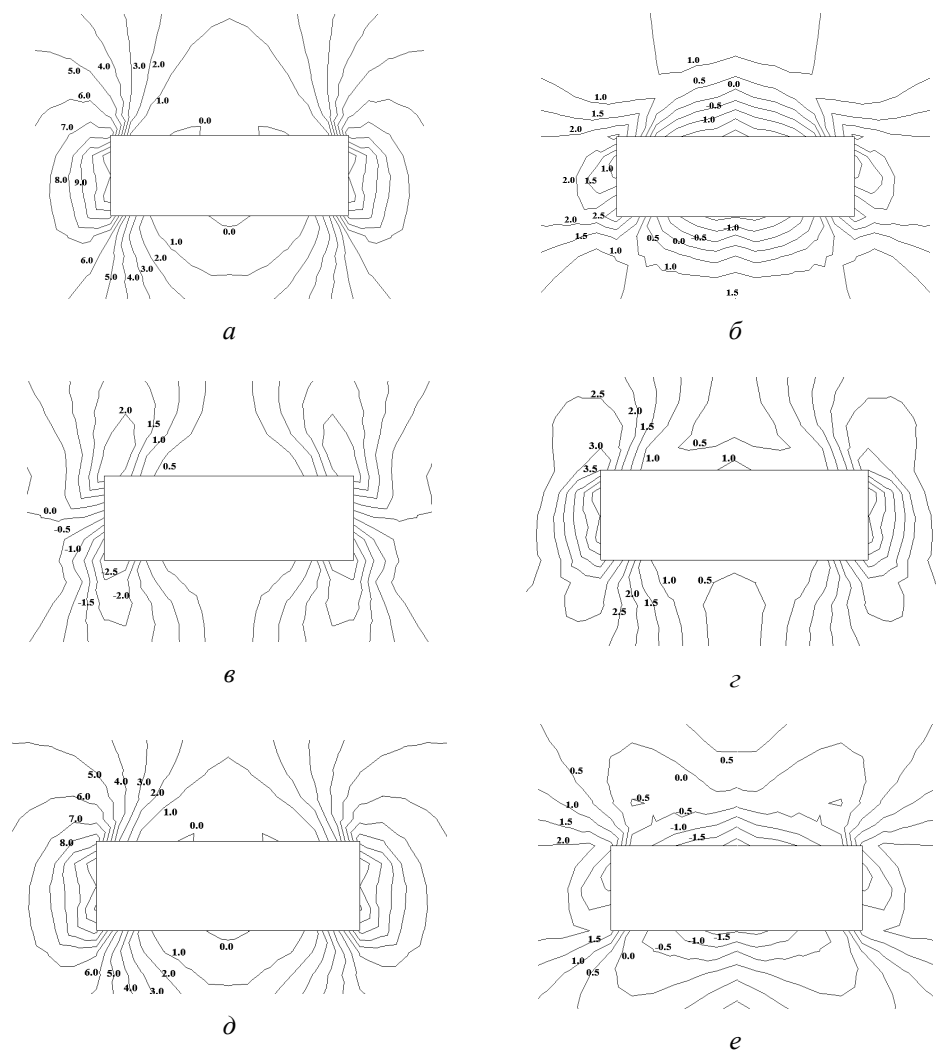


Рис. 3. Изолинии напряжений  $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{\max}$  в окрестности подземной выработки треугольного сечения с отношением ее высоты к ширине 1 : 3 соответственно (а—е)

На границах этой зоны дополнительные наведенные напряжения  $\sigma_y^H$  и  $\sigma_x^H$  (возникшие в результате образования выработки) не превышают 2...3 % соответствующих «основных» напряжений, равных

$$\sigma_y = \gamma H; \quad \sigma_x = \mu \gamma H, \quad (1)$$

где  $H$ ,  $\gamma$  и  $\mu$  — соответственно глубина заложения выработки, объемный вес и коэффициент Пуассона породы.

Если глубина заложения выработки  $H$  значительно (в 50 раз и более) превышает ее максимальный поперечный размер, то напряжения  $\sigma_y$  и  $\sigma_x$  вокруг этой зоны можно считать постоянными и вычисляемыми по формулам (1) [1].



Решение же задачи об определении поля напряжений в упомянутой выше зоне в общем случае сводится к совместному интегрированию системы дифференциальных уравнений равновесия и совместности деформаций

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + Y &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\nabla^2 (\sigma_x + \sigma_y) = -\frac{1}{1-\mu} \left( \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} \right), \quad (3)$$

где  $\sigma_y$ ;  $\sigma_x$ ;  $\tau_{xy}$  — вертикальная, горизонтальная и касательная составляющие полного напряжения в рассматриваемой точке;  $X$ ,  $Y$  — проекции суммарного вектора нагрузок на соответствующие оси координат;  $\nabla^2$  — оператор Лапласа.

При этом должны удовлетворяться известные граничные условия:

- 1) контур выработки должен быть свободен от напряжений;
- 2) в бесконечно удаленных точках напряжения имеют конечные значения;
- 3) на границе полуплоскости напряжения должны быть равны нулю.

Решение получают на основе использования аппарата теории функций комплексного переменного, в частности путем отображения внутренности единичного круга на внешность односвязной области (плоскость с отверстием-выработкой) при помощи полиномиальной отображающей функции.

Рассмотрим несколько примеров построения контуров сечений горных выработок различной конфигурации.

В работе [6] рассматривается функция комплексного переменного

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

где  $z = x + iy$ ,  $A, B, C, D$  — действительные числа, осуществляющие конформное отображение внутренности единичного круга  $|\zeta| < 1$  на внешность бесконечной односвязной области, границей которой является простая замкнутая кривая.

В зависимости от значений коэффициентов, входящих в функцию (4), эта кривая может иметь вид трапеции, треугольника, ромба и других контуров, имитирующих формы сечений горных выработок.

Положим  $\zeta = \cos \theta + i \sin \theta$ . Отделяя действительные и мнимые части в (4), получим параметрические уравнения упомянутой выше кривой в виде

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

где  $0 \leq \theta \leq 2\pi$ .

Согласно [6] тангенциальные нормальные напряжения в точках, расположенных на контуре выработок, вычисляются по формуле

$$\sigma_\theta = \frac{\gamma H (F + G \cos \theta + Q \cos 2\theta)}{K + L \cos \theta + M \cos 2\theta + N \cos 3\theta + R \cos 4\theta}, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned}
 F &= (1 + \mu)(9D^2 + 4C^2 - A^2) + BS; \\
 G &= 2C[(1 + \mu)(B + 6D) + S]; \\
 Q &= (1 + \mu)(A + 3D)B + (3D - A)S; \\
 K &= A^2 + B^2 + 4C^2 + 9D^2; \quad L = 4C(B + 3D); \\
 M &= 2B(3D - A); \\
 N &= -4AC; \quad R = -6AD; \\
 S &= (A - D)^{-1}[(1 + \mu)(A + D)B - 2(1 - \mu)A^2].
 \end{aligned} \tag{7}$$

Пусть на границе горной выработки заданной высоты  $h$  дано распределение значений компоненты тангенциального нормального напряжения  $\sigma_{\theta_1}, \sigma_{\theta_2}, \dots, \sigma_{\theta_n}$ . Необходимо определить форму сечения горной выработки. Заметим, что наряду с определением формы сечения может быть рассмотрена задача об ее уточнении в зависимости от значений тангенциального нормального напряжения, распределенного на контуре наперед заданной формы.

Ясно, что первое из соотношений (5) является нечетной, а второе — четной функцией аргумента  $\theta$ , поэтому все контуры будут симметричными относительно оси  $OY$ .

Решение поставленной задачи предполагается разбить на несколько этапов, первым из которых является нахождение коэффициентов отображающей функции (4) при помощи точек на контуре, в которых тангенциальное нормальное напряжение обращается в нуль. Для этого необходимо решить уравнение

$$F + G \cos \theta + Q \cos 2\theta = 0, \tag{8}$$

где коэффициенты  $F$ ,  $G$  и  $Q$  определяются первыми тремя соотношениями (7) и, следовательно, зависят от коэффициентов отображающей функции (4) и коэффициента Пуассона  $\mu$ .

В работе [6] рассмотрена задача об определении форм сечений подземных выработок со «свободными» от напряжений контурами. Для ее решения автор из формулы (6) при  $\sigma_\theta = 0$  полагает  $F = 0$ ,  $G = 0$ ,  $Q = 0$ , что соответствует условию тождественного равенства нулю тангенциального нормального напряжения. Нас же будут интересовать те значения аргумента  $\theta$  ( $0 \leq \theta \leq 2\pi$ ), при которых имеет место равенство (8).

Переписывая равенство (8) в виде

$$2Q \cos^2 \theta + G \cos \theta + F - Q = 0, \tag{8'}$$

получим квадратное уравнение относительно  $\cos \theta$ . Поскольку  $|\cos \theta| \leq 1$ , то ясно, что уравнение (8') на отрезке  $0 \leq \theta \leq 2\pi$  имеет не более четырех корней, причем если  $\theta_1$  и  $\theta_2$  ( $|\theta_1| < |\theta_2|$ ) — корни данного уравнения на отрезке  $0 \leq \theta \leq \pi$ , то  $2\pi - \theta_2$  и  $2\pi - \theta_1$  — корни рассматриваемого уравнения на отрезке  $\pi \leq \theta \leq 2\pi$ .

Приведем результаты решения первого этапа поставленной выше задачи в виде ряда примеров построения контуров кривых (5) в зависимости от количества и характера корней уравнения (8') и при значении коэффициента бокового распора  $\mu = 0,2$ .

*Пример 1.* Пусть уравнение (8') на участке  $0 \leq \theta \leq \pi$  имеет два корня, таких, что  $\cos \theta_1 = 0,86$ ,  $\cos \theta_2 = -0,96$ .

Тогда отображающая функция (4) имеет вид

$$z = \omega(\zeta) = i(-7,3\zeta^{-1} - 0,3\zeta + 0,7\zeta^2 + 0,6\zeta^3). \quad (9)$$

Функция (9) отображает внутренность единичного круга  $|\zeta| < 1$  на плоскость с трапециевидным вырезом, изображенным на рис. 4, а. На контуре отмечены точки, являющиеся образами точек единичной окружности  $\theta_0 = 0$ ;  $\theta_1 = 0,55$ ;  $\theta_2 = 2,85$ ;  $\theta_3 = 3,44$ ;  $\theta_4 = 5,73$ , определяющие интервалы перемен знаков тангенциального нормального напряжения. На участках  $\theta_0 - \theta_1$ ,  $\theta_2 - \theta_3$ ,  $\theta_4 - \theta'_0$ , ( $\theta'_0 = 2\pi \approx 6,28$ ) контура действуют положительные (растягивающие) напряжения, на участках  $\theta_1 - \theta_2$ ,  $\theta_3 - \theta_4$  контура действуют отрицательные (сжимающие) напряжения: в точках  $\theta_i, i=1, \dots, 4$  значения напряжения равны нулю. В точках  $\theta_1^{\min} = 0,95$  и  $\theta_3^{\min} = 5,33$  напряжение достигает минимального значения, равного  $\sigma_\theta = -3,64\gamma H$ ; в точке  $\theta_0 = 0$  напряжение достигает максимального значения, равного  $\sigma_\theta = 0,55\gamma H$ , а при  $\theta = 3,14$ , т.е. в точке контура, находящейся на оси ординат между точками  $\theta_2$  и  $\theta_3$ , значение напряжения достигает локального максимума, равного  $\sigma_\theta = 0,26\gamma H$ . На рис. 4, б приведена эпюра тангенциального нормального напряжения в координатах  $(\theta, \sigma'_\theta)$ , где  $\sigma'_\theta = \sigma_\theta / \gamma H$ .

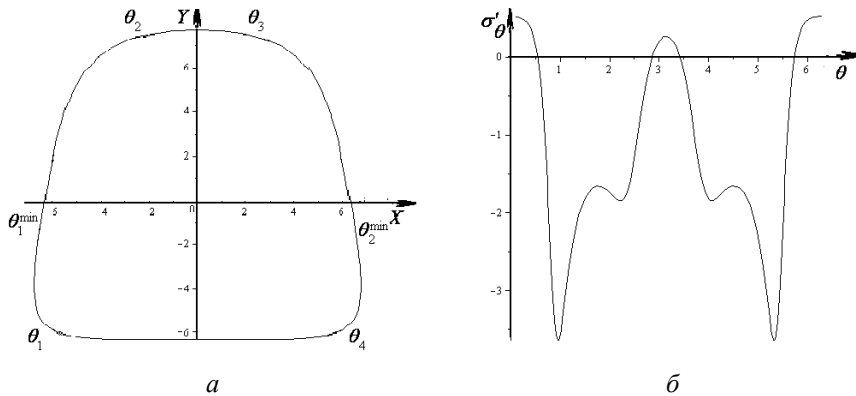


Рис. 4. Контур выработки трапециевидного сечения (а), эпюра тангенциального нормального напряжения (б)

*Пример 2.* Теперь пусть уравнение (8') на участке  $0 \leq \theta \leq \pi$  имеет два корня, таких, что  $\cos \theta_1 = 0,98$ ,  $\cos \theta_2 = -0,9$ .

Отображающая функция (4) при этом имеет вид

$$z = \omega(\zeta) = i(-8\zeta^{-1} - 3,5\zeta + 0,1\zeta^2 + 0,5\zeta^3). \quad (10)$$

Функция (10) отображает внутренность единичного круга  $|\zeta| < 1$  на плоскость с квадратным вырезом, изображенным на рис. 5, а. На контуре отмечены точки, являющиеся образами точек единичной окружности  $\theta_0 = 0$ ;  $\theta_1 = 0,15$ ;  $\theta_2 = 3,06$ ;  $\theta_3 = 3,22$ ;  $\theta_4 = 6,13$ , определяющие интервалы перемен знаков тангенциального нормального напряжения. На участках  $\theta_0 - \theta_1$ ,  $\theta_2 - \theta_3$ ,  $\theta_4 - \theta'_0$ , ( $\theta'_0 = 2\pi \approx 6,28$ ) контура действуют растягивающие напряжения, на участках  $\theta_1 - \theta_2$ ,  $\theta_3 - \theta_4$  контура действуют сжимающие напряжения: в точках  $\theta_i, i = 1, \dots, 4$  значения напряжения равны нулю. В точках  $\theta_1^{\min} = 0,74$  и  $\theta_3^{\min} = 5,54$  напряжение достигает минимального значения, равного  $\sigma_\theta = -1,99\gamma H$ ; в точке  $\theta_0 = 0$  напряжение достигает максимального значения, равного  $\sigma_\theta = 0,13\gamma H$ , а при  $\theta = 3,14$ , т. е. в точке контура, находящейся на оси ординат между точками  $\theta_2$  и  $\theta_3$ , значение напряжения достигает локального максимума, равного  $\sigma_\theta = 0,05\gamma H$ .

На рис. 5, б приведена эпюра тангенциального нормального напряжения в координатах  $(\theta, \sigma'_\theta)$ .

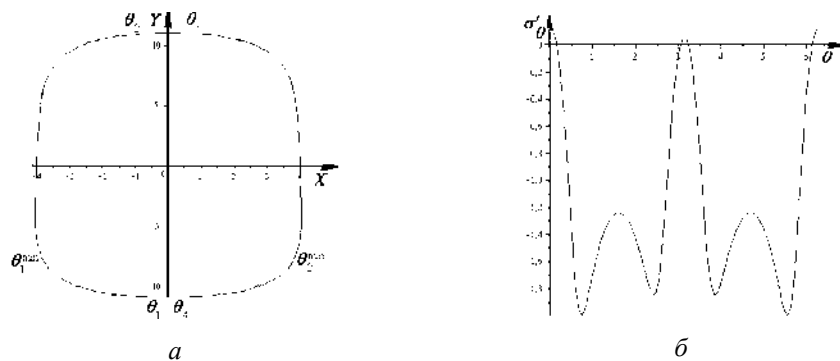


Рис. 5. Контур выработки квадратного сечения (а); эпюра тангенциального нормального напряжения (б)

*Пример 3.* Пусть уравнение (8') на участке  $0 \leq \theta \leq \pi$  имеет один корень  $\cos \theta = -0,63$ .

Отображающая функция (4) в этом случае будет иметь вид

$$z = \omega(\zeta) = i(10,1\zeta^{-1} - \zeta + 3,5\zeta^2 + 0,5\zeta^3). \quad (11)$$

Функция (11) отображает внутренность единичного круга  $|\zeta| < 1$  на плоскость с треугольным вырезом, изображенным на рис. 6, а. На контуре отмечены точки, являющиеся образами точек единичной окружности  $\theta_0 = 0$ ;  $\theta_1 = 2,25$ ;  $\theta_2 = 4,03$ , определяющие интервалы перемен знаков тангенциального нормального напряжения. На участках

$\theta_0 — \theta_1$ ,  $\theta_2 — \theta'_0$ , ( $\theta'_0 = 2\pi \approx 6,28$ ) контура действуют сжимающие напряжения, на участке  $\theta_1 — \theta_2$  контура действуют растягивающие напряжения: в точках  $\theta_1$  и  $\theta_2$  значения напряжения равны нулю. В точках  $\theta_1^{\min} = 1,96$  и  $\theta_1^{\min} = 4,32$  напряжение достигает минимального значения, равного  $\sigma_\theta = -11,57\gamma H$ ; в точке  $\theta_0 = 0$  напряжение принимает значение, равное  $\sigma_\theta = -1,51\gamma H$ , а при  $\theta = 3,14$  значение напряжения достигает локального максимума, равного  $\sigma_\theta = 0,77\gamma H$ . На рис. 6, б приведена эпюра тангенциального нормального напряжения в координатах  $(\theta, \sigma'_\theta)$ .

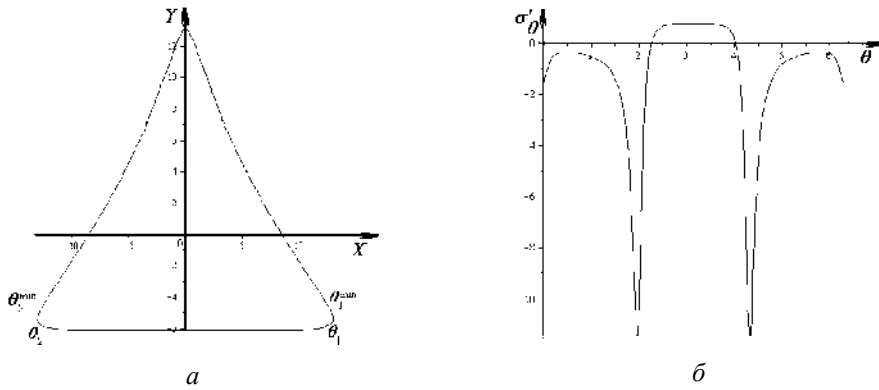


Рис. 6. Контур выработки треугольного сечения (а); эпюра тангенциального нормального напряжения (б)

*Пример 4.* Теперь пусть уравнение (8') на участке  $0 \leq \theta \leq \pi$  имеет один корень  $\cos \theta = -0,92$ .

Отображающая функция (4) примет вид

$$z = \omega(\zeta) = i(-\zeta^{-1} + 3,76\zeta + 2\zeta^2 + 0,24\zeta^3). \quad (12)$$

Функция (12) отображает внутренность единичного круга  $|\zeta| < 1$  на плоскость с кардиоидальным вырезом, изображенным на рис. 7, а. На контуре отмечены точки, являющиеся образами точек единичной окружности  $\theta_0 = 0$ ;  $\theta_1 = 2,73$ ;  $\theta_2 = 3,55$ , определяющие интервалы перемен знаков тангенциального нормального напряжения. На участках  $\theta_0 — \theta_1$ ,  $\theta_2 — \theta'_0$ , ( $\theta'_0 = 2\pi \approx 6,28$ ) контура действуют растягивающие напряжения, на участке  $\theta_1 — \theta_2$  контура действуют сжимающие напряжения: в точках  $\theta_1$  и  $\theta_2$  значения напряжения равны нулю. В точках  $\theta_1^{\max} = 1,27$  и  $\theta_1^{\max} = 5,01$  напряжение достигает максимального значения, равного  $\sigma_\theta = 1,6\gamma H$ ; в точке  $\theta_0 = 0$  напряжение принимает значение, равное  $\sigma_\theta = 0,9\gamma H$ , а при  $\theta = 3,14$  значение напряжения достигает минимума, равного  $\sigma_\theta = -0,73\gamma H$ .

На рис. 7, б приведена эпюра тангенциального нормального напряжения в координатах  $(\theta, \sigma'_\theta)$ .

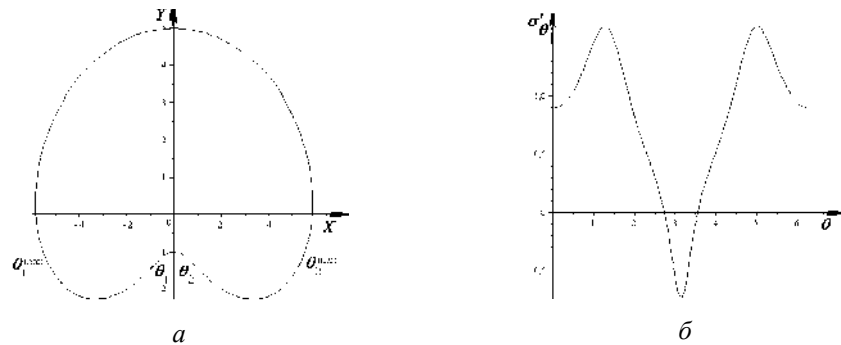


Рис. 7. Контур выработки кардиоидального сечения (а); эпюра тангенциального нормального напряжения (б)

*Пример 5.* Теперь пусть уравнение (8') на участке  $0 \leq \theta \leq \pi$  не имеет корней.

Рассмотрим отображающую функцию (4), которая в данном случае имеет вид

$$z = \omega(\zeta) = i(-30,75\zeta + 8\zeta^2 + 1,25\zeta^3). \quad (13)$$

Функция (13) отображает внутренность единичного круга  $|\zeta| < 1$  на плоскость с круговым вырезом, изображенным на рис. 8, а.

В каждой точке контура будут действовать только сжимающие напряжения, причем при  $\theta = 0$  значение тангенциального нормального напряжения достигает на интервале  $0 \leq \theta \leq 2\pi$  минимума, равного  $\sigma_\theta = -5,51\gamma H$ , а при значении аргумента  $\theta = 3,14$  значение тангенциального нормального напряжения достигает максимума, равного  $\sigma_\theta = -0,52\gamma H$ .

На рис. 8, б приведена эпюра тангенциального нормального напряжения в координатах  $(\theta, \sigma'_\theta)$ .

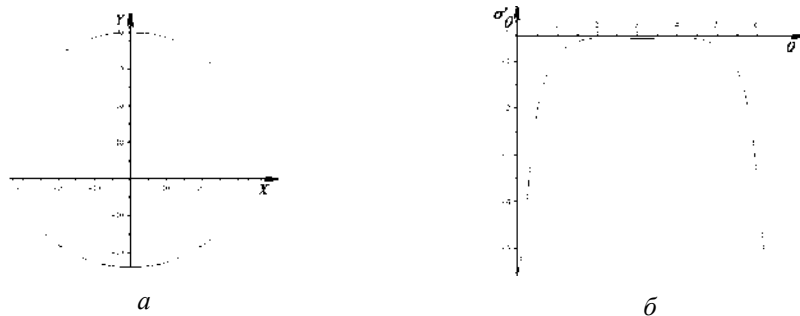


Рис. 8. Контур выработки сечения в виде окружности (а); эпюра тангенциального нормального напряжения (б)

Ясно, что примеры 1—5 не исчерпывают всех рассмотренных выше случаев расположения, количества и характера корней уравнения (8'), однако цель, преследуемая при построении контуров сечений, заключалась в том, чтобы привести примеры сечений различной конфигурации. Заметим, что заданные априори и различные для каждого из рассмотренных примеров

значения высот выработок  $h$  связаны с коэффициентом  $C$  отображающей функции (4). Понятно, что если необходимо изменить значение высоты выработки  $h$  в  $k$  раз, не изменяя ее формы, то для этого достаточно умножить коэффициенты отображающей функции на число  $k$ , т.е. рассмотреть отображающую функцию

$$z = \omega(\zeta) = ki(A\zeta^{-1} + B\zeta + C\zeta^2 + D\zeta^3). \quad (14)$$

Нетрудно увидеть, что при этом будет получено отверстие, гомотетичное исходному, с коэффициентом гомотетии  $k$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цымбаревич П. М. Механика горных пород. М. : Углетехиздат, 1948. 183 с.
2. Динник А. Н., Моргачевский А. Б., Савин Г. Н. Распределение напряжений вокруг подземных горных выработок // Труды совещания по управлению горным давлением. М. : АН СССР, 1938.
3. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние) / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков, С. И. Шиян : свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г.
4. Анализ напряженного состояния грунтового массива, вмещающего подземные пространства различной конфигурации / А. Н. Богомолов, С. В. Кузнецова, В. Н. Синяков, М. А. Шубин, В. П. Дыба, Г. М. Скибин, Ю. И. Олянский, О. А. Богомолова, А. Н. Ушаков // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строит. информатика. 2012. Вып. 8(24). Режим доступа: [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru).
5. Трумбачев В. Ф., Молодцова Л. С. Применение оптического метода для исследования напряженного состояния пород вокруг горных выработок. М. : Из-во АН СССР, 1963. 95 с.
6. Цветков В. К. Определение форм сечения горных выработок с заданными напряжениями на их контурах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1986. № 2. С. 24—29.
1. Tsymbarevich P. M. Mekhanika gornykh porod. M. : Ugletekhizdat, 1948. 183 s.
2. Dinnik A. N., Morgaevskiy A. B., Savin G. N. Raspredelenie napryazheniy vokrug podzemnykh gornykh vyrabotok // Trudy soveshchaniya po upravleniyu gornym davleniem. M. : AN SSSR, 1938.
3. Ustoychivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, M. Yu. Nestratov, N. N. Potapova, M. M. Stepanov, A. N. Ushakov, S. I. Shiyan : svid. o gos. reg. programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g.
4. Analiz napryazhennogo sostoyaniya gruntovogo massiva, vmeshchayushchego podzemnye prostranstva razlichnoy konfiguratsii / A. N. Bogomolov, S. V. Kuznetsova, V. N. Sinyakov, M. A. Shubin, V. P. Dyba, G. M. Skibin, Yu. I. Olyanskiy, O. A. Bogomolova, A. N. Ushakov // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Stroit. informatika. 2012. Vyp. 8(24). Rezhim dostupa: [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru).
5. Trumbachev V. F., Molodtsova L. S. Primenenie opticheskogo metoda dlya issledovaniya napryazhennogo sostoyaniya porod vokrug gornykh vyrabotok. M. : Iz-vo AN SSSR, 1963. 95 s.
6. Tsvetkov V. K. Opredelenie form secheniya gornykh vyrabotok s zadannymi napryazheniyami na ikh konturakh // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. 1986. № 2. S. 24—29.

© Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Богомолова О. А., Шиян С. И., Ермаков О. В., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Определение напряжений в точках внешности односвязной области, имитирующей контур подземной горизонтальной выработки / А. Н. Богомолов, А. Н. Ушаков, О. А. Богомолова, С. И. Шиян, О. В. Ермаков // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 6—15.

УДК 624.131

**А. Н. Богомолов, С. А. Калиновский, О. В. Ермаков,  
А. В. Соловьев, Р. С. Нестеров**

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ «ОСНОВАНИЕ ФУНДАМЕНТА — ПОДЗЕМНАЯ ВЫРАБОТКА»**

Приводятся результаты решения примеров, иллюстрирующих степень взаимного влияния объектов системы «ленточный фундамент — подземная выработка» при различных значениях коэффициента бокового давления грунта. При решении примеров использована компьютерная программа, в которой формализован метод конечных элементов. Оценка взаимного влияния объектов рассматриваемой системы проведена на основе результатов анализа процесса образования и развития областей пластических деформаций в грунтовом массиве, вмещающем систему. Установлено, что численные значения «безопасных» расстояний и глубин для системы «ленточный фундамент — подземная выработка» при всех прочих равных условиях являются функциями коэффициента бокового давления грунта как в случае заглубленного, так и в случае находящегося на дневной поверхности фундамента.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** система «ленточный фундамент — подземная выработка», взаимное влияние объектов, напряженное состояние, процесс образования и развития областей пластических деформаций, коэффициент бокового давления грунта, «безопасные» глубина и расстояния, предельно допустимая нагрузка.

The results of the solution to the examples illustrating the degree of mutual influence of the objects of “strip foundation — underground mine” system at various values of the coefficient of lateral earth pressure are given in the article. While finding solutions the computer program, in which finite element method is formalized, was used. The assessment of mutual influence of the objects of the considered system is carried out on the basis of the results of the analysis of the process of formation and development of areas of plastic flows in the soil mass inclosing the system. It is established that numerical values of “safe” distances and depths for “strip foundation — underground mine” under all other equal conditions are the functions of the coefficient of lateral earth pressure both in case of buried, and in case of the foundation daylight surface.

**Key words:** “strip foundation — underground mine” system, mutual influence of the objects, stress condition, process formation and development of areas of plastic flows, coefficient of lateral earth pressure, “safe” depth and distances, maximum allowed load.

В современных условиях, когда возведение новых сооружений проводится в условиях уплотненной городской застройки, возникает проблема оценки взаимного влияния фундаментов вновь возводимых зданий и многочисленных существующих подземных коммуникации. Одной из задач, которую приходится решать в рамках этой проблемы, является задача определения «безопасного» расстояния между вновь возводимым сооружением и уже существующей подземной выработкой.

Под «безопасным» будем понимать такое расстояние между этими объектами, когда существующая подземная выработка не оказывает влияния на несущую способность основания фундамента вновь возводимого здания, а он, в свою очередь, не снижает устойчивости ствола выработки.

Данная задача входит в число тех, что решаются в рамках расчетов по первому предельному состоянию, т. е. по прочности. Поэтому определить величину «безопасного» расстояния можно на основе изучения процесса образования и развития областей пластических деформаций, возникающих в грунтовом массиве, вмещающем основание фундамента и подземную вы-



работку. При этом важной является задача и об определении влияния величины коэффициента бокового давления грунта на протекание этого процесса.

В данной статье на основе решения отдельных примеров показано, что, учитывая при расчетах величину коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0$ , можно получить существенно отличающиеся результаты, что говорит о возможности получения экономического эффекта либо о предотвращении аварийной ситуации.

Для решения задачи составлены две механико-математические модели метода конечных элементов (МКЭ) для незаглубленного и заглубленного ленточных фундаментов. Их геометрические размеры и наложенные граничные условия вместе с фрагментами соответствующих расчетных схем представлены на рис. 1.

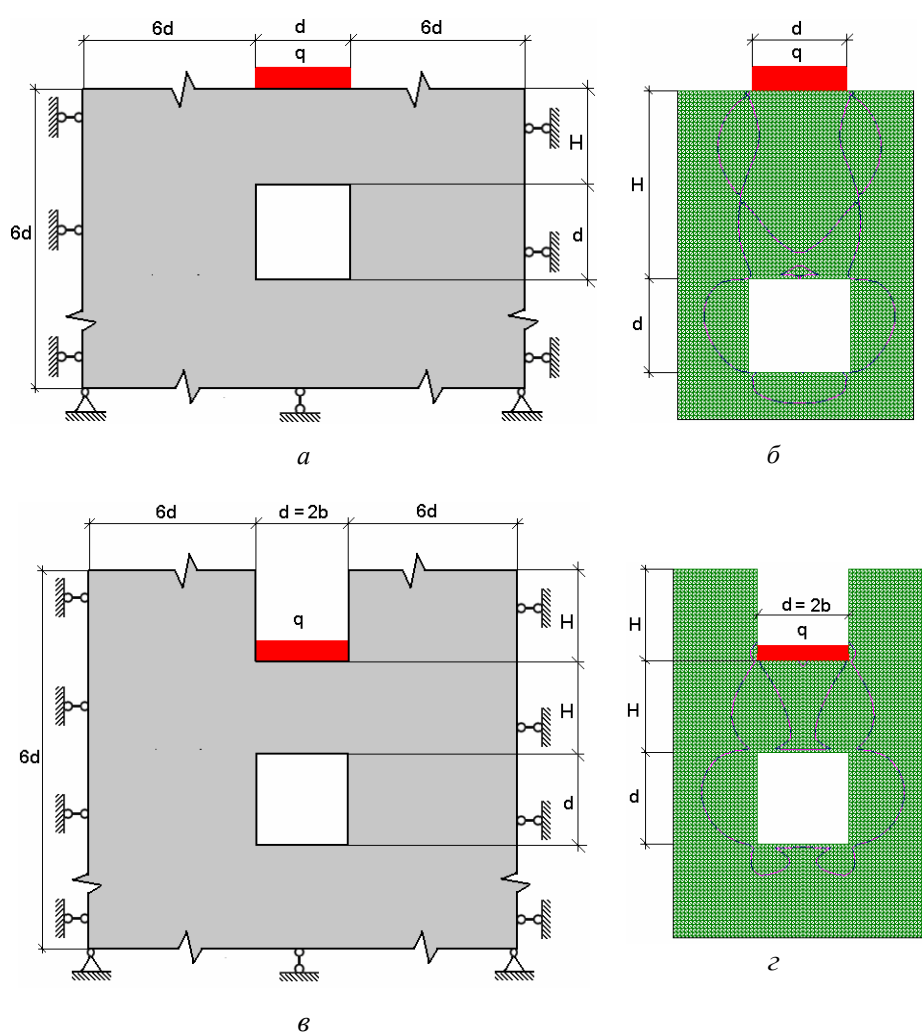


Рис. 1. Геометрические размеры механико-математической модели (а) и фрагмент расчетной схемы (б) для решения задачи о взаимном влиянии незаглубленного фундамента и подземной выработки; то же для заглубленного фундамента (в; г) при  $H = 2d$

Расчетные схемы МКЭ для каждого из рассматриваемых случаев состоят соответственно из 108 576 и 107 424 треугольных конечных элементов, сопряженных в 54 950 и 54 374 узлах с шириной матрицы жесткости 354.

Для оценки влияния величины коэффициента бокового давления грунта на распределение напряжений в однородном и изотропном грунтовом массиве, вмещающем ленточный фундамент и подземную выработку, воспользуемся компьютерной программой [1], в которой формализован МКЭ.

Все вычисления проведены при трех значениях величины  $\xi_0 = 0,55; 0,75; 0,90$  [2—4] и соблюдении следующих условий:

1. Глубина заложения фундамента равна его ширине  $H_3 = 2b = 2$  м, а интенсивность воспринимаемой им равномерно распределенной нагрузки  $q = 4,17\gamma H$ .

2. Подземная выработка квадратного сечения имеет размер стороны  $d = 2$  м, а ее потолочина находится на глубине  $H_в = 4$  м.

3. Совпадение вертикальных осей симметрии обоих объектов, составляющих систему «заглубленный фундамент — подземная выработка», расстояние между подошвой фундамента и потолочиной выработки равно  $h = 2$  м.

4. Смещение вертикальных осей симметрии обоих объектов, составляющих систему «заглубленный фундамент — подземная выработка» на расстояние 4 м.

В результате построены картины изолиний напряжений, представленные на рис. 2—4.

Анализ результатов вычислений показывает, что величина  $\xi_0$  оказывает существенное влияние лишь на распределение горизонтальных напряжений, отличия которых в соответствующих точках грунтового массива и при соответствующих расчетных параметрах могут достигать 31,4...62,9 %, в то время как вертикальные и касательные напряжения в этих точках остаются практически неизменными для соответствующих расчетных схем.

Выше дано определение безопасного расстояния  $l$ , исходя из которого будем считать, что таковым является измеряемое по горизонтали расстояние между вертикальными осями симметрии фундамента и выработки, при котором области пластических деформаций в активных зонах этих объектов будут такими, как и в случае рассмотрения каждого объекта в отдельности. Аналогичным образом определяется и понятие «безопасная глубина»  $h$ .

Нашей целью не является определение безопасных расстояний и глубины для всех возможных в природе физико-механических свойств грунтового массива, включающего обозначенную выше систему. Мы ставим целью показать, какое влияние на величину этих двух параметров оказывает величина коэффициента бокового давления грунта при каких-то его реальных прочностных свойствах.

В качестве примера рассмотрим грунтовый массив, имеющий следующие реальные физико-механические характеристики:  $\varphi = 16^\circ$ ,  $C = 29$  кПа,  $\gamma = 2$  т/м<sup>3</sup> [5, 6].

Отметим только, что под расстоянием  $l_1$  понимается такое минимальное расстояние, когда области пластических деформаций (ОПД) образуются только под левым краем фундамента, а под расстоянием  $l_2$  — расстояние, когда ОПД отсутствуют под обоими его краями.

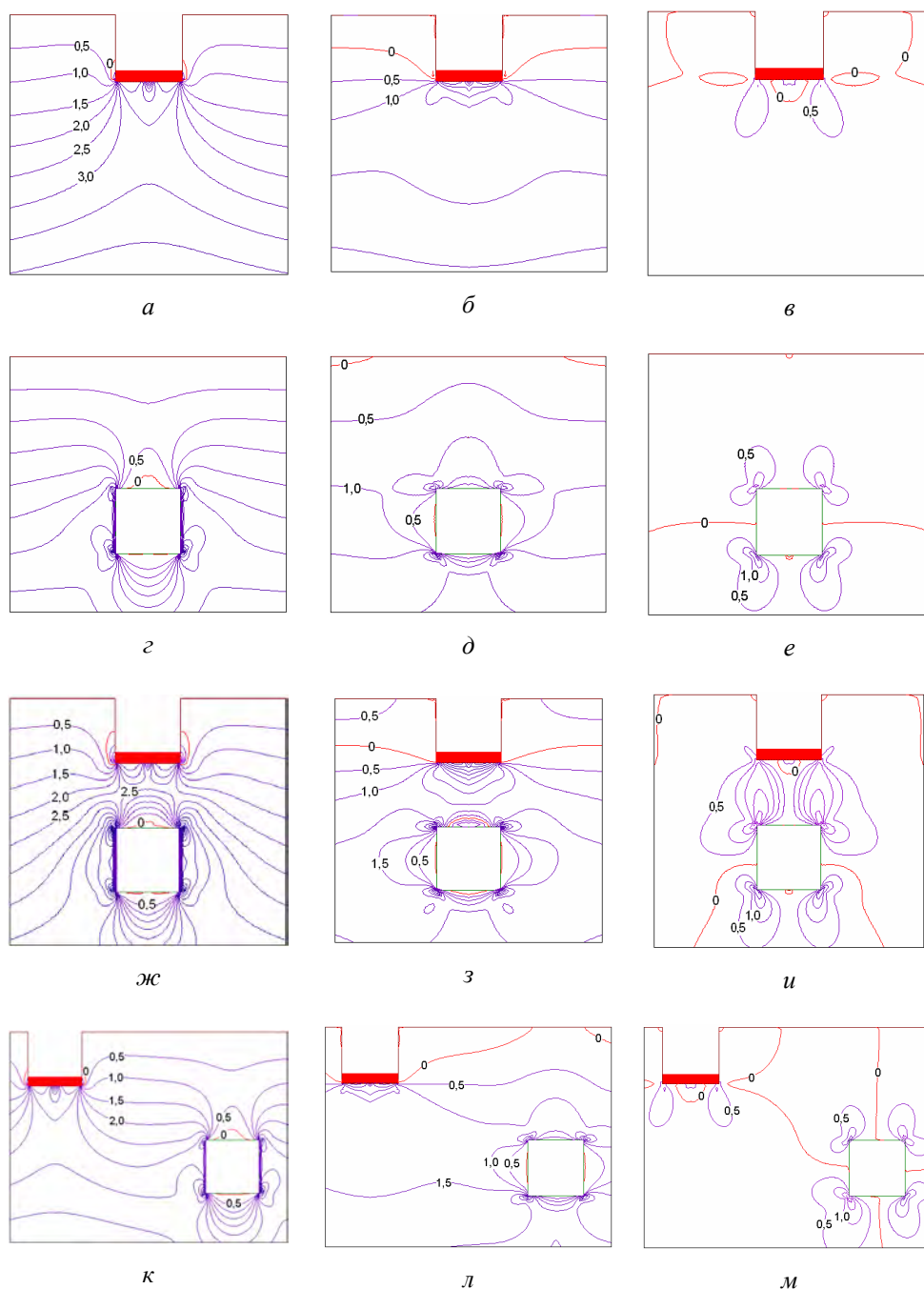


Рис. 2. Картины изолиний вертикальных  $\sigma_z$ , горизонтальных  $\sigma_x$  и касательных  $\tau_{xz}$  напряжений в активной зоне изолированного заглубленного фундамента (а—в); в окрестности изолированной подземной выработки квадратного сечения (г—е); в активной зоне системы «заглубленный фундамент — подземная выработка» при условии совпадения их вертикальных осей симметрии (ж—и); то же, при смещении вертикальных осей симметрии друг относительно друга на расстояние  $l = 2H = 4$  м (к—м) при условии, что  $\xi_0 = 0,55$ , а  $q = 4,17\gamma H$

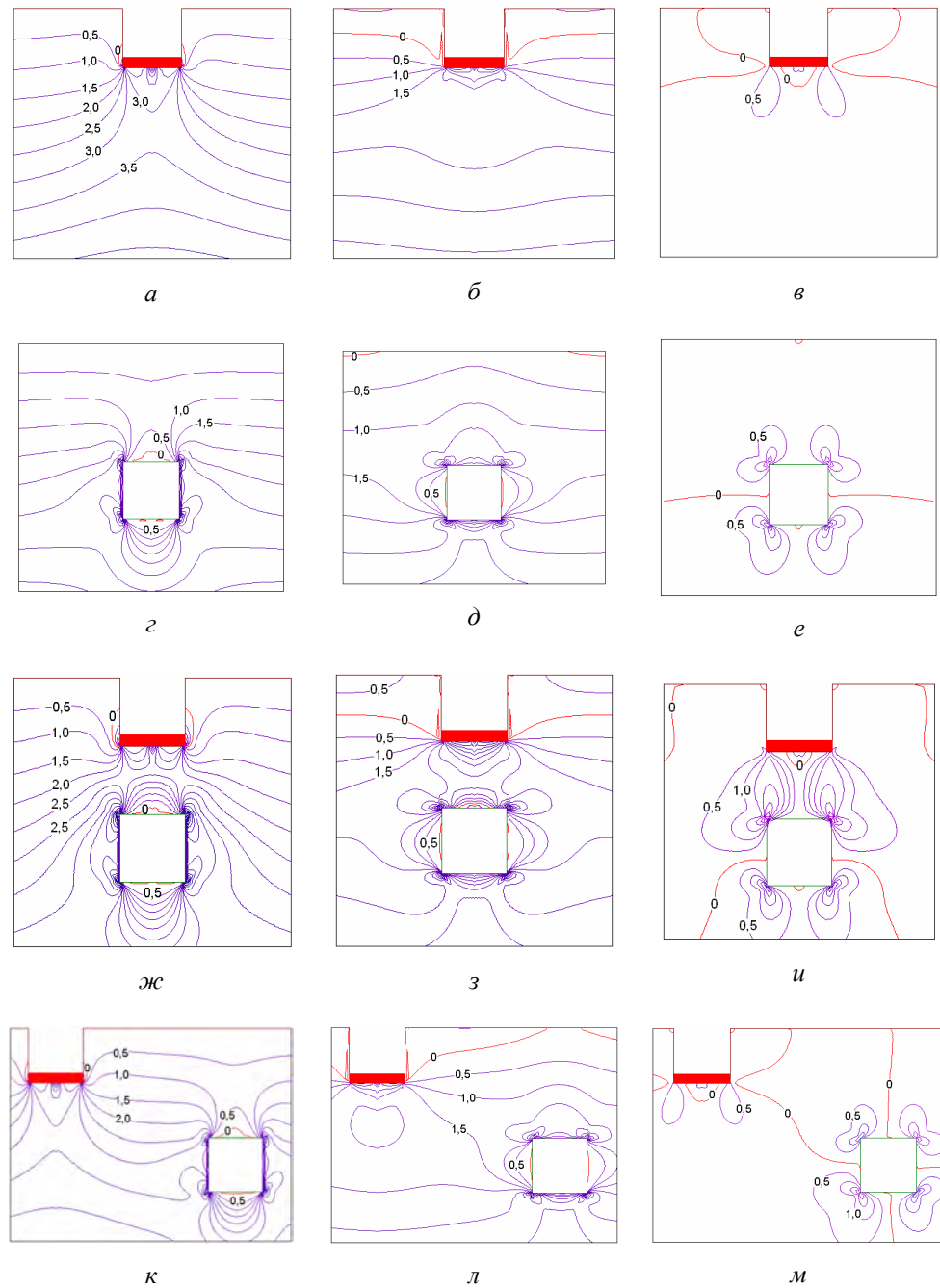


Рис. 3. Картины изолиний вертикальных  $\sigma_z$ , горизонтальных  $\sigma_x$  и касательных  $\tau_{xz}$  напряжений в активной зоне изолированного заглубленного фундамента (а—в); в окрестности изолированной подземной выработки квадратного сечения (г—е); в активной зоне системы «заглубленный фундамент — подземная выработка» при условии совпадения их вертикальных осей симметрии (ж—и); то же, при смещении вертикальных осей симметрии друг относительно друга на расстояние  $l = 2H = 4$  м (к—м) при условии, что  $\xi_0 = 0,75$ , а  $q = 4,17\gamma H$

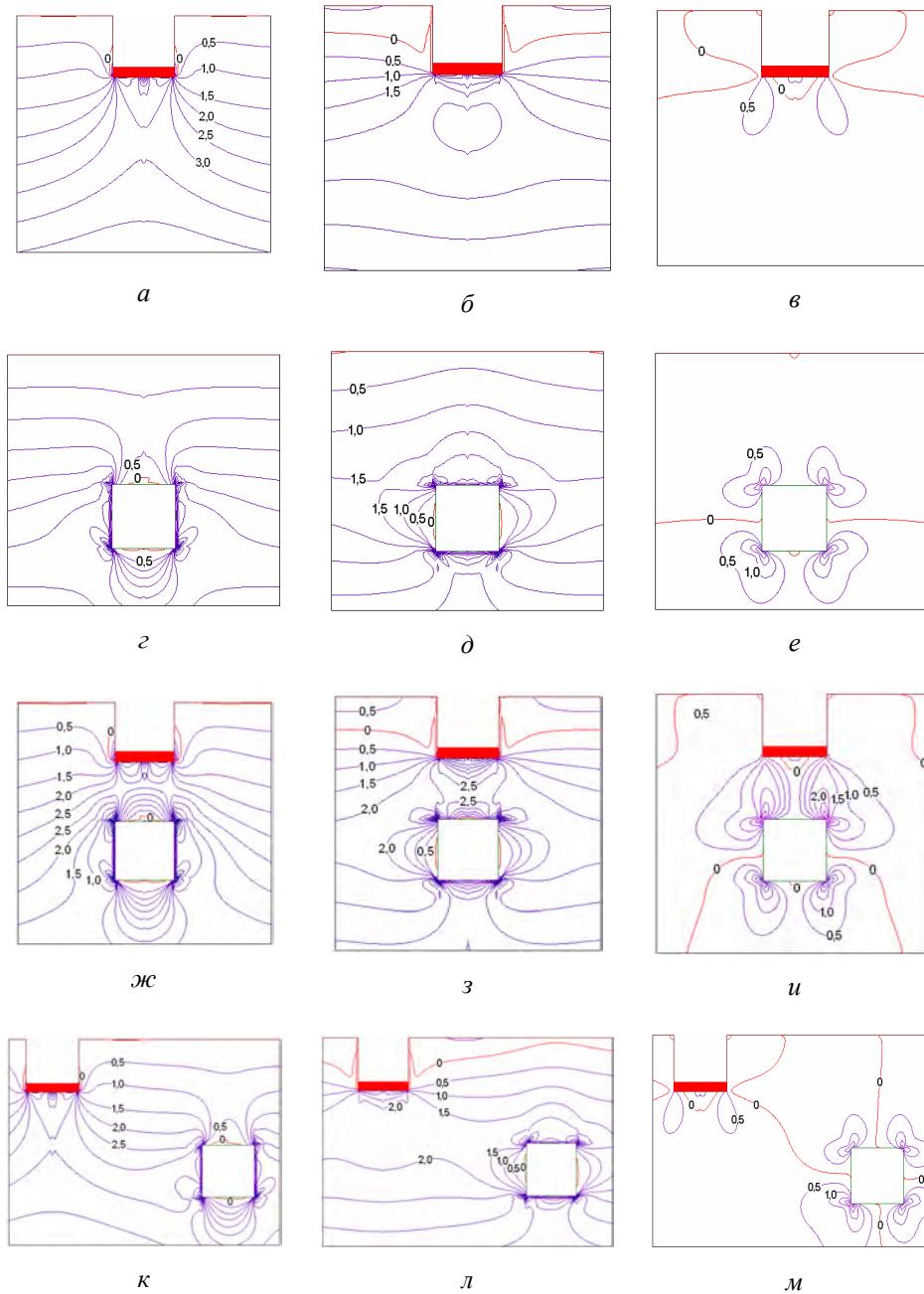


Рис. 4. Картины изолиний вертикальных  $\sigma_z$ , горизонтальных  $\sigma_x$  и касательных  $\tau_{xz}$  напряжений в активной зоне изолированного заглубленного фундамента (а—в); в окрестности изолированной подземной выработки квадратного сечения (г—е); в активной зоне системы «заглубленный фундамент — подземная выработка» при условии совпадения их вертикальных осей симметрии (ж—и); то же, при смещении вертикальных осей симметрии друг относительно друга на расстояние  $l = 2H = 4$  м (к—м) при условии, что  $\xi_0 = 0,90$ , а  $q = 4,17\gamma H$

На рис. 5—7 в качестве примеров приведена часть картин ОПД, возникающих в системе «заглубленный фундамент — подземная выработка» при оговоренных выше условиях.

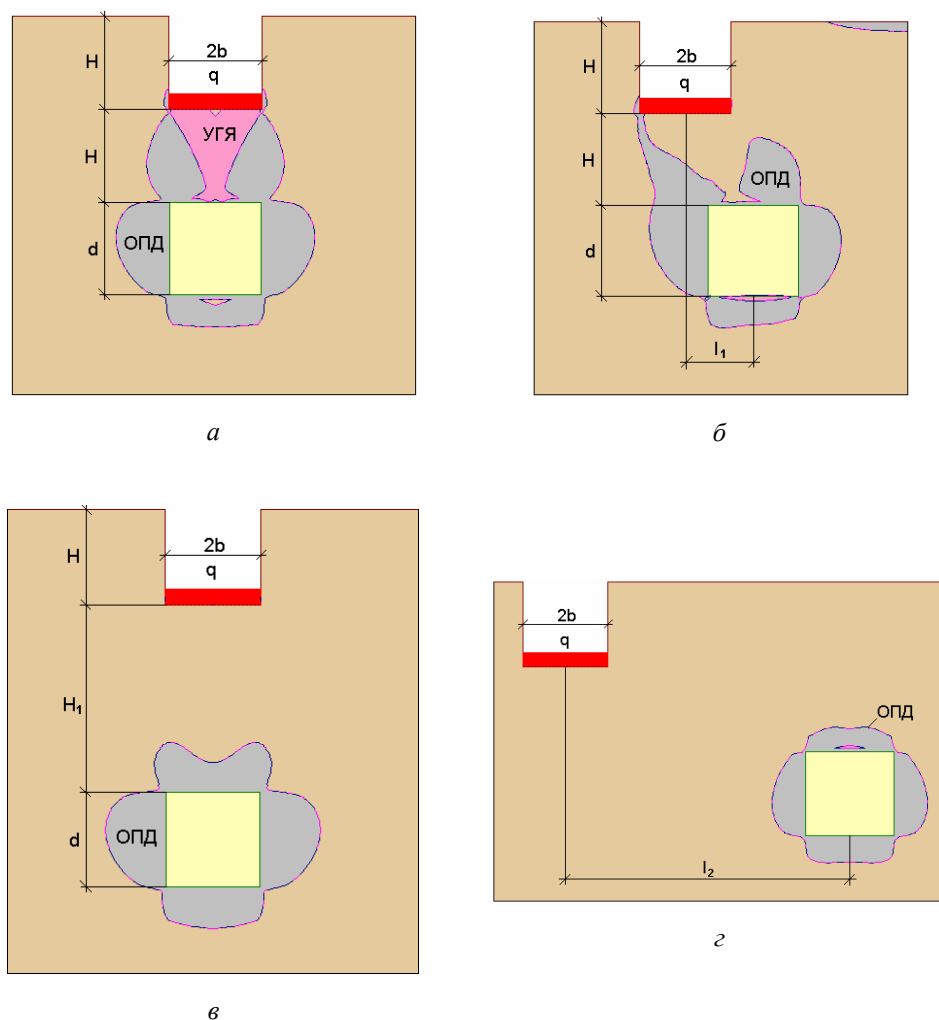


Рис. 5. Области пластических деформаций в активной зоне системы «заглубленный фундамент — подземная выработка» при величине коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0 = 0,90$

В табл. 1 приведены численные значения «безопасных» расстояний и глубины, полученные в результате вычислений при различных значениях коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0$ , а на рис. 8 — графические зависимости вида  $l_1 = f(\xi_0)$ ;  $l_2 = \psi(\xi_0)$  и  $h = \chi(\xi_0)$ , построенные по данным, содержащимся в этой табл.

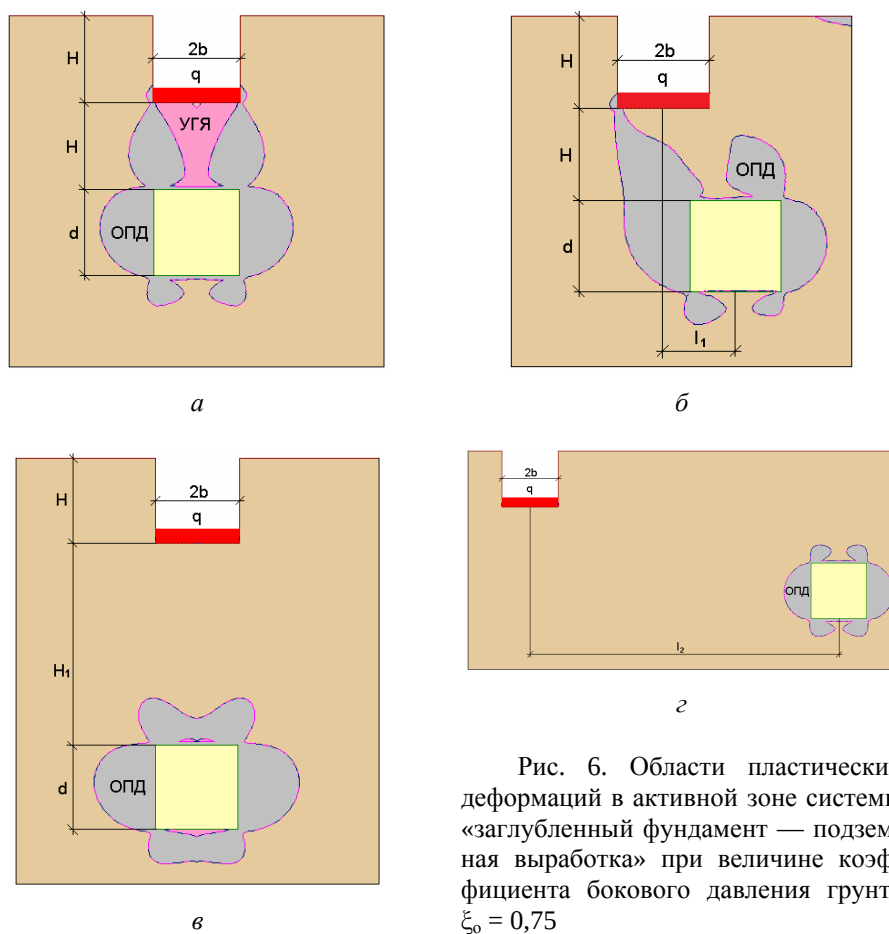


Рис. 6. Области пластических деформаций в активной зоне системы «заглубленный фундамент — подземная выработка» при величине коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0 = 0,75$

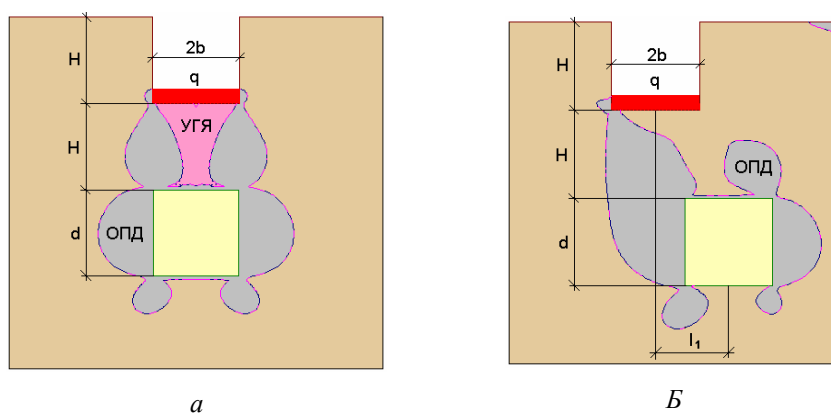


Рис. 7 (начало). Области пластических деформаций в активной зоне системы «заглубленный фундамент — подземная выработка» при величине коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0 = 0,55$

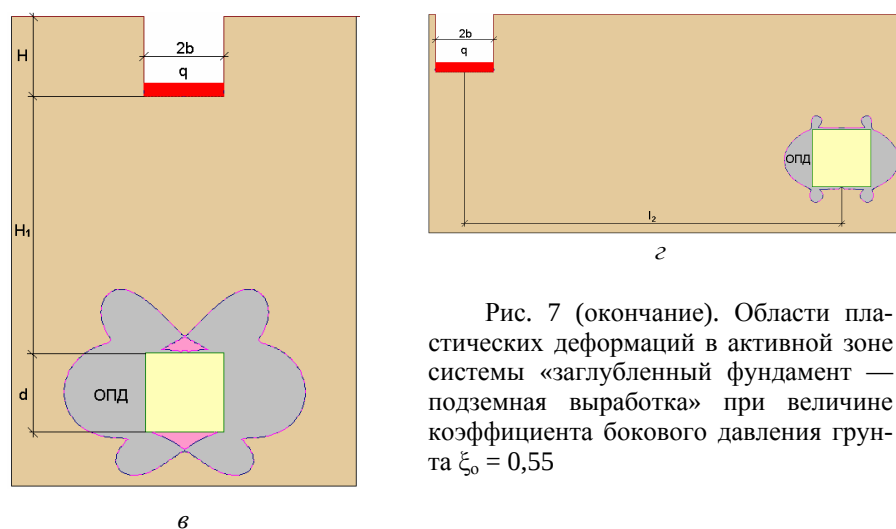


Рис. 7 (окончание). Область пластических деформаций в активной зоне системы «заглубленный фундамент — подземная выработка» при величине коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0 = 0,55$

Таблица 1  
Безопасные расстояния и глубина для рассмотренного примера

| $\xi_0$ | $l_1$ , м | $l_2$ , м | $h$ , м |
|---------|-----------|-----------|---------|
| 0,90    | 1,50      | 6,58      | 3,88    |
| 0,75    | 1,58      | 9,42      | 4,76    |
| 0,55    | 1,68      | 12,16     | 6,42    |

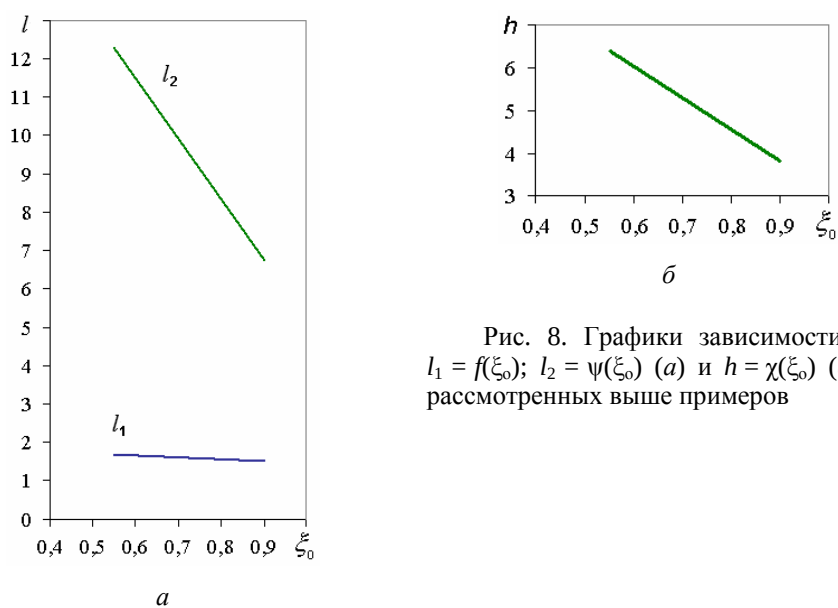


Рис. 8. Графики зависимости вида  $l_1 = f(\xi_0)$ ;  $l_2 = \psi(\xi_0)$  (а) и  $h = \chi(\xi_0)$  (б) для рассмотренных выше примеров

Анализ графических зависимостей, приведенных на рис. 8, показывает, что для условий рассмотренного примера при увеличении численного значения коэффициента бокового давления грунта от 0,55 до 0,9 величина  $l_1$  практически не меняется, величина  $l_2$  уменьшается на 85 %, т. е. почти вдвое, а величина  $h$  уменьшается на 65,5 %.



Проведены расчеты и по определению величины интенсивности равномерно распределенной нагрузки, воспринимаемой фундаментом, при которой происходит смыкание ОПД, образующихся под его краями, с ОПД, развивающимися вокруг ствола подземной выработки. Переменной величиной при проведении расчетов выбрано расстояние между потолочной выработки и подошвой фундамента  $H$ .

По результатам вычислений, которые приведены в табл. 2, построены графические зависимости вида  $\ln q = f(\xi_0)$ , изображенные на рис. 9.

Таблица 2

Численные значения интенсивности равномерно распределенной нагрузки, соответствующей моменту смыкания ОПД в активной зоне системы «заглубленный фундамент — подземная выработка» в случае соосности объектов для условий рассматриваемого примера

| $\xi_0$ | $H = d$ |         | $H = 1,5d$ |         | $H = 2d$ |         |
|---------|---------|---------|------------|---------|----------|---------|
|         | $q$     | $\ln q$ | $q$        | $\ln q$ | $q$      | $\ln q$ |
| 0,30    | 2,43    | 0,89    | 3,14       | 1,14    | 3,92     | 1,37    |
| 0,45    | 2,67    | 0,98    | 3,69       | 1,31    | 4,53     | 1,52    |
| 0,55    | 2,89    | 1,06    | 3,82       | 1,34    | 4,92     | 1,60    |
| 0,60    | 3,06    | 1,12    | 4,06       | 1,40    | 5,29     | 1,67    |
| 0,75    | 3,45    | 1,24    | 4,56       | 1,52    | 6,13     | 1,82    |
| 0,90    | 4,17    | 1,43    | 5,48       | 1,70    | 7,14     | 1,97    |

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что в зависимости от расстояния  $H$  величина интенсивности внешней равномерно распределенной нагрузки, соответствующей моменту смыкания ОПД, увеличивается по мере увеличения значения  $\xi_0$  от 0,55 до 0,90 на 44,3...45,7 %.

Аналогичные вычисления выполнены и для системы «незаглубленный фундамент — подземная выработка». Отличие состоит лишь в том, что величина интенсивности внешнего воздействия, при которой проведены расчеты, принята равной  $q = 5,98\gamma H$ , так как именно при таком ее значении происходит смыкание ОПД, образующихся под краями фундамента и вокруг ствола выработки.

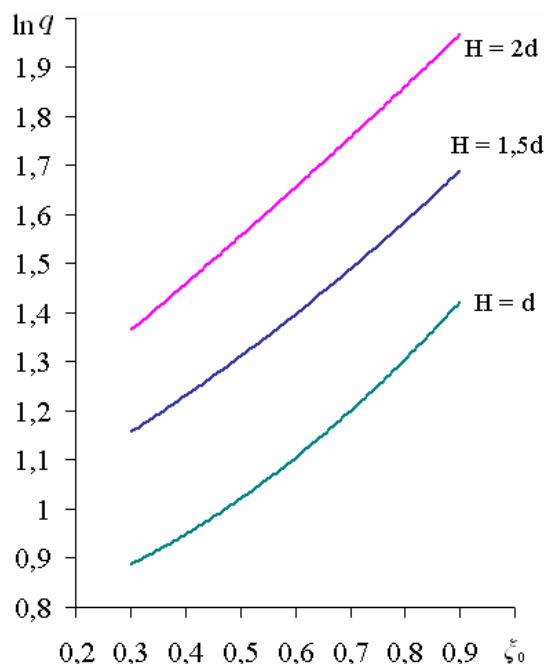


Рис. 9. Графические зависимости вида  $\ln q = f(\xi_0)$ , построенные для условий рассматриваемого примера

На рис. 10—12 в качестве примеров приведена часть картин ОПД, возникающих в системе «заглубленный фундамент — подземная выработка» при оговоренных выше условиях.

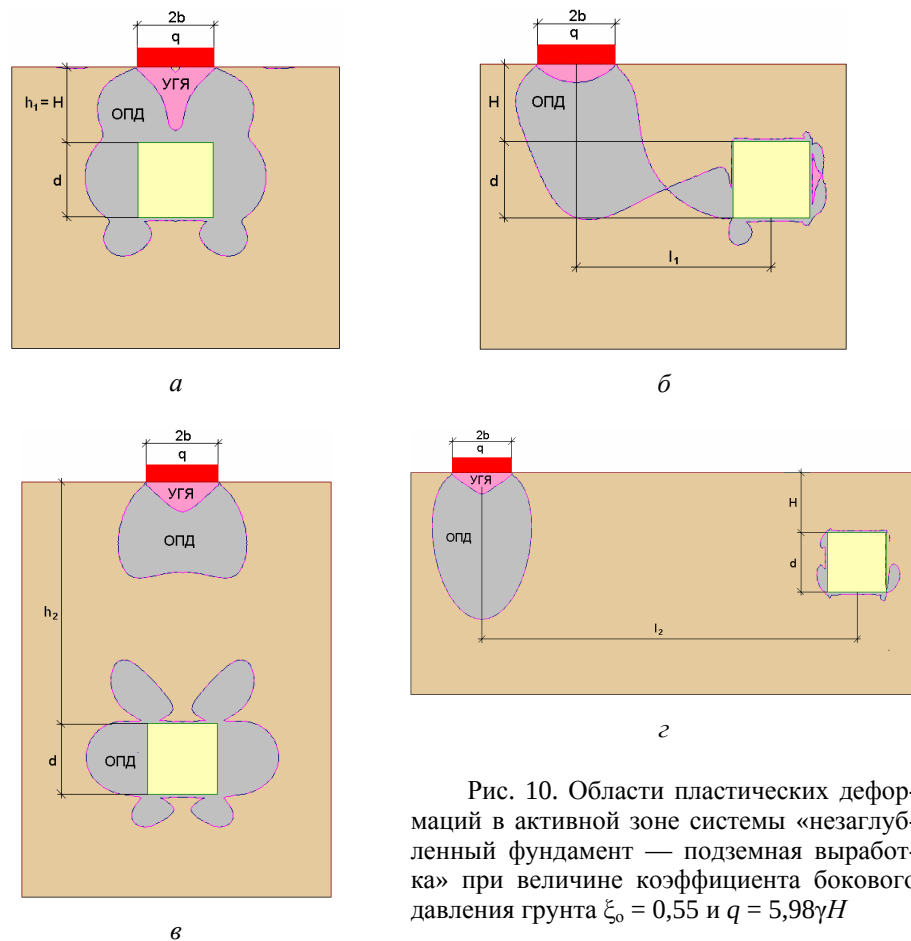


Рис. 10. Области пластических деформаций в активной зоне системы «незаглубленный фундамент — подземная выработка» при величине коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0 = 0,55$  и  $q = 5,98\gamma H$

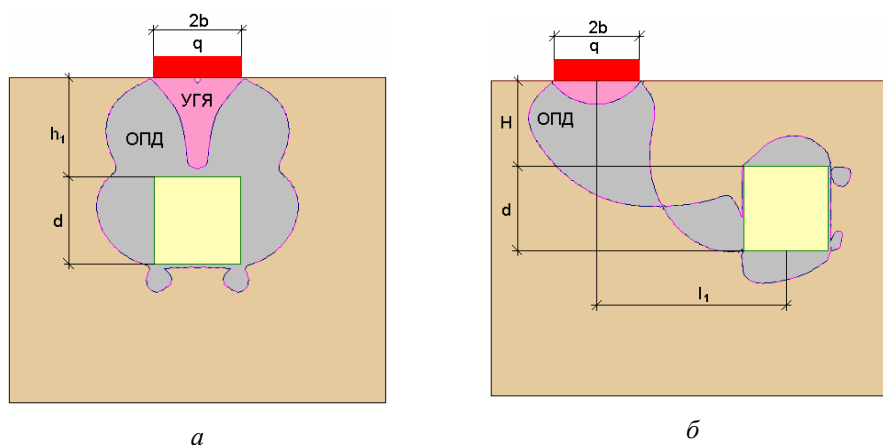
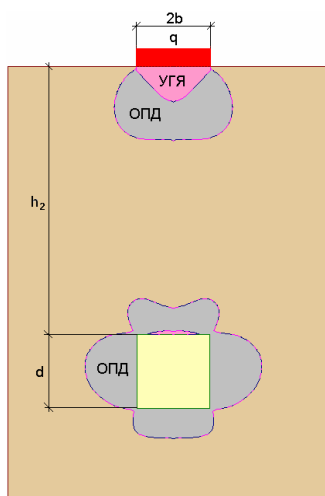
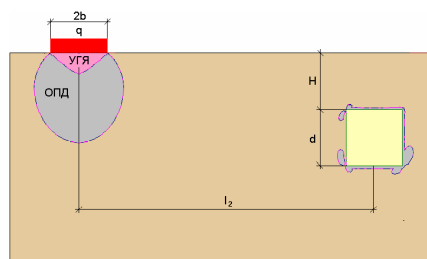


Рис. 11 (начало). Области пластических деформаций в активной зоне системы «незаглубленный фундамент — подземная выработка» при величине коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0 = 0,75$  и  $q = 5,98\gamma H$

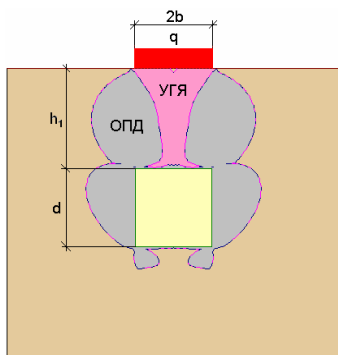


6

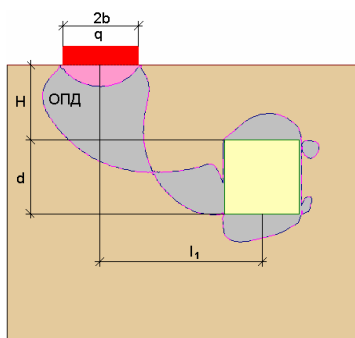


2

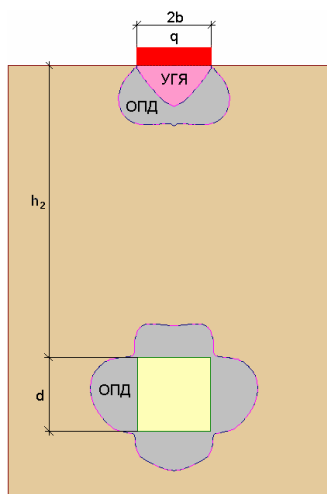
Рис. 11 (окончание). Области пластических деформаций в активной зоне системы «незаглубленный фундамент — подземная выработка» при величине коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0 = 0,75$  и  $q = 5,98\gamma H$



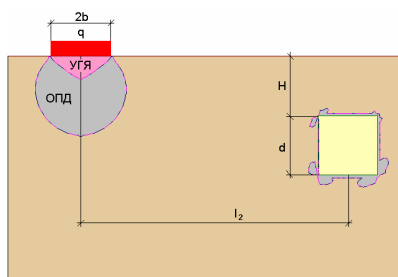
a



б



6



2

Рис. 12. Области пластических деформаций в активной зоне системы «незаглубленный фундамент — подземная выработка» при величине коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0 = 0,90$  и  $q = 5,98\gamma H$

Численные значения безопасных глубин и расстояний, полученные в результате проведения расчетов, приведены в табл. 3. Используя их, можно построить графические зависимости вида  $h_1 = f_1(\xi_0)$ ;  $h_2 = f_2(\xi_0)$ ;  $l_1 = f_3(\xi_0)$  и  $l_2 = f_4(\xi_0)$ , которые приведены на рис. 13.

Таблица 3

Значения безопасных глубин и расстояний для рассмотренного примера

| $\xi_0$ | $h_1$ , м | $h_2$ , м | $l_1$ , м | $l_2$ , м |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,90    | 2,56      | 7,63      | 4,27      | 8,88      |
| 0,75    | 2,31      | 7,18      | 4,65      | 9,69      |
| 0,55    | 2,0       | 6,34      | 5,0       | 11,76     |

Анализ графических зависимостей, приведенных на рис. 13, показывает, что для условий рассмотренного примера увеличение численного значения коэффициента бокового давления грунта от 0,55 до 0,9 влечет за собой увеличение  $h_1$  примерно на 28 %, величины  $h_2$  — почти на 20 %, в то время как численные значения величины  $l_1$  и  $l_2$ , напротив, уменьшаются на 18 и 32 % соответственно.

Посмотрим теперь, как изменяется величина интенсивности внешней равномерно распределенной нагрузки, при которой происходит смыкание ОПД, образующихся под краями фундамента и вокруг ствола подземной выработки, как это изображено на рис. 1, б.

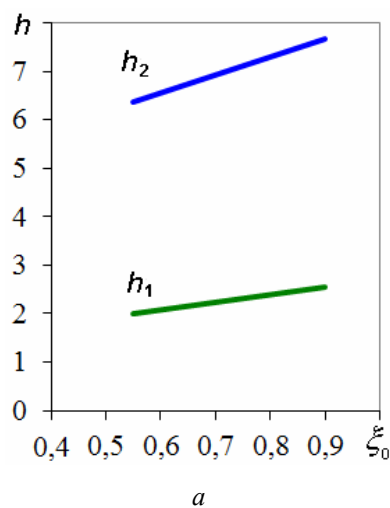
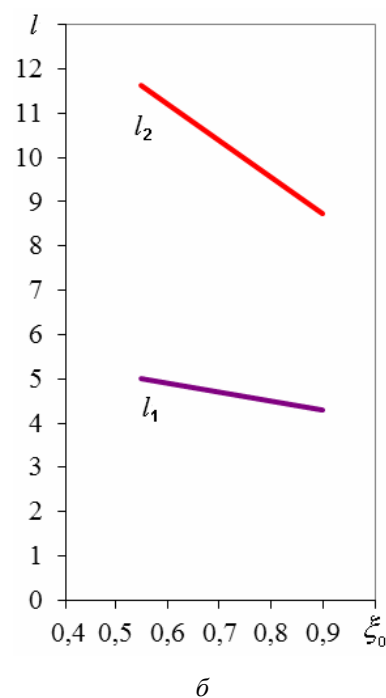


Рис. 13. Графические зависимости  $h_1 = f_1(\xi_0)$ ;  $h_2 = f_2(\xi_0)$  (а) и  $l_1 = f_3(\xi_0)$  и  $l_2 = f_4(\xi_0)$  (б) для условий рассмотренного примера



Для того чтобы иметь возможность сопоставить результаты вычислений, расчеты по отысканию величины нагрузки выполнены для грунтовых массивов, имеющих следующие реальные физико-механические свойства [5—6]:

- 1) глина со значениями угла внутреннего трения и сцепления  $\varphi = 18^\circ$ ,  $C = 57$  кПа;
- 2) глина  $\varphi = 14^\circ$ ,  $C = 41$  кПа;
- 3) суглинок  $\varphi = 22^\circ$ ,  $C = 28$  кПа;
- 4) супесь  $\varphi = 26^\circ$ ,  $C = 15$  кПа.

При этом величины приведенного давления связности принимали значения  $\sigma_{св} = 2,81; 2,63; 1,13; 0,49$  при условии, что объемный вес грунта постоянен и равен  $\gamma = 2$  т/м<sup>3</sup>, а величина коэффициента бокового давления грунта поочередно принимала значения  $\xi_0 = 0,3; 0,45; 0,60; 0,75; 0,9$ .

Размеры ширины фундамента и стороны квадратной выработки приняты одинаковыми,  $2b = d = 3$  м, а расстояние между подошвой фундамента и потолочной выработки принимало три значения:  $H = 1,0; 1,5; 2,0d$ .

Результаты вычислений приведены в табл. 4—7.

Таблица 4

Предельные нагрузки на фундамент для грунтового массива, сложенного глинистым грунтом  $\varphi = 14^\circ$ ,  $C = 41$  кПа,  $\sigma_{св} = 2,63$

| $\xi_0$ | $H = d$ |          | $H = 1,5d$ |          | $H = 2d$ |          |
|---------|---------|----------|------------|----------|----------|----------|
|         | $q$     | $\ln q$  | $Q$        | $\ln q$  | $q$      | $\ln q$  |
| 0,30    | 4,14    | 1,420696 | 4,86       | 1,581038 | 5,33     | 1,673351 |
| 0,45    | 4,07    | 1,403643 | 4,74       | 1,556037 | 5,25     | 1,658228 |
| 0,60    | 3,9     | 1,360977 | 4,53       | 1,510722 | 5,04     | 1,617406 |
| 0,75    | 3,65    | 1,294727 | 4,21       | 1,437463 | 4,68     | 1,543298 |
| 0,90    | 3,25    | 1,178655 | 3,68       | 1,302913 | 4,05     | 1,398717 |

Таблица 5

Предельные нагрузки на фундамент для грунтового массива, сложенного глинистым грунтом  $\varphi = 18^\circ$ ,  $C = 57$  кПа,  $\sigma_{св} = 2,81$

| $\xi_0$ | $H = d$ |          | $H = 1,5d$ |          | $H = 2d$ |          |
|---------|---------|----------|------------|----------|----------|----------|
|         | $q$     | $\ln q$  | $Q$        | $\ln q$  | $q$      | $\ln q$  |
| 0,30    | 5,07    | 1,623341 | 5,86       | 1,76815  | 6,49     | 1,870263 |
| 0,45    | 5,79    | 1,756132 | 6,55       | 1,879465 | 7,21     | 1,975469 |
| 0,60    | 6,24    | 1,83098  | 7,13       | 1,964311 | 7,86     | 2,061787 |
| 0,75    | 6,53    | 1,876407 | 7,5        | 2,014903 | 8,24     | 2,109    |
| 0,90    | 6,66    | 1,896119 | 7,7        | 2,04122  | 8,41     | 2,129421 |

Таблица 6

Предельные нагрузки на фундамент для грунтового массива, сложенного глинистым грунтом  $\varphi = 22^\circ$ ,  $C = 28$  кПа,  $\sigma_{св} = 1,13$

| $\xi_0$ | $H = d$ |          | $H = 1,5d$ |          | $H = 2d$ |          |
|---------|---------|----------|------------|----------|----------|----------|
|         | $q$     | $\ln q$  | $Q$        | $\ln q$  | $q$      | $\ln q$  |
| 0,30    | 2,54    | 0,932164 | 3,23       | 1,172482 | 3,74     | 1,319086 |
| 0,45    | 2,91    | 1,068153 | 3,52       | 1,258461 | 3,96     | 1,376244 |
| 0,60    | 3,15    | 1,147402 | 3,67       | 1,300192 | 4,16     | 1,425515 |
| 0,75    | 3,29    | 1,190888 | 3,81       | 1,337629 | 4,31     | 1,460938 |
| 0,90    | 3,38    | 1,217876 | 3,92       | 1,366092 | 4,42     | 1,48614  |

Таблица 7

Предельные нагрузки на фундамент для грунтового массива, сложенного супесью  
 $\varphi = 26^\circ$ ,  $C = 15$  кПа,  $\sigma_{св} = 0,49$

| $\xi_0$ | $H = d$ |          | $H = 1,5d$ |          | $H = 2d$ |          |
|---------|---------|----------|------------|----------|----------|----------|
|         | $q$     | $\ln q$  | $Q$        | $\ln q$  | $q$      | $\ln q$  |
| 0,30    | 1,33    | 0,285179 | 1,87       | 0,625938 | 2,11     | 0,746688 |
| 0,45    | 1,49    | 0,398776 | 2,05       | 0,71784  | 2,36     | 0,858662 |
| 0,60    | 1,58    | 0,457425 | 2,13       | 0,756122 | 2,53     | 0,928219 |
| 0,75    | 1,66    | 0,506818 | 2,2        | 0,788457 | 2,61     | 0,95935  |
| 0,90    | 1,71    | 0,536493 | 2,26       | 0,815365 | 2,67     | 0,982078 |

В результате обработки данных, приведенных в табл. 4—7, построены графические зависимости вида  $\ln q = f(\xi_0)$ , приведенные на рис. 14.

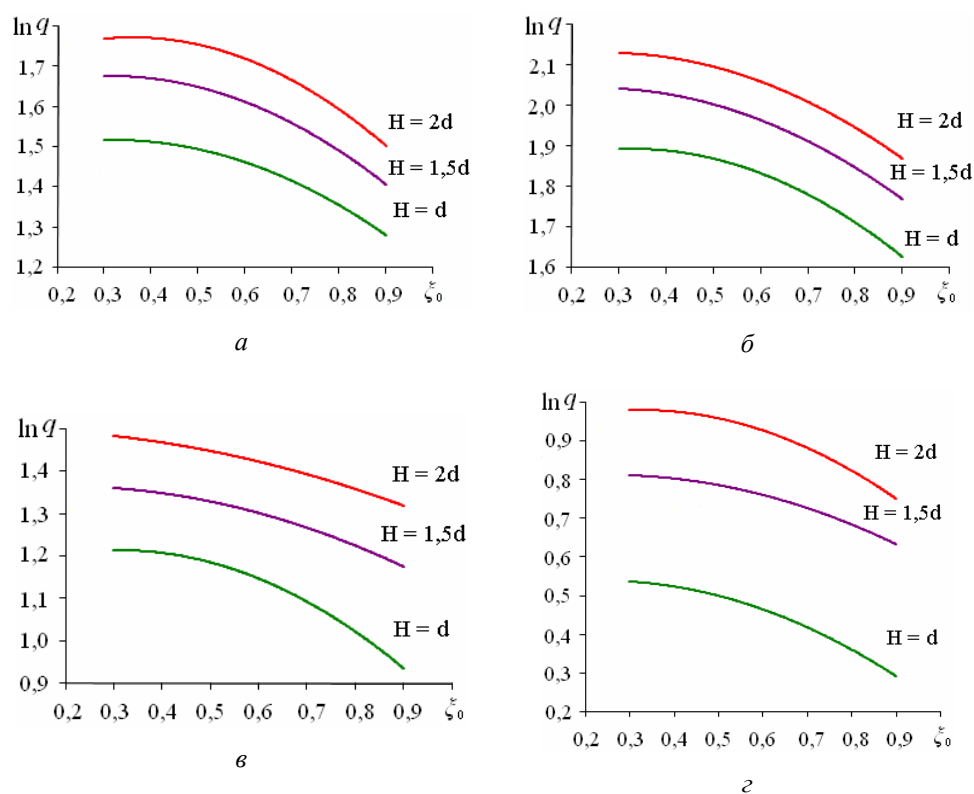


Рис. 14. Графические зависимости вида  $\ln q = f(\xi_0)$  для следующих видов грунтов, вмещающих систему «незаглубленный фундамент — подземная выработка»: глина —  $\varphi = 14^\circ$ ,  $C = 41$  кПа,  $\sigma_{св} = 2,63$  (а); глина —  $\varphi = 18^\circ$ ,  $C = 57$  кПа,  $\sigma_{св} = 2,81$  (б); суглинок —  $\varphi = 22^\circ$ ,  $C = 28$  кПа,  $\sigma_{св} = 1,13$ ; супесь —  $\varphi = 26^\circ$ ,  $C = 15$  кПа,  $\sigma_{св} = 0,49$  при  $d = 3$  м

Анализ численных значений интенсивностей равномерно распределенной нагрузки, приведенных в табл. 4—7, показывает, что при увеличении величины коэффициента бокового давления грунта  $\xi_0$  от 0,3 до 0,9 происходит

уменьшение значения этой нагрузки для первых грунтовых условий приблизительно на 27...30 %, для вторых — на 30 %, для третьих — на 18...33 % и для четвертых — на 20...28 %. Причем эти изменения весьма незначительно зависят от расстояния от подошвы фундамента до потолочины подземной выработки.

*Выводы:*

1. Анализ полей напряжений в грунтовом массиве, вмещающем систему «заглубленный фундамент — подземная выработка», показывает, что величина коэффициента бокового давления грунта оказывает существенное влияние лишь на распределение горизонтальных напряжений, отличия которых в соответствующих точках грунтового массива при увеличении численного значения  $\xi_0$  от 0,55 до 0,90 могут достигать 31,4...62,9 % для условий, рассмотренных в настоящей статье.

2. При увеличении численного значения коэффициента бокового давления грунта от 0,55 до 0,9 величина «безопасного расстояния» для системы «заглубленный фундамент — подземная выработка» уменьшается на 85 %, а величина «безопасной глубины»  $h$  — на 65,5 %. Если рассматривается система «незаглубленный фундамент — подземная выработка», то для того же интервала изменения величины  $\xi_0$  численное значение  $h_1$  увеличивается примерно на 28 %, а величина  $h_2$  — почти на 20 %, в то время как численные значения величины  $l_1$  и  $l_2$ , напротив, уменьшаются на 18 и 32 % соответственно.

3. Если рассматривается система «заглубленный фундамент — подземная выработка», то в зависимости от расстояния  $H$  величина интенсивности внешней равномерно распределенной нагрузки, соответствующей моменту смыкания ОПД, увеличивается по мере увеличения значения  $\xi_0$  от 0,55 до 0,90 на 18,8...23,1 %. Если рассматривается система «незаглубленный фундамент — подземная выработка», то при этом, напротив, происходит уменьшение значения этой нагрузки для грунтовых условий, рассмотренных в статье, приблизительно на 27...30 %, для вторых — на 30 %, для третьих — на 18...33 % и для четвертых — на 20...28 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние) : свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2009613499 / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов. № 2009612297 ; заявл. 19.05.2009 ; зарег. в реестре программ для ЭВМ 30.06.2009. 1 с.
2. Шиян В. И., Богомолов А. Н., Вихарева О. А. К вопросу о минимальных значениях коэффициента бокового давления грунтов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2007. Вып. 6(23). С. 110—114.
3. Коэффициент бокового давления грунта как одна из величин, определяющих несущую способность однородного основания ленточного фундамента / А. Н. Богомолов, С. А. Калиновский, О. А. Богомолова, А. В. Прокопенко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 31(50). Ч. 2. С. 251—257.
4. Влияние коэффициента бокового давления грунта на степень устойчивости однородного откоса / О. А. Богомолова, Б. С. Бабаханов, С. Ю. Калашников, С. А. Калиновский, А. В. Прокопенко, А. А. Иванов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 39—49.
5. СП 50-101—2004. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М. : ФГУП ЦПП, 2005. 175 с.
6. Строительные нормы и правила. Основания зданий и сооружений : СНиП 2.03.01—83\*. М. : Стройиздат, 1985. 40 с.

1. Ustoychivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) : svid. o gos. reg. programmy dlya EVM № 2009613499 / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, M. Yu. Nestratov, N. N. Potapova, M. M. Stepanov. № 2009612297 ; zayavl. 19.05.2009 ; zareg. v reestre programm dlya EVM 30.06.2009. 1 s.

2. Shiyan V. I., Bogomolov A. N., Vikhareva O. A. K voprosu o minimal'nykh znacheniyakh koeffitsienta bokovogo davleniya gruntov // Vestnik Volgogr. gos. arkhит.-stroit. un-ta. Ser.: Estestv. nauki. 2007. Vyp. 6(23). S. 110—114.

3. Koeffitsient bokovogo davleniya grunta kak odna iz velichin, opredelyayushchikh nesushchuyu sposobnost' odnorodnogo osnovaniya lentchnogo fundamenta / A. N. Bogomolov, S. A. Kalinovskiy, O. A. Bogomolova, A. V. Prokopenko // Vestnik Volgogr. gos. arkhит.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkhит. 2013. Vyp. 31(50). Ch. 2. S. 251—257.

4. Vliyanie koeffitsienta bokovogo davleniya grunta na stepen' ustoychivosti odnorodnogo otkosa / O. A. Bogomolova, B. S. Babakhanov, S. Yu. Kalashnikov, S. A. Kalinovskiy, A. V. Prokopenko, A. A. Ivanov // Vestnik Volgogr. gos. arkhит.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkhит. 2013. Vyp. 30(49). S. 39—49.

5. SP 50-101—2004. Svod pravil po proektirovaniyu i stroitel'stvu. Proektirovanie i ustroystvo osnovaniy i fundamentov zdaniy i sooruzheniy. M. : FGUP TsPP, 2005. 175 s.

6. Stroitel'nye normy i pravila. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy : SNIП 2.03.01—83\*. M. : Stroyizdat, 1985. 40 s.

© Богомолов А. Н., Калиновский С. А., Ермаков О. В.,  
Соловьев А. В., Нестеров Р. С., 2013

*Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Оценка влияния коэффициента бокового давления грунта на устойчивость системы «основание фундамента — подземная выработка» / А. Н. Богомолов, С. А. Калиновский, О. В. Ермаков, А. В. Соловьев, Р. С. Нестеров // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 16—32.



УДК 624.131

**В. Г. Офрихтер, Н. Н. Лихачева**

## **УПРУГАЯ МОДЕЛЬ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Предложена упругая модель твердых бытовых отходов. Твердые бытовые отходы рассматриваются как армогрунтоподобный материал с особыми свойствами.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** твердые бытовые отходы, армогрунтоподобный материал, упругая модель.

The elastic model of solid household wastes is offered. Solid household wastes are considered as reinforced ground like material with special characteristics.

**K e y w o r d s:** solid household wastes, reinforced ground like material, elastic model.

**1. Введение.** Твердые бытовые отходы (ТБО) могут рассматриваться как композитный материал, состоящий из двух компонентов: основная материнская порода из мелко- и среднезернистых частиц, в большинстве своем грунтоподобных, характеризующихся фрикционным поведением, и армирующая матрица, включающая в себя фиброподобные компоненты отходов, равномерно распределенная по всему объему. ТБО представляют собой грунтоподобную матрицу, произвольно армированную фиброподобными компонентами отходов, и могут быть смоделированы подобно грунту, армированному произвольно ориентированными фибрами [1, 2]. Упругая модель поведения твердых бытовых отходов важна как часть упруго-пластических моделей этого композита.

На ранних стадиях развития механики армированного грунта для изучения поведения этого материала применялись упругие модели армированного грунта. Существовало два подхода к решению этой проблемы. В первом случае армогрунт рассматривался как макроскопически гомогенный композит, характеризующийся эквивалентным модулем упругости. При втором подходе, обычно применяемом вместе с методом конечных элементов, армогрунт рассматривался как гетерогенный материал, в котором грунт и армирование были представлены отдельно. Например, в [3] представили упругую теорию поведения армогрунта, предполагающую его особым случаем перекрестно-анизотропного упругого тела. Авторы предположили полное фрикционное соединение грунта и арматуры. Подобный подход был представлен и авторами [4], которые разработали композитную модель армогрунта и описали включение этой модели в стандартный конечно-элементный анализ. В [5] описано использование вышеприведенной концепции при изучении прототипа армогрунта. Упругие модели армогрунта интенсивно не разрабатывались, хотя и были опубликованы некоторые статьи [6—9]. Эти модели не описывали должным образом поведение армогрунта, поскольку они не принимали в расчет специфические механические свойства гранулированной матрицы, особенно ее пластичность. Они позволяли только грубую оценку напряжений в рабочем состоянии перед началом разрушения. С другой сторо-

ны, упругая модель поведения армированного грунта важна как часть упруго-пластических моделей этого композита, и поэтому должна быть изучена подробно.

**2. Общие зависимости упругого поведения простых армогрунтоподобных композитных материалов.** Обобщение механического поведения простых композитов Фойгта и Рейса предложено в [10]. Предполагается, что грунтовая порода и армирующая матрица линейно упруги.

Базовые уравнения, описывающие механическую реакцию идеального изотропного упругого тела в форме закона Гука, с использованием традиционных обозначений можно записать [11]

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]; \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)]; \quad (2)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]; \quad (3)$$

$$\gamma_{xy} = \varepsilon_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy}; \quad (4)$$

$$\gamma_{yz} = \varepsilon_{yz} = \frac{1}{G} \tau_{yz}; \quad (5)$$

$$\gamma_{xz} = \varepsilon_{xz} = \frac{1}{G} \tau_{xz}, \quad (6)$$

где  $x, y, z$  — пространственные координаты;  $G = E/[2(1+\nu)]$  — модуль сдвига.

Закон Гука для каждой составляющей может быть записан в матричной системе обозначений:

$$\sigma^a = L^a \varepsilon^a, \quad (7)$$

где  $L^a$  обозначает квадратную матрицу 6-го порядка модулей упругости  $a$ -го компонента ( $a = r, s$ ), а микронапряжения и микродеформации представлены в векторной форме:

$$\sigma = \{\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{23}\}^T; \\ \varepsilon = \{\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{33}, \varepsilon_{12}, \varepsilon_{13}, \varepsilon_{23}\}^T. \quad (8)$$

Выражение (7) также может быть представлено в ином виде:

$$\varepsilon^a = (L^a)^{-1} \sigma^a = M^a \sigma^a, \quad (9)$$

где  $M^a$  обозначает квадратную матрицу 6-го порядка упругих характеристик. Эти матрицы имеют следующую форму [10]:

$$\mathbf{L}^a = \begin{bmatrix} \lambda_a + 2G_a & \lambda_a & \lambda_a & & & \\ \lambda_a & \lambda_a + 2G_a & \lambda_a & & & \\ \lambda_a & \lambda_a & \lambda_a + 2G_a & & & \\ & & & 2G_a & & \\ & & & & 2G_a & \\ & & & & & 2G_a \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{M}^a = \frac{1}{E_a} \begin{bmatrix} 1 & -\nu_a & -\nu_a & & & \\ -\nu_a & 1 & -\nu_a & & & \\ -\nu_a & -\nu_a & 1 & & & \\ & & & 1 + \nu_a & & \\ & & & & 1 + \nu_a & \\ & & & & & 1 + \nu_a \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где  $\lambda_a = \frac{E_a \nu_a}{(1 + \nu_a)(1 - 2\nu_a)}$ .

Фундаментальным постулатом представленной теории является то, что микродеформации (микронапряжения) единственно зависят от макродеформаций (макронапряжений).

$$\boldsymbol{\varepsilon}^a = \mathbf{A}^a \boldsymbol{\varepsilon}; \quad (12)$$

$$\boldsymbol{\sigma}^a = \mathbf{B}^a \boldsymbol{\sigma}, \quad (13)$$

где  $\mathbf{A}^a$  квадратная матрица 6-го порядка структуры деформаций;  $\mathbf{B}^a$  — квадратная матрица 6-го порядка структуры напряжений.

Поскольку  $\boldsymbol{\sigma}$  и  $\boldsymbol{\varepsilon}$  рассматриваются как тензоры макроскопических напряжений и деформаций, структурные матрицы констант дают средние напряжения и деформации  $a$ -го компонента.

Структурные матрицы  $\mathbf{A}^a$  и  $\mathbf{B}^a$  определяются с помощью некоторых уравнений, определяющих внутреннюю структуру композита. Эти дополнительные условия разделены на две группы. Первая описывает ограничения, налагаемые деформацией компонентов, которые могут быть символически записаны как

$$c_\beta(\varepsilon^1, \varepsilon^2) = 0, \quad (14)$$

где  $c_\beta$  — некоторая функция микродеформаций.

Например, формула  $\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2$  описывает структуру деформаций одноосного композита Фойгта.

Вторая группа дополнительных условий следует из совместимости микронапряжений.

$$q_\beta(\sigma^1, \sigma^2) = 0, \quad (15)$$

где  $q_\beta$  — некоторая функция микронапряжений.

Например, для одноосного композита Рейса  $\sigma^1 - \sigma^2 = 0$ .

Для характерного элементарного объема композита  $V$ , в котором  $\alpha$ -я составляющая занимает объем  $V_\alpha$ ,

$$\sigma = n_1 \sigma^1 + n_2 \sigma^2; \quad (16)$$

$$\varepsilon = n_1 \varepsilon^1 + n_2 \varepsilon^2, \quad (17)$$

где  $n_\alpha = A^\alpha / A$  — количественная составляющая  $\alpha$ -й составляющей части композитного материала, определяемая как отношение площади поперечного сечения  $\alpha$ -й составляющей к общей площади поперечного сечения композитного элемента.

Базовое макроскопическое уравнение, описывающее упругое поведение композита, можно легко получить из выражений (7), (12), (16).

$$\sigma = (n_1 L^1 A^1 + n_2 L^2 A^2) \varepsilon = L \varepsilon, \quad (18)$$

где  $L$  — матрица макроскопических (эффективных) модулей упругости.

Необходимо отметить, что следующие зависимости могут быть получены из выражений (12), (13), (16), (17):

$$n_1 A^1 + n_2 A^2 = \mathbf{1}; \quad (19)$$

$$n_1 B^1 + n_2 B^2 = \mathbf{1}, \quad (20)$$

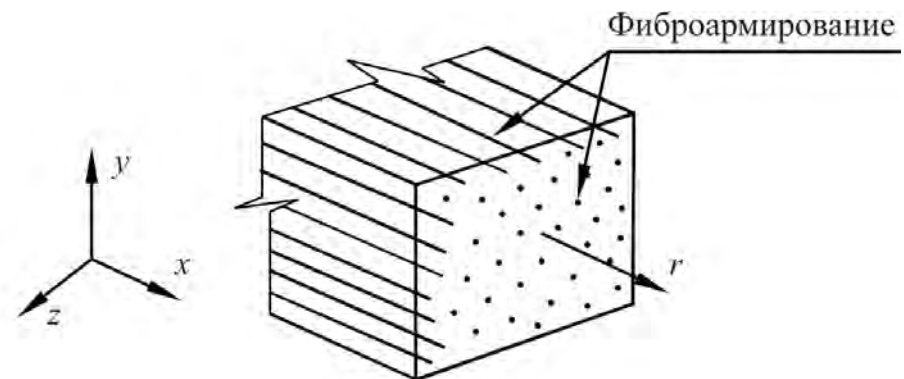
где  $\mathbf{1}$  — единичная матрица.

Можно легко показать, что матрица макроскопических упругих характеристик  $M = L^{-1}$  представлена следующим выражением:

$$M = n_1 M^1 B^1 + n_2 M^2 B^2. \quad (21)$$

Выражения (18)–(21) указывают на то, что проблема определения эффективных модулей упругости композита может быть приведена к определению структурных матриц [10].

**3. Трехмерная упругая модель твердых бытовых отходов.** Рассмотрим грунтоподобную породу ТБО, одноосно армированную фибрами в направлении  $x$  ( $x_3$ ) (рис.), когда вектор  $r$  совпадает с  $x$  ( $x_3$ ).



Порода, армированная в одном направлении

Выражения (14), (15) в этом случае приобретают вид:

$$\varepsilon_{33}^1 = \varepsilon_{33}^2 = \varepsilon_{33}; \quad (22)$$

$$\varepsilon_{13}^1 = \varepsilon_{13}^2 = \varepsilon_{13}; \quad (23)$$

$$\varepsilon_{23}^1 = \varepsilon_{23}^2 = \varepsilon_{23}; \quad (24)$$

$$\sigma_{11}^1 = \sigma_{11}^2 = \sigma_{11}; \quad (25)$$

$$\sigma_{22}^1 = \sigma_{22}^2 = \sigma_{22}; \quad (26)$$

$$\sigma_{12}^1 = \sigma_{12}^2 = \sigma_{12}. \quad (27)$$

Представим себе классический пример элементарного прямоугольного параллелепипеда, вырезанного из фиброармированной породы твердых бытовых отходов при направлении армирования вдоль оси  $x$  (см. рис.). Ребра параллелепипеда параллельны координатным осям. Параллелепипед подвержен действию нормального сжимающего напряжения  $\sigma_y$ , равномерно распределенного по двум противоположным граням. Вплоть до достижения предела пропорциональности относительная деформация вдоль оси  $y$  составит

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y^s}{E_s}. \quad (28)$$

Сжатие фиброармированной породы в направлении оси  $y$  сопровождается растяжением вдоль осей  $x$  и  $z$ , причем при растяжении вдоль оси  $x$  в армирующей матрице мобилизуются растягивающие напряжения  $-\sigma_x^r$ , при этом в основной грунтоподобной породе мобилизуются дополнительные сжимающие напряжения  $\sigma_x^s$ . Применяются традиционные обозначения механики грунтов, где знак «плюс» означает сжатие, «минус» — растяжение. Таким образом, относительная деформация вдоль оси  $x$  составит

$$\varepsilon_x = -\nu_s \frac{\sigma_y^s}{E} + \frac{\sigma_x^r}{E}. \quad (29)$$

Относительная деформация вдоль оси  $z$  составит

$$\varepsilon_z = -\nu_s \frac{\sigma_y^s}{E_s}. \quad (30)$$

Если рассматриваемый элемент подвергается одновременному действию сжимающих нормальных напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ , равномерно распределенных по его граням, то результирующие компоненты относительных деформаций можно получить на основе подобных рассуждений, используя принцип суперпозиции и имея в виду, что дополнительные сжимающие напряжения от армирующего компонента в элементе мобилизуются только в случае возникновения растягивающих напряжений в направлении оси  $x$ .

Относительные деформации выражаются зависимостями

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{\sigma_x^s}{E_s} - \frac{\nu(\sigma_y^s + \sigma_z^s)}{E} + \frac{2\sigma_x^r}{E} = \frac{1}{E_s} [\sigma_x^s - \nu B_x^s (\sigma_y^s + \sigma_z^s) + 2B_x^s \sigma_x^r] = \\ &= \frac{1}{E_s} [\sigma_x^s - B_x^s (\nu + 2C) \sigma_y^s - \nu B_x^s \sigma_z^s];\end{aligned}\quad (31)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y^s - \nu(\sigma_x^s + \sigma_z^s)}{E_s} = \frac{1}{E_s} (-\nu \sigma_x^s + \sigma_y^s - \nu \sigma_z^s); \quad (32)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z^s - \nu(\sigma_x^s + \sigma_y^s)}{E_s} = \frac{1}{E_s} (-\nu \sigma_x^s - \nu \sigma_y^s + \sigma_z^s). \quad (33)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy}; \quad (34)$$

$$\gamma_{yz} = \frac{1}{G_s} \tau_{yz}; \quad (35)$$

$$\gamma_{zx} = \frac{1}{G} \tau_{zx}, \quad (36)$$

$$\text{где } B_x^s = \frac{E_s}{n_s E_s + n_r E_r}; \quad C = \frac{n_s E_r \nu_s}{n_r E_s}; \quad (37)$$

$$G_s = \frac{E_s}{2(1 + \nu_s)} \text{ — модуль сдвига основной грунтоподобной породы};$$

$$G = \frac{(n_s E_s + n_r E_r) n_s E_s}{2[n_s E_s (1 + \nu) + n_r E_r (1 - \nu)]} \text{ — макроскопический модуль сдвига}$$

ТБО.

Матрица макроскопических упругих характеристик фиброармированной породы ТБО имеет вид

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 & & & \\ b_4 & b_1 & b_4 & & & \\ b_4 & b_4 & b_1 & & & \\ & & & b_5 & & \\ & & & & b_6 & \\ & & & & & b_5 \end{bmatrix}, \quad (38)$$

где

$$b_1 = \frac{1}{E_s}; \quad b_2 = -\frac{B_x^s (\nu - 2C)}{E_s}; \quad b_3 = -\frac{\nu B_x^s}{E_s}; \quad b_4 = -\frac{\nu}{E_s}; \quad b_5 = \frac{1}{G}; \quad b_6 = \frac{1}{G_s}.$$

Базовое макроскопическое уравнение, описывающее упругое поведение фиброармированной грунтоподобной породы ТБО, имеет вид

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{M} \boldsymbol{\sigma}. \quad (39)$$

Составляющие относительных удлинений в направлении координатных осей  $x, y, z$  приведены в табл.

*Составляющие относительных удлинений в направлении координатных осей при действии на элемент сжимающих нормальных напряжений  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$*

| Составляющие относительных удлинений | Нормальные сжимающие напряжения |                                         |                                         | Относительные удлинения                                                                   |
|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      | $\sigma_x$                      | $\sigma_y$                              | $\sigma_z$                              |                                                                                           |
| $\varepsilon_x$                      | $\frac{\sigma_x^s}{E_s}$        | $\frac{-\nu\sigma_y^s + \sigma_x^r}{E}$ | $\frac{-\nu\sigma_z^s + \sigma_x^r}{E}$ | $\frac{\sigma_x^s}{E_s} - \frac{\nu(\sigma_y^s + \sigma_z^s)}{E} + \frac{2\sigma_x^r}{E}$ |
| $\varepsilon_y$                      | $-\frac{\nu\sigma_x^s}{E_s}$    | $\frac{\sigma_y^s}{E_s}$                | $-\frac{\nu\sigma_z^s}{E_s}$            | $\frac{\sigma_y^s}{E_s} - \nu(\sigma_x^s + \sigma_z^s)$                                   |
| $\varepsilon_z$                      | $-\frac{\nu\sigma_x^s}{E_s}$    | $-\frac{\nu\sigma_y^s}{E_s}$            | $\frac{\sigma_z^s}{E_s}$                | $\frac{\sigma_z^s}{E_s} - \nu(\sigma_x^s + \sigma_y^s)$                                   |

Для составления матрицы макроскопических (эффективных) модулей упругости фиброармированной породы ТБО необходимо выразить компоненты напряжений в функции компонент деформаций. Решая уравнения (31)–(36) относительно  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ , находим

$$\sigma_x^s = \frac{E_s}{(1+\nu)[1-\nu-2B_x^s\nu(C+\nu)]} \left[ (1-\nu^2)\varepsilon_x + B_x^s(\nu^2 + \nu + 2C)\varepsilon_y + \nu B_x^s(\nu + 2C + 1)\varepsilon_z \right]; \quad (40)$$

$$\sigma_y^s = \frac{E_s}{(1+\nu)[1-\nu-2B_x^s\nu(C+\nu)]} \left[ \nu(1+\nu)\varepsilon_x + (1-\nu^2 B_x^s)\varepsilon_y + \nu(1+\nu B_x^s)\varepsilon_z \right]; \quad (41)$$

$$\sigma_z^s = \frac{E_s}{(1+\nu)[1-\nu-2B_x^s\nu(C+\nu)]} \left[ \nu(1+\nu)\varepsilon_x + \nu(B_x^s\nu + 2B_x^sC + 1)\varepsilon_y + (1-B_x^s\nu^2 - 2B_x^s\nu C)\varepsilon_z \right]; \quad (42)$$

$$\tau_{xy} = G \gamma_{xy}; \quad (43)$$

$$\tau_{yz} = G_s \gamma_{yz}; \quad (44)$$

$$\tau_{zx} = G \gamma_{zx}. \quad (45)$$

Базовое макроскопическое уравнение, описывающее упругое поведение фиброармированной грунтоподобной породы ТБО, можно записать как

$$\sigma = L \varepsilon. \quad (46)$$

Матрица макроскопических (эффективных) модулей упругости фиброармированной породы ТБО имеет вид

$$L = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & & & \\ a_4 & a_5 & a_6 & & & \\ a_7 & a_8 & & a_9 & & \\ & & & & a_{10} & \\ & & & & & a_9 \end{bmatrix}, \quad (47)$$

$$\text{где } A_x^s = \frac{E_s}{(1+\nu)[1-\nu-2B_x^s\nu(C+\nu)]};$$

$$a_1 = (1-\nu^2)A_x^s;$$

$$a_2 = B_x^s(\nu^2 + \nu + 2C)A_x^s;$$

$$a_3 = \nu B_x^s(\nu + 2C + 1)A_x^s;$$

$$a_4 = \nu(1+\nu)A_x^s;$$

$$a_5 = (1-\nu^2 B_x^s)A_x^s;$$

$$a_6 = \nu(1+\nu B_x^s)A_x^s;$$

$$a_7 = \nu(B_x^s\nu + 2B_x^sC + 1)A_x^s;$$

$$a_8 = (-\nu^2 B_x^s - 2\nu B_x^sC + 1)A_x^s;$$

$$a_9 = G; \quad a_{10} = G_s.$$

**Выводы.** Упругая модель поведения твердых бытовых отходов может быть использована при разработке моделей оснований рекультивируемых полигонов депонирования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Офрихтер В. Г., Лихачева Н. Н.* Условие текучести твердых бытовых отходов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29(48). С. 136—142.
2. *Kockel R., Jessberger H. L.* Stability Evaluation of Municipal Solid Waste Slopes // Proceedings of 11<sup>th</sup> European Conference for Soil Mechanics and Foundation Engineering. Copenhagen, Denmark : Danish Geotechnical Society, 1995. Vol. 2. P. 73—78.
3. *Harrison W. J., Gerrard C. M.* Elastic theory applied to reinforced earth // Journal Soil Mechanics Foundation Division. New York : ASCE, 1973. Iss. 98(SM12). P. 1325—1345.
4. *Romstad K. M., Herrmann L. R., Shen C. K.* Integrated study of reinforced earth — I: Theoretical formulation // Journal Geotechnical Engineering Division. New York : ASCE, 1976. Iss. 102(GT5). P. 457—471.
5. *Shen C. K., Romstad K. M., Herrmann L. R.* Integrated study of reinforced earth II: Behavior and design // Journal Geotechnical Engineering Division. New York : ASCE, 1976. Iss. 102(GT6). P. 577—590.
6. *Al-Hussaini M. M., Johnson L. D.* Numerical analysis of reinforced earth wall // Proceedings of ASCE Symposium on Earth Reinforcement. Pittsburgh : ASCE, 1978. P. 98—126.



7. Herrmann L. R., Yassin A. L. Numerical analysis of reinforced earth system // Proceedings of ASCE Symposium on Earth Reinforcement. Pittsburgh : ASCE, 1978. P. 428—457.
8. Naylor D. J. A study of reinforced earth walls allowing slip strip // Proceedings of ASCE Symposium on Earth Reinforcement. Pittsburgh : ASCE, 1978. P. 618—643.
9. Sawicki A. Continuum elastic theory of reinforced earth // *Archiwum Hydrotechniki*. Warsaw, 1978. Iss. 25(4). P. 477—489.
10. Sawicki A. Mechanics of reinforced Soil. Rotterdam : A. A. Balkema, 2000.
11. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. 2-е изд. М. : Наука, 1979.
  
1. Ofrikhter V. G., Likhacheva N. N. Uslovie tekuchesti tverdykh bytovykh otkhodov // *Vestnik Volgogr. gos. arkh.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkh.* 2012. Vyp. 29(48). S. 136—142.
2. Kockel R., Jessberger H. L. Stability Evaluation of Municipal Solid Waste Slopes // Proceedings of 11th European Conference for Soil Mechanics and Foundation Engineering. Copenhagen, Denmark : Danish Geotechnical Society, 1995. Vol. 2. P. 73—78.
3. Harrison W. J., Gerrard C. M. Elastic theory applied to reinforced earth // *Journal Soil Mechanics Foundation Division*. New York : ASCE, 1973. Iss. 98(SM12). P. 1325—1345.
4. Romstad K. M., Herrmann L. R., Shen C. K. Integrated study of reinforced earth — I: Theoretical formulation // *Journal Geotechnical Engineering Division*. New York : ASCE, 1976. Iss. 102(GT5). P. 457—471.
5. Shen C. K., Romstad K. M., Herrmann L. R. Integrated study of reinforced earth II: Behavior and design // *Journal Geotechnical Engineering Division*. New York : ASCE, 1976. Iss. 102(GT6). P. 577—590.
6. Al-Hussaini M. M., Johnson L. D. Numerical analysis of reinforced earth wall // Proceedings of ASCE Symposium on Earth Reinforcement. Pittsburgh : ASCE, 1978. P. 98—126.
7. Herrmann L. R., Yassin A. L. Numerical analysis of reinforced earth system // Proceedings of ASCE Symposium on Earth Reinforcement. Pittsburgh : ASCE, 1978. P. 428—457.
8. Naylor D. J. A study of reinforced earth walls allowing slip strip // Proceedings of ASCE Symposium on Earth Reinforcement. Pittsburgh : ASCE, 1978. P. 618—643.
9. Sawicki A. Continuum elastic theory of reinforced earth // *Archiwum Hydrotechniki*. Warsaw, 1978. Iss. 25(4). P. 477—489.
10. Sawicki A. Mechanics of reinforced Soil. Rotterdam : A. A. Balkema, 2000.
11. Timoshenko S. P., Gud'er Dzh. Teoriya uprugosti. 2-e izd. M. : Nauka, 1979.

© Офрихтер В. Г., Лихачева Н. Н., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Офрихтер В. Г., Лихачева Н. Н. Упругая модель твердых бытовых отходов // *Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит.* 2013. Вып. 32(51). С. 33—41.

УДК 624.154

**А. Б. Пономарев, Д. Н. Сурсанов**

### **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ, ОПИРАЮЩИХСЯ НА ВЫВЕТРЕЛЫЕ СКАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ**

Рассматривается проблема проектирования свайных фундаментов на верхнепермских полускальных грунтах. Анализируются инженерно-геологические условия одной из строительных площадок г. Перми и с учетом требований СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» выполняются оценочные расчеты несущей способности свай. Результаты оценочных расчетов сравниваются с результатами статических испытаний свай, делаются выводы о возможности применения предложенной методики оценочных расчетов в инженерной практике.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** верхнепермские отложения, полускальные породы, несущая способность, сваи-стойки, статические испытания.

The problem of design of pile foundations on Upper Perm semi-rocky soils is considered. Engineering and geological conditions of one of the construction sites in Perm are analyzed and taking into account the requirements of the joint venture 24.13330.2011 "Pile Foundations" estimate calculations of pile bearing capacity are carried out. The results of estimate calculations are compared to the results of static tests of piles, conclusions about the possibility of application of the offered methodology of estimate calculations in engineering practice are drawn.

**К е у w o r d s:** Upper Perm deposits, semi-rocky soils, bearing capacity, standing piles, static tests.

Повышение этажности зданий, активное использование подземного пространства, а также сложные инженерно-геологические условия — все это современные проблемы, которые стоят перед проектировщиками и строителями г. Перми. Одной из таких проблем является вопрос передачи нагрузки на верхнепермские отложения, представленные в основном аргиллитами, песчаниками и алевролитами. В центре города глубина залегания данных коренных пород колеблется от 10 до 30 м, а в удаленных районах, на возвышенных участках глубина залегания составляет менее 10 м. До недавнего времени необходимости использовать коренные породы в качестве оснований фундаментов просто не существовало, поэтому детального изучения физико-механических свойств этих пород не проводилось [1]. В процессе проведения исследований была отмечена необходимость разработки отдельной методики определения физико-механических характеристик полускальных грунтов [2—5].

Однако проблема заключается не только в точном определении механических свойств полускальных грунтов, но и в самой методике проектирования фундаментов, опирающихся на подобные грунты основания [1, 5, 6]. Рассмотрим данную проблему на примере одной из площадок строительства г. Перми.

Рассматриваемая площадка расположена на склоне IV левобережной надпойменной террасы р. Камы. Рельеф участка относительно ровный с общим уклоном на северо-запад. Отметки поверхности составляют 142,50...150,2 м в системе высот г. Перми. В геологическом строении участка участвуют техногенные отложения, четвертичные аллювиальные отложения и нижнепермские отложения. Техногенные отложения представлены насыпными грунтами, четвертичные отложения — глинами, суглинками, супесями

и песками, а пермские отложения — аргиллитами и песчаниками с прослоями алевrolита. Инженерно-геологический разрез площадки представлен на рис. 1, а некоторые физико-механические свойства выделенных инженерно-геологических элементов — в табл. 1.

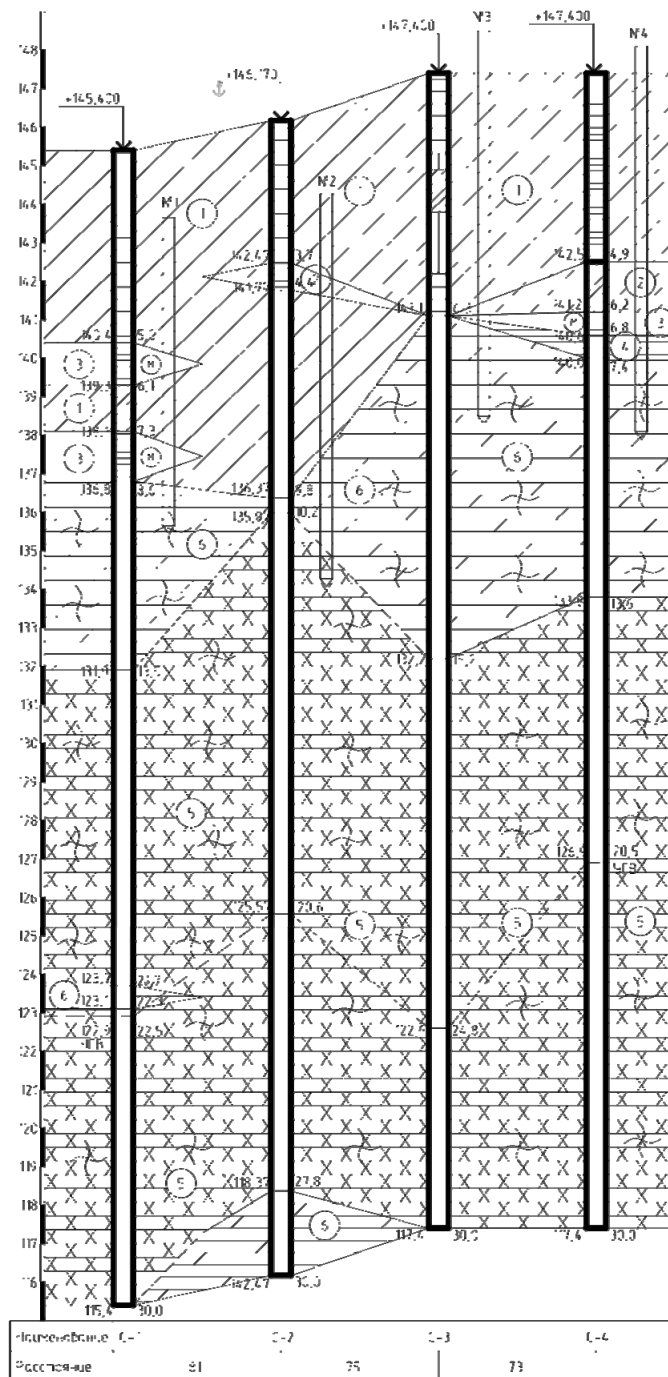


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез площадки испытаний

Таблица 1

## Физико-механические свойства инженерно-геологических элементов

| № ИГЭ | Наименование грунта                                           | $\gamma_n$<br>кН/м <sup>3</sup> | $E_{0,1-0,2}$<br>кН/м <sup>2</sup> | $c_n$<br>кН/м <sup>2</sup> | $\varphi_n$<br>град |
|-------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------|
| 1     | Суглинок коричневый от твердого до мягко-пластичного          | 18,82                           | 11,8                               | 31,0                       | 21                  |
| 2     | Супесь коричневая от твердой до пластичной                    | 17,15                           | 30,0                               | 0,0                        | 32                  |
| 3     | Песок мелкий желтовато-коричневый малой степени водонасыщения | 17,52                           | 28,0                               | 0,0                        | 32                  |
| 4     | Глина красновато-коричневая полутвердая                       | 18,15                           | 10,0                               | 28,0                       | 18                  |
| 5     | Песчаник серый сильновыветрелый сильно-трещиноватый           | 19,11                           | 12,8                               | 11,0                       | 33                  |
| 6     | Аргиллит сильновыветрелый трещиноватый                        | 19,31                           | 11,6                               | 30,0                       | 26                  |

Как видно из представленных выше данных, коренные отложения вскрыты на глубине 6,3...9,8 м и представлены сильновыветрелыми и сильно-трещиноватыми породами. Уровень грунтовых вод зафиксирован на отметках 20,5...24,8 м.

Фундаменты проектируемого здания — свайные из свай заводского изготовления С100.30-9.У и С110.30-9.У, с монолитным железобетонным ростверком, нагрузка на сваю по проекту — 65 т. В выводах отчета по инженерно-геологическим изысканиям, выполненным на данной площадке, в качестве основания свайных фундаментов рекомендуется принять аргиллиты и песчаники.

Как известно, по характеру взаимодействия сваи с грунтом различают сваи-стойки и висячие сваи [7]. В зависимости от этого в дальнейшем определяется несущая способность сваи и, если требуется, расчет по деформациям.

Для начала определимся, какие сваи можно считать сваями-стойками. Согласно разделу п. 6.2 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» [7], свая считается стойкой при выполнении одного из следующих условий:

а) свая любого вида опирается на скальные грунты;

б) забивная свая опирается на скальные или малосжимаемые грунты (к малосжимаемым грунтам относятся крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем средней плотности и плотным, а также глины твердой консистенции в водонасыщенном состоянии с модулем деформации  $E \geq 50$  МПа).

В данном случае используются забивные сваи, опирающиеся на скальные (согласно [8]) песчаники и аргиллиты. Следовательно, характер работы — свая-стойка.

Определение несущей способности забивной сваи, опирающейся на скальный грунт, определяется по известной формуле:

$$F_d = \gamma_c RA,$$

где  $\gamma_c$  — коэффициент условий работы, принимаемый равным 1, а  $R$  — расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки, принимаемое для забивных свай равным 20 МПа. По положениям нормативного документа получается, что несущая способность забивных свай-стоек зависит только от площади поперечного сечения  $A$ . С учетом приведенных выше данных несложно подсчитать несущую способность сваи сечением 300×300 мм, которая составит 1800 кН.

Однако определить несущую способность свай по данной формуле для рассматриваемого случая нельзя. В конце раздела 7.2.1 [7] указано: «Для окончательных расчетов оснований сооружений I и II уровней ответственности, а также оснований, сложенных выветрелыми, размягчаемыми, со слабыми прослойками скальными грунтами, несущую способность свай-стойки  $F_d$  следует принимать по результатам испытаний свай статической нагрузкой». Таким образом, делая вывод о характере работы свай как свай-стойки, нельзя рассчитать ее несущую способность по методике [7].

Попытаемся приблизительно оценить расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай-стойки. Для этого воспользуемся имеющейся формулой, учитывающей степень трещиноватости грунта, однако предназначенной для других типов свай (набивных, буровых и свай-оболочек) и неветрелых грунтов:

$$R = R_c K_s,$$

где  $R_c$  — расчетное значение предела прочности на одноосное сжатие скального грунта в водонасыщенном состоянии, кПа, которое определяется по результатам испытаний образцов отдельностей (монолитов) в лабораторных условиях;  $K_s$  — коэффициент, учитывающий снижение прочности ввиду трещиноватости скальных пород.

Так как данные по определению  $R_c$  в лабораторных условиях для данной площадки отсутствуют, в дальнейших расчетах используются средние табличные значения данных характеристик, указанные в [9] «Основания зданий и сооружений». Результаты расчета для четырех скважин представлены в табл. 2.

Таблица 2

*Расчетные сопротивления грунта  $R$  под нижним концом свай-стойки с учетом степени трещиноватости  $K_s$*

| Наименование показателя                                                                    | Номера испытаний    |                     |                     |                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                                                                            | 1                   | 2                   | 3                   | 4                   |
| Грунты под острием свай                                                                    | Аргиллит            | Песчаник            | Аргиллит            | Аргиллит            |
| Степень трещиноватости                                                                     | Средне-трещиноватый | Сильно-трещиноватый | Средне-трещиноватый | Средне-трещиноватый |
| Коэффициент снижения прочности $K_s$                                                       | 0,32...0,60         | 0,15...0,32         | 0,32...0,60         | 0,32...0,60         |
| Расчетное значение предела прочности на одноосное сжатие $R_c$ , МПа                       | 12...20             | 30...50             | 12...20             | 12...20             |
| Расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай-стойки $R$ , МПа, но не более 20 МПа | 3,84...12,0         | 4,5...16,0          | 3,84...12,0         | 3,84...12,0         |
| Среднее значение $R$ , МПа                                                                 | 7,92                | 10,25               | 7,92                | 7,92                |

Как видно из табл. 2, значения расчетного сопротивления, определенные по [7, 9], существенно зависят от того, какое значение из интервала значений будет принято. В зависимости от принятого решения минимальное и максимальное значения несущей способности сваи могут отличаться более чем в 2 раза, что недопустимо при выполнении инженерных расчетов.

Кроме степени трещиноватости на величину  $R$  влияет степень выветрелости скального грунта  $K_{wr}$ , в зависимости от которой принимаются значения  $R_c$ . В табл. 3 приведены результаты расчета  $R$  с учетом коэффициента  $K_{wr}$  и табличных значений характеристик грунтов, указанных в Приложении к [7].

Таблица 3

*Расчетные сопротивления грунта  $R$  под нижним концом сваи-стойки с учетом степени выветрелости  $K_{wr}$*

| Наименование показателя                                                                | Номера испытаний |                           |                  |                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------------|
|                                                                                        | 1                | 2                         | 3                | 4                                 |
| Разновидность элювия скальных грунтов по степени выветрелости                          | Сильновыветрелый | Сильновыветрелый до глины | Сильновыветрелый | Сильновыветрелый местами до глины |
| $R_c$ с учетом степени выветрелости $K_{wr}$ и $K_s = 1$ , МПа                         | 2,4              | 4,9                       | 2,4              | 2,4                               |
| $R$ с учетом степени выветрелости $K_{wr}$ и коэффициента $K_s$ , МПа                  | 0,77...1,44      | 0,74...1,57               | 0,77...1,44      | 0,77...1,44                       |
| Среднее значение $R$ с учетом степени выветрелости $K_{wr}$ и коэффициента $K_s$ , МПа | 1,11             | 1,16                      | 1,11             | 1,11                              |

Сравнивая значения табл. 2 и 3, можно сказать, что наиболее существенным фактором, снижающим значение расчетного сопротивления грунта  $R$ , является степень выветрелости грунта  $K_{wr}$ . При учете обоих факторов — и степени выветрелости, и степени трещиноватости грунта — расчетное сопротивление грунта  $R$  значительно уменьшается по сравнению с исходными табличными характеристиками.

В соответствии с требованиями нормативных документов для определения несущей способности на рассматриваемой площадке были проведены испытания свай статической нагрузкой в соответствии с ГОСТ 5686-94. Данные, полученные в результате статических испытаний свай, приведены в табл. 4.

Анализируя величину осадки свай, достигнутую несущую способность, а также длину свай в каждом испытании, можно утверждать, что характер работы свай — сваи-стойки, что подтверждает положения СП [7, 9]. Сравним расчетные сопротивления грунта  $R_{cm}$ , полученные в результате натурных испытаний, с результатами оценочных расчетов, в том числе с учетом коэффициента выветрелости  $K_{wr}$ , степени трещиноватости  $K_s$  и фактора заглубления сваи в скальный грунт (табл. 5).

Таблица 4

*Результаты испытаний свай статической нагрузкой*

| Наименование показателя                      | Номера испытаний |         |        |       |
|----------------------------------------------|------------------|---------|--------|-------|
|                                              | 1                | 2       | 3      | 4     |
| Длина свай                                   | 8                | 10      | 10     | 5     |
| Абс. отм. скального грунта                   | 136,8            | 136,4   | 141,1  | 140,0 |
| Абс. отм. острия свай                        | 135,65           | 134,274 | 138,48 | 138,1 |
| Глубина заделки острия свай в скальный грунт | 1,15             | 2,096   | 2,62   | 1,9   |
| Сечение свай                                 | 30×30            | 30×30   | 30×30  | 30×30 |
| Осадка свай по результатам испытаний, мм     | 2,17             | 2,33    | 3,37   | 3,10  |
| Несущая способность свай-стойки $F_d$ , кН   | 1100             | 1200    | 1200   | 1200  |

Таблица 5

*Расчетные сопротивления грунта  $R$  под нижним концом свай-стойки с учетом различных факторов*

| Наименование показателя, МПа                  | Номера испытаний |       |       |       |      |       |      |       |
|-----------------------------------------------|------------------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
|                                               | 1                |       | 2     |       | 3    |       | 4    |       |
|                                               | а)*              | б)**  | а)    | б)    | а)   | б)    | а)   | б)    |
| $R$ без учета $K_s$                           | 16               | 40,5  | 40    | 120   | 16   | 48    | 16   | 48    |
| $R$ с учетом $K_s$                            | 7,92             | 20,04 | 10,25 | 30,75 | 7,92 | 23,76 | 7,92 | 23,76 |
| $R$ с учетом $K_{wr}$                         | 2,4              | 6,07  | 4,9   | 14,7  | 2,4  | 7,2   | 2,4  | 7,2   |
| $R$ с учетом $K_s$ и $K_{wr}$                 | 1,11             | 2,81  | 1,16  | 3,48  | 1,11 | 3,33  | 1,11 | 3,33  |
| $R_{cm}$ по результатам статических испытаний | 12,2             |       | 13,3  |       | 13,3 |       | 13,3 |       |

\* — без учета фактора заглубления; \*\* — с учетом фактора заглубления.

На основании данных табл. 5, а также по результатам выполненных расчетов и анализа положений нормативной документации можно сделать следующие выводы:

1. На данный момент корректной методики расчета несущей способности свай-стоек, опирающихся на выветрелые скальные грунты, в существующих СП [7, 9] не представлено.

2. Определение расчетного сопротивления грунта  $R$  по результатам оценочных расчетов с учетом различных факторов дает широкий диапазон значений.

3. При определении  $R$  по табличным значениям СП [7, 9] учет степени выветрелости  $K_{wr}$  снижает расчетное сопротивление значительно больше, чем коэффициент трещиноватости  $K_s$ . В целом же учет обоих этих коэффициентов дает существенно заниженную (более чем в 10 раз) величину по сравнению с результатами испытаний  $R_{cm}$ .

4. Учет фактора заглубления в данном случае повышает значения расчетного сопротивления грунта в 2,5...3 раза. Соответственно, близость  $R_{cm}$  к тем или иным расчетным значениям  $R$  будет полностью зависеть от учета этого фактора.

5. Оценочная методика определения расчетного сопротивления грунта  $R$  под нижним концом свай-стойки в данном случае позволила определить интервалы значений, близкие к результатам натуральных испытаний  $R_{cm}$ .

В заключение хотелось бы отметить, что значения  $R_{cm}$ , полученные по результатам статических испытаний, не являются предельными значениями расчетного сопротивления грунта, а означают некое частное значение расчетного сопротивления грунта, полученное при передаче на грунтовое основание данной нагрузки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пономарев А. Б., Захаров А. В., Сурсанов Д. Н. К вопросу использования верхнепермских отложений в качестве грунтовых оснований // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2011. № 1. С. 74—80.
2. Сычкина Е. Н., Ощепкова И. А. Проблемы лабораторного определения механических свойств полускальных нижнепермских грунтов г. Перми // Вестник ПГТУ. Строительство и архитектура. 2011. № 1. С. 59—63.
3. Сычкина Е. Н., Ощепкова И. А. Анализ влияния степени водонасыщенности на деформационные характеристики полускальных грунтов // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2011. № 2. С. 8—16.
4. Сычкина Е. Н., Пономарев А. Б. К вопросу определения начального напряженного состояния полускальных грунтов в лабораторных условиях // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 6. С. 135—141.
5. Сычкина Е. Н., Сурсанов Д. Н., Пономарев А. Б. Problems of building and designing on semi-rocky soils // Geotechnical engineering: New Horizons : proceedings of the 21st European Young Geotechnical Engineers conference. Rotterdam, September, 2011. Amsterdam : IOS Press, 2011. P. 113—117.
6. Новый подход к вопросу определения напряжений в основании заглубленного фундамента / А. Н. Богомолов, О. А. Вихарева, А. В. Редин, Д. П. Торшин // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2001. № 5. С. 119—121.
7. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. М., 2011. 90 с.
8. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М., 2011. 19 с.
9. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. М., 2011. 166 с.
1. Ponomarev A. B., Zakharov A. V., Sursanov D. N. K voprosu ispol'zovaniya verkhnepermskikh otlozheniy v kachestve gruntovykh osnovaniy // Vestnik PNIPU. Urbanistika. 2011. № 1. S. 74—80.
2. Sychkina E. N., Oshchepkova I. A. Problemy laboratornogo opredeleniya mekhanicheskikh svoystv poluska'nykh nizhnepermskikh gruntov g. Permi // Vestnik PGU. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2011. № 1. S. 59—63.
3. Sychkina E. N., Oshchepkova I. A. Analiz vliyaniya stepeni vodonasyschennosti na deformatsionnye kharakteristiki poluska'nykh gruntov // Vestnik PNIPU. Urbanistika. 2011. № 2. S. 8—16.
4. Sychkina E. N., Ponomarev A. B. K voprosu opredeleniya nachal'nogo napryazhennogo sostoyaniya poluska'nykh gruntov v laboratornykh usloviyakh // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. 2012. № 6. S. 135—141.
5. Sychkina E. N., Sursanov D. N., Ponomarev A. B. Problems of building and designing on semi-rocky soils // Geotechnical engineering: New Horizons : proceedings of the 21st European Young Geotechnical Engineers conference. Rotterdam, September, 2011. Amsterdam : IOS Press, 2011. P. 113—117.
6. Novyy podkhod k voprosu opredeleniya napryazheniy v osnovanii zaglublennogo fundamenta / A. N. Bogomolov, O. A. Vikhareva, A. V. Redin, D. P. Torshin // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. 2001. № 5. S. 119—121.
7. SP 24.13330.2011. Sвайные фундаменты. М., 2011. 90 с.
8. GOST 25100-2011. Grunty. Klassifikatsiya. М., 2011. 19 с.
9. SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. М., 2011. 166 с.

© Пономарев А. Б., Сурсанов Д. Н., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Пономарев А. Б., Сурсанов Д. Н. К вопросу определения несущей способности свай, опирающихся на выветрелые скальные грунты // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 42—48.



УДК 624.97

**А. Ю. Чаускин, А. В. Старов, Г. М. Карасев**

## **РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА**

Выполнен расчет и конструирование несущих стальных и железобетонных конструкций телевизионной башни типа сетчатой оболочки и центрального железобетонного ствола, являющегося ядром жесткости. Учитывались постоянные нагрузки, ветровые нагрузки с учетом пульсации, гололедные и сейсмические нагрузки, временные нагрузки на перекрытия, температурные воздействия. Предложена методика расчета на резонансное вихревое возбуждение с учетом конечно-элементной постановки.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** телевизионная башня, сетчатые оболочки, расчет и конструирование.

The authors have carried out estimation and design of bearing steel and reinforced concrete constructions of a television tower of grid and central reinforced concrete trunk type that is the rigid-core. Constant loads, wind loads including pulsation, ice and seismic loads, temporary loads on floorings, temperature influences were taken into account. The calculation procedure for resonant vortex excitation including finite element formulation is offered.

**К e y w o r d s:** television tower, grid, estimation and design.

Известные конструктивные решения высотных сооружений башенного типа — это воплощение идеи в металле или железобетоне. Комбинированных решений крайне мало. В рамках дипломной работы предложена конструктивная схема башни, состоящая из сетчатой оболочки гиперболического типа (аналог фермы Шухова) и центрального железобетонного ствола, являющегося ядром жесткости (рис. 1, 2).

Сетчатая оболочка и железобетонное ядро связаны горизонтальными сетчатыми стальными диафрагмами, уменьшающими расчетную длину стальных элементов.

Особенность сетчатой оболочки Шухова в том, что она состоит из прямолинейных элементов. Подобные конструктивные решения были реализованы при возведении телебашни порта Кобе в Японии и телебашни Гуанчжоу в КНР.

В качестве фундамента предложено использовать кольцевую железобетонную плиту со стальным фланцем под сетчатую оболочку и круглую плиту под железобетонный ствол, которые, в свою очередь, опираются на свайное поле (буронабивные наклонные сваи).

Геометрические параметры: высота башни — 500 м, диаметр сетчатой оболочки в основании — 50 м, диаметр железобетонного ствола — 12 м.

Перекрытие и покрытие на отметке 330 м — структурная плита из стальных труб [1]. Ограждающие конструкции — многослойное триплекс-стекло.

Расчет и конструирование выполнены в соответствии требованиями [2—5] методом конечного элемента с помощью программного комплекса ПК «ЛИРА». Расчет выполнен на основные сочетания нагрузок, включающие в себя постоянные нагрузки, ветровые нагрузки с учетом пульсации ветра, гололедные нагрузки, временные нагрузки на перекрытия, температурные воздействия.

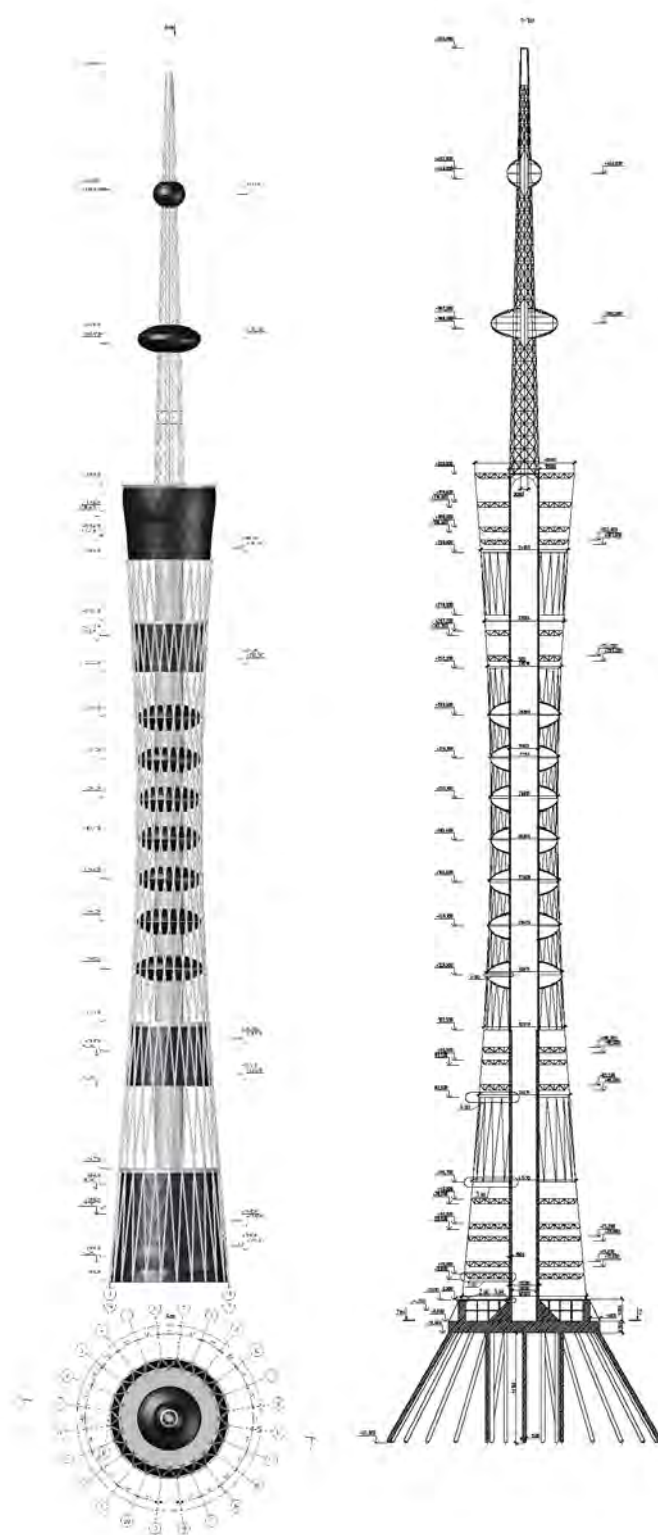


Рис. 1. Фасад и разрез телевизионной башни



Рис. 2. Визуализация телевизионной башни

В особое сочетание включались сейсмические нагрузки в соответствии с [5], при этом ветровые нагрузки не учитывались.

Также выполнен расчет на устойчивость, определены критические нагрузки, коэффициенты запаса устойчивости и формы потери устойчивости.

Определены частоты собственных колебаний и соответствующих им форм.

Расчет на резонансное вихревое возбуждение (срывной флаттер [6]) выполнен с учетом требований норм [2], специфики конечно-элементного подхода и возможностей ПК «ЛИРА».

Определялась критическая скорость ветра, при которой возможно резонансное вихревое возбуждение:

$$V_{cr,t} = \frac{d}{T_i S_t},$$

где  $d$  — диаметр железобетонного ствола;  $T_i$  — период собственных колебаний;  $S_t = 0,2$  — число Струхала для цилиндра.

Интенсивность воздействия в направлении, перпендикулярном скорости ветра, моделировалась гармонической нагрузкой с частотой собственных колебаний  $i$ -й формы:

$$q(z) = q_{cr,i} \varphi_i(z) \sin \omega_i t,$$

где  $q_{cr,i} = c_y \frac{\rho V_{cr,i}^2}{2}$  — скоростной напор на отметке верхнего конца ствола;

$\varphi_i(z)$ ,  $\max \varphi_i(z) = 1$  — нормированная форма (нормированный вектор) колебаний;  $\omega_i = \frac{2\pi}{T_i}$  — круговая частота собственных колебаний  $i$ -й формы;

$\rho = 1,293 \text{ кг/м}^3$  — плотность воздуха;  $c_y = 0,32 \cdot 0,8 = 0,25$  — коэффициент поперечной (подъемной) силы;  $0,8$  — коэффициент, учитывающий малую вероятность возникновения плоскопараллельного воздушного потока по высоте сооружения.

Расчетная статическая составляющая ветровой нагрузки по направлению действия ветра принималась постоянной по высоте сооружения и равной [12]

$$q_{cr,i}^c = q_{cr,i} \cdot c_x,$$

где  $c_x = 1,4$  — коэффициент лобового сопротивления.

Нагрузка задавалась как погонная для стержневых КЭ и поверхностная для плоскостных и объемных КЭ.

В расчетное сочетание усилий включалось особое сочетание: статическое ветровое воздействие в направлении действия ветра, гармоническое в перпендикулярном направлении и постоянная нагрузка. Амплитудные значения нагрузок в узлах определялись в зависимости от типа примыкающего конечного элемента:

$$F_i = q(z) \sum_{k=1}^k A_k \frac{1}{n},$$

где  $\sum_1^k A_k$  — сумма проекций элементов в направлении нагрузки;  $n$  — количество узлов КЭ;  $k$  — количество элементов, примыкающих к узлу.

Все гармонические узловые нагрузки можно сконденсировать в одной вертикальной плоскости на образующей сооружения на уровне горизонтальных диафрагм. В этом случае сбор нагрузок значительно упрощается.

В качестве расчетной статической составляющей можно принять ветровое нагружение с учетом пульсации. В этом случае расчетные усилия будут заведомо больше, т. е. в запас прочности.

Расчет стальных конструкций сетчатой оболочки выполнен в геометрически линейной и геометрически нелинейной постановке.

Особенность подобных сооружений в том, что нагрузки, постоянные и временные, зависят от геометрических параметров сечения. Поэтому расчет выполнялся методом последовательных приближений. Суть его в следующем:

выполнялся расчет на основные и особые сочетания, расчет на устойчивость, выполнялся модальный анализ;

выполнялся подбор сечений стальных элементов в «ЛИРА-СТК»;

назначались новые сечения элементов, корректировалась нагрузка, выполнялся перерасчет и подбор сечений.

Такие итерации выполнялись до тех пор, пока назначенные сечения и подобранные практически совпадали.

Был произведен расчет (основанный на исследовании [8]) и конструирование железобетонного ствола с использованием бетона класса В100 с предварительным натяжением арматурных канатов на бетон. Моделирование ствола произведено с использованием объемных конечных элементов.

Произведено обоснование использования в первых двух секциях сетчатой оболочки трубобетона (повышение несущей способности до 50 %, снижение центра тяжести [9]).

*Выводы:*

1. На основе накопленного опыта в строительстве подобных сооружений разработаны и предложены новые варианты архитектуры, несущих элементов и их узлов.

2. Предложена методика расчета на резонансное вихревое возбуждение с учетом конечно-элементной постановки.

3. Исследован характер совместной работы металлической сетчатой оболочки и железобетонного ядра жесткости.

4. Проведено вариантное проектирование с анализом влияния граничных условий в узлах сопряжения сетчатой оболочки и ядра жесткости.

5. Использование комбинированной схемы увеличивает конструкционное демпфирование и, соответственно, суммарный логарифмический декремент затухания, что повышает аэродинамическую устойчивость сооружения.

Комбинация сетчатой оболочки и железобетонного ствола позволяет увеличить турбулентность ветрового потока и, соответственно, увеличить критическую скорость резонансного возбуждения [7, 10—12]. С другой стороны, она очень напоминает известные аэродинамические способы гашения колебаний сооружения: навивку по винтовой линии по высоте сооружения, использование перфорированного кожуха, устройство каналов для прохода воздуха [7].

Разумеется, наиболее достоверные данные об эффективности конструктивной схемы могут быть получены на основе аэродинамических испытаний.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по проектированию структурных конструкций. М. : ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР ; Стройиздат, 1984. 303 с.
2. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85\*. М., 2011.
3. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23—81\*. М., 2011.
4. СНиП 52-01—2003. Бетонные и железобетонные конструкции. М., 2004.
5. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7—81\*. М., 2011.
6. Пановко Я. Г., Губанова И. И. Устойчивость и колебания упругих систем. М. : Наука, 1987. 384 с.
7. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия / под ред. Б. Г. Коренева, И. С. Рабиновича. М. : Стройиздат, 1981. 215 с.
8. Ромкин Д. С. Влияние возраста высокопрочного бетона на его физико-механические и реологические свойства : автореф. дис... канд. техн. наук. М. : ЦНИИПромзданий, 2010. С. 7—11.
9. Стороженко Л. И., Плахотный П. И., Черный А. Я. Расчет трубобетонных конструкций. М. : Б-ка проектировщика, 1991. 120 с.
10. Справочник по динамике сооружений / под ред. Б. Г. Коренева, И. С. Рабиновича. М. : Стройиздат, 1972. 512 с.
11. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций : справочник проектировщика / под ред. Б. Г. Коренева, А. Ф. Смирнова. М. : Стройиздат, 1986. 461 с.
12. Савицкий Г. А. Расчет антенных сооружений. М. : Связь, 1978. 152 с.
1. Rekomendatsii po proektirovaniyu strukturnykh konstruksiy. M. : TsNIISK im. Kucherenko Gosstroya SSSR ; Stroyizdat, 1984. 303 s.
2. SP 20.13330.2011. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07—85\*. M., 2011.
3. SP 16.13330.2011. Stal'nye konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23—81\*. M., 2011.
4. SNiP 52-01—2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. M., 2004.
5. SP 14.13330.2011. Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-7—81\*. M., 2011.
6. Panovko Ya. G., Gubanova I. I. Ustoychivost' i kolebaniya uprugikh sistem. M. : Nauka, 1987. 384 s.
7. Dinamicheskiy raschet sooruzheniy na spetsial'nye vozdeystviya / pod red. B. G. Koreneva, I. S. Rabinovicha. M. : Stroyizdat, 1981. 215 s.
8. Romkin D. S. Vliyanie vozrasta vysokoprochnogo betona na ego fiziko-mekhanicheskie i reologicheskie svoystva : avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. M. : TsNIIPromzdaniy, 2010. S. 7—11.
9. Storozhenko L. I., Plakhotnyy P. I., Chernyy A. Ya. Raschet trubobetonnykh konstruksiy. M. : B-ka proektirovshchika, 1991. 120 s.
10. Spravochnik po dinamike sooruzheniy / pod red. B. G. Koreneva, I. S. Rabinovicha. M. : Stroyizdat, 1972. 512 s.
11. Dinamicheskiy raschet spetsial'nykh inzhenernykh sooruzheniy i konstruksiy : spravochnik proektirovshchika / pod red. B. G. Koreneva, A. F. Smirnova. M. : Stroyizdat, 1986. 461 s.
12. Savitskiy G. A. Raschet antennykh sooruzheniy. M. : Svyaz', 1978. 152 s.

© Чаускин А. Ю., Старов А. В., Карасев Г. М., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Чаускин А. Ю., Старов А. В., Карасев Г. М. Расчет и конструирование башенных сооружений комбинированного типа // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 49—54.

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

УДК 666.972

**В. И. Калашников, Е. Ю. Миненко, Ю. В. Грачева, Т. С. Кижватова**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИБРЫ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ**

В данный момент широкую популярность приобретает фибробетон как основное составляющее дорожного покрытия. Авторами оценены прочностные характеристики бетона, армированного металлическими волокнами различной длины. В результате экспериментальным путем доказано наиболее оптимальное соотношение прочности и длины металлической фибры.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** фибробетон, прочность, металлические волокна, дорожное покрытие.

At present fibre concrete as the base for road covering becomes more and more popular. The authors evaluate durability properties of concrete reinforced by metal fibers of various length. As a result the most optimum relation between durability and length of a metal fiber is experimentally proved.

**К e y w o r d s:** fibre concrete, durability, metal fibers, road covering.

Бетоны, армированные стальными волокнами, известны давно. Еще в 1907 г. российский ученый В. П. Некрасов провел ряд исследований по получению бетонных материалов, хаотически армированных отрезками проволок малых диаметров. Имелись предложения также вводить в бетонную смесь металлическую шерсть, стружки и другие подобные материалы, однако введение в бетон волокон не всегда давало желаемый результат [1, 2, 3].

Первый положительный опыт применения фибробетон нашел в устройстве резервуара для технической воды размером 12 × 18 м на Северной водопроводной станции в Ленинграде.

В то же время в США фибробетон применяют везде, вплоть до монолитных полов промышленных зданий, покрытий в аэропортах, покрытий дорог и территорий с тяжелым напольным транспортом, а также труб, предназначенных для отвода промышленных и других сточных вод [1, 4, 5].

В странах ЕС все чаще находят применение фибробетоны с армированием из синтетических волокон, которые, как правило, высокопрочные и высококомодульные, коррозионно-стойкие в разных средах. С целью расширения рынка сталефибробетона проводятся исследования его свойств и разрабатываются новые технологии его приготовления [1, 3, 5].

Авторами были изучены прочностные характеристики бетона, армированного стальной фиброй. Были изготовлены опытные образцы в виде балочек с различной длиной фибры (5, 10, 15 мм).

Процесс приготовления фибробетона включал две стадии.

Сначала сухие компоненты бетона вместе с суперпластификатором перемешивали и затворяли водой. Затем в готовую бетонную смесь вводили требуемое количество фибры, предварительно просеянной через сито. Такая технология позволила обеспечить необходимую однородность фиброармированного бетона.

Данные, полученные в результате эксперимента, приведены в табл.

*Характеристика составов и кинетика набора прочности фибробетона*

| Дозировка<br>СП Mel-<br>ment10, % | Длина<br>волокна,<br>мм | Дозировка<br>волокна,<br>% | В/Ц  | Прочность $R_{изг}/R_{сж}$ , МПа,<br>в возрасте |           |            |
|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------|------|-------------------------------------------------|-----------|------------|
|                                   |                         |                            |      | 1 сут                                           | 3 сут     | 28 сут     |
| 1                                 | —                       | —                          | 0,25 | 2,75/43,4                                       | 3,2/78,9  | 12,1/95,0  |
| 1                                 | 5                       | 0,3                        | 0,25 | 4,0/53,1                                        | 7,68/84,0 | 13,8/100,8 |
| 1                                 | 5                       | 1,0                        | 0,25 | 5,0/54,5                                        | 9,0/93,0  | 14,8/109   |
| 1                                 | 5                       | 2,0                        | 0,25 | 6,25/36,8                                       | 10,0/69,0 | 15,4/91,6  |
| 1                                 | 10                      | 0,3                        | 0,25 | 4,64/56,0                                       | 8,87/79,8 | 14,1/98,3  |
| 1                                 | 10                      | 1,0                        | 0,25 | 6,1/55,5                                        | 9,89/85,6 | 15,1/106,5 |
| 1                                 | 10                      | 2,0                        | 0,25 | 7,15/38,7                                       | 10,6/68,8 | 15,8/88,4  |
| 1                                 | 15                      | 0,3                        | 0,25 | 5,2/51,0                                        | 10,0/79,3 | 14,7/98,3  |
| 1                                 | 15                      | 1,0                        | 0,25 | 7,24/52,0                                       | 10,4/83,5 | 15,8/103,9 |
| 1                                 | 15                      | 2,0                        | 0,25 | 9,27/24,5                                       | 10,9/75,5 | 17,46/75,5 |

Как следует из данных, приведенных в табл., суточная прочность на растяжение при изгибе у контрольного образца 2,75 МПа, а при использовании фибры прочность бетона резко увеличивается. Замечено, что при изменении дозировки волокна прочность бетона на растяжение при изгибе также увеличивается. Так, при дозировке волокна 0,3 % лучшие показатели имеет бетон с волокнами длиной 15 мм — 5,2 МПа. Данный показатель выше, чем у контрольного образца без волокон, на 84 %.

Бетон с волокном длиной 10 мм имеет прочность 4,64 МПа, а с волокнами 5 мм — 4,0 МПа, но и эти данные выше, чем у контрольного образца, на 68 и 50 % соответственно.

На рис. 1 изображены кривые изменения суточной прочности на растяжение при изгибе.

Описанная выше закономерность сохранилась и при дозировках 1 и 2 %. Так, при дозировке волокна в 1 % и длине 15 мм прочность равнялась 7,25 МПа, а прирост составил 160 % по сравнению с контрольным, при длине 10 мм прочность составила 6,1 МПа, а с волокнами 5 мм — 5,0 МПа. Данные показатели выше контрольного образца. При максимальной дозировке волокна (2 %) были получены самые максимальные показатели прочности на растяжение при изгибе. Значение прочности 9,27 МПа было получено с волокнами 15 мм, что превышает контрольный образец на 232 %. При волокне длиной 10 и 5 мм получили прочность 7,15 и 6,25 МПа соответственно. Установленные на первые сутки твердения закономерности оказались справедливыми и на 28 сутки.



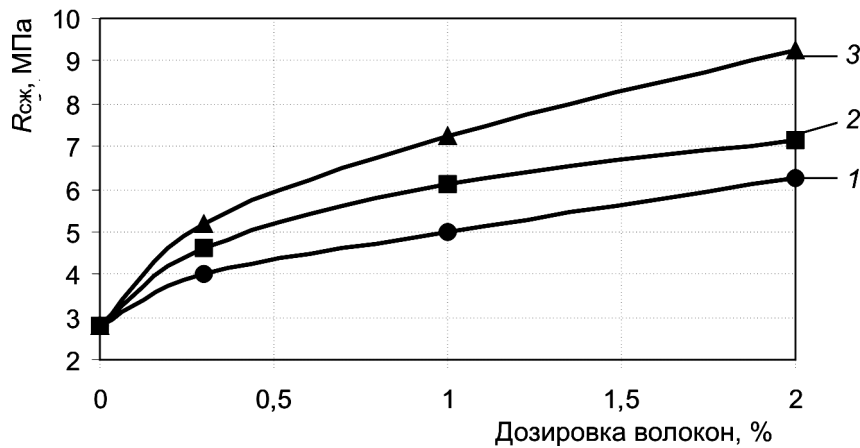


Рис. 1. Суточная прочность фибробетона на растяжение при изгибе в зависимости от дозировки и длины волокна: 1 — длина волокна 5 мм; 2 — то же 10 мм; 3 — то же 15 мм

На рис. 2 изображены характерные кривые изменения нормативной прочности на растяжение при изгибе.

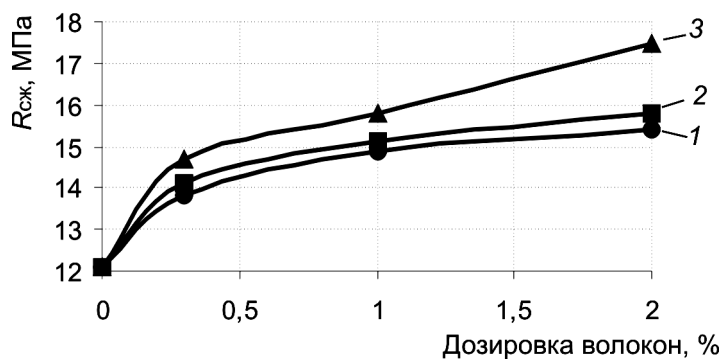


Рис. 2. Нормативная прочность фибробетона на растяжение при изгибе в зависимости от дозировки и длины волокна: 1 — длина волокна 5 мм; 2 — то же 10 мм; 3 — то же 15 мм

Контрольный образец имел прочность на растяжение при изгибе 12,1 МПа. При дозировках 0,3; 1; 2 % наибольшие прочности бетона получены при использовании фибры длиной 15 мм. Максимальное значение получено при дозировке 2 % — 17,46 МПа, это на 45 % больше, чем у контрольного образца. При использовании металлических волокон длиной 10 мм максимальное значение опять пришлось на дозировку 2 % — 15,8 МПа, что на 31 % выше прочности контрольного образца. С волокнами длиной 5 мм прочность на изгиб наименьшая — 15,4 МПа.

Итак, эксперимент показал, что с увеличением длины и дозировки волокна значение прочности на растяжение при изгибе увеличивается. Причем если значения прочности бетона при использовании волокон длиной 10 и 5 мм примерно равны, то значение прочности с волокнами 15 мм выше.

Если говорить о прочности на сжатие, то там прослеживаются другие закономерности. На первые сутки твердения контрольный образец имел прочность 43,4 МПа. Наиболее характерные кривые изменения суточной прочности на сжатие фибробетона представлены на рис. 3.

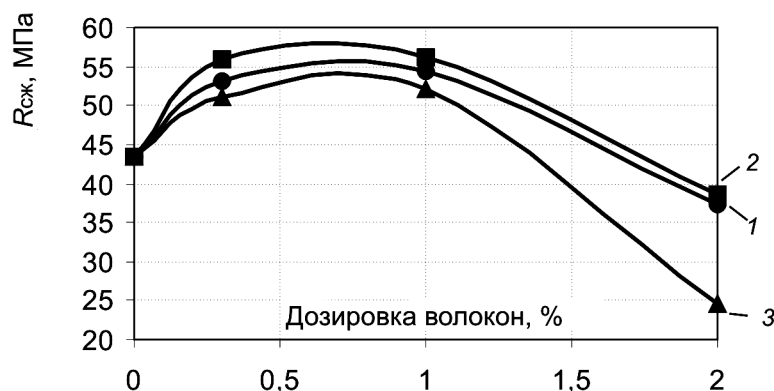


Рис. 3. Суточная прочность фибробетона на сжатие в зависимости от дозировки и длины волокна: 1 — длина волокна 5 мм; 2 — то же 10 мм; 3 — то же 15 мм

При дозировке в 2 % при использовании волокна любой длины значение прочности ниже, чем у контрольного образца. Наибольшую прочность при данной дозировке имеет образец с волокнами 10 мм — 38,7 МПа, что на 12 % ниже прочности контрольного. Самая низкая прочность получилась с волокнами длиной 15 мм — 24,5 МПа. Это значение ниже прочности контрольного образца на 43 %.

Если говорить о нормативной прочности на сжатие, то контрольный образец в возрасте 28 сут имел прочность на сжатие 95,0 МПа.

На рис. 4 представлены кривые изменения нормативной прочности высокопрочного бетона.

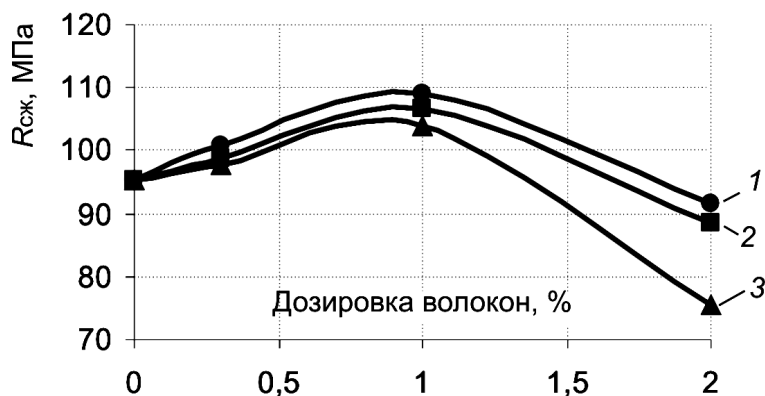


Рис. 4. Нормативная прочность фибробетона на сжатие в зависимости от дозировки и длины волокна: 1 — длина волокна 5 мм; 2 — то же 10 мм; 3 — то же 15 мм

Максимальные значения прочности были получены при дозировке 1 %. При длине 5 мм бетон имел прочность 109 МПа, а при длине волокон 10 и 15 мм максимальные значения прочности чуть ниже — 106,5 и 103,9 МПа соответственно.

Необходимо отметить, что значения прочности при использовании волокон всех длин и дозировке 0,3 % выше, чем у контрольного образца, а при увеличении дозировки до 2 % значения прочности резко снижаются. Самые низкие значения прочности получились при дозировке волокна 2 %: при длине волокон 5 мм — 91,6 МПа, при длине 10 мм — 88,0 МПа, при 15 мм — 75,5 МПа. Данные значения ниже прочности контрольного образца на 4; 6,5 и 25 % соответственно.

Уменьшение прочности на сжатие при увеличении дозировки более 1 % обусловлено вероятностью переармирования бетона. Происходит разрушение бетона вследствие того, что центрами напряжений становятся сами волокна. Нарушается прочность сцепления между цементной матрицей и волокном, что также способствует снижению прочности.

Исходя из вышеизложенного, можно определенно сказать, что оптимальную прочность на сжатие и растяжение при изгибе возможно получить только при использовании металлического волокна длиной 10 мм и дозировке в 1 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рабинович Ф. Н. Дисперсноармированные бетоны. М. : Стройиздат, 1989. 177 с.
2. Рабинович Ф. Н. Об уровнях дисперсности армирования бетонов // Известия вузов. 1981. № 11. С. 30—36.
3. Сталефибробетонные конструкции зданий и сооружений. Сер.: Строит. конструкции. 1990. Вып. № 7.
4. Демьянова В. С. Методологические и технологические основы производства высокопрочных бетонов с высокой ранней прочностью для беспрогревных и малопрогревных технологий : автореф. дис... д-ра техн. наук. Пенза, 2003. 43 с.
5. Демьянова В. С., Миненко Е. Ю., Мишин А. С. Высокопрочный фибробетон // Экспресс-информация ВНИИТПИ. 2003. С. 39—42.
1. Rabinovich F. N. Dispersnoarmirovannyye betony. M. : Sroyzizdat, 1989. 177 s.
2. Rabinovich F. N. Ob urovnyakh dispersnosti armirovaniya betonov // Izvestiya vuzov. 1981. № 11. S. 30—36.
3. Stalefibrobetonnyye konstruksii zdaniy i sooruzheniy. Ser.: Stroit. konstruksii. 1990. Vyp. № 7.
4. Dem'yanova V. S. Metodologicheskie i tekhnologicheskie osnovy proizvodstva vysokoprochnykh betonov s vysokoy ranney prochnost'yu dlya besprogrevnykh i maloprogrevnykh tekhnologiy : avtoref. dis... d-ra tekhn. nauk. Penza, 2003. 43 s.
5. Dem'yanova V. S., Minenko E. Yu., Mishin A. S. Vysokoprochnyy fibrobeton // Ekspres-informatsiya VNIITPI. 2003. S. 39—42.

© Калашников В. И., Миненко Е. Ю., Грачева Ю. В., Кижватова Т. С., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Исследование влияния фибры на прочность бетона для дорожных покрытий / В. И. Калашников, Е. Ю. Миненко, Ю. В. Грачева, Т. С. Кижватова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 55—59.

УДК 532.616

**В. И. Краюхин, Л. И. Могилевич, В. С. Попов**

### **УДАРНЫЙ ПРИНЦИП ПРОПИТКИ БЕТОНА ВЯЗКОЙ МАССЫ\***

В последнее время пропиточные технологии находят место при ремонте различных конструктивных элементов из бетона для повышения долговечности и восстановления основных эксплуатационных свойств. Особенно они эффективны для специальных бетонов — жаростойкого, гидротехнического, дорожного и др. Ударные воздействия в момент пропитки позволяют увеличивать толщину пропиточного слоя, повышая его плотность и механические характеристики. Математическое описание данного процесса позволяет более точно определиться с появлением резонансных точек в процессе пропитки, что весьма благоприятно сказывается на времени прохождения процесса и глубине пропитки.

**Ключевые слова:** удар, вязкая масса, пропитка, резонанс, коэффициент динамичности, жаростойкий бетон, динамические воздействия, функция Хевисайда.

Recently impregnating technologies are used when repairing different constructive elements from concrete to increase durability and reconstruction of the main operating properties. They are especially effective for special concrete — heat-resistant, hydrotechnical, road, etc. Shock affects at impregnation allow increase thickness of an impregnating layer, increasing its density and mechanical characteristics. Mathematical description of this process allows determine more precisely the appearance of resonant points during impregnation that has a good impact on the whole process and impregnation depth.

**Key words:** shock, viscous mass, impregnation, resonance, dynamism coefficient, heat-resistant concrete, dynamic influences, Heaviside function.

Процессы динамических воздействий на конструктивные элементы весьма продуктивны при пропиточных мероприятиях различного рода жидкостями, суспензиями, пастами различного состава, применяемых для увеличения долговечности и восстановления основных свойств материалов типа жаростойкого бетона и изделий из него после длительной эксплуатации [1].

Ударные воздействия при пропитке, ремонте изделий признаны одним из самых эффективных способов усиления строительных конструкций различных видов установок, сооружений после эксплуатации при высоких температурах на нефтехимических объектах.

Рассмотрим периодическое ударное силовое воздействие на пластину-опалубку в плоской постановке и опишем его при помощи произведения единичных функций Хевисайда [2, 3] по временной и пространственной координате:

$$F = S_1 F_1 F_2 = S_1 [H(t - t_1) - H(t - t_1 - \chi T_1/2)] [H(x - x_0) - H(x - x_0 - \varepsilon_k l)], \quad (1)$$

где  $S_1$  — амплитуда воздействия;  $H$  — единичная функция Хевисайда;  $\chi T_1/2$  — время контакта;  $T_1$  — период, с которым сила воздействует на пластину (балку-полоску);  $x_0$  — координата начальной точки площадки, на которую воздействует удар;  $\varepsilon_k l$  — протяженность площадки контакта;  $\varepsilon_k \ll 1$ ,  $\chi \ll 1$  — малые параметры, характеризующие время контакта и площадку контакта.

---

\* Выполнено при поддержке гранта РФФИ № 13-01-00049а.

На рис. 1 представлена схема динамического воздействия периодических ударов на опалубку-пластину.

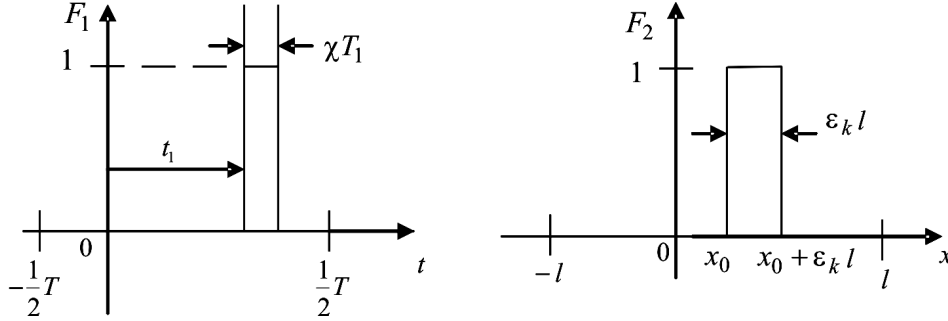


Рис. 1

Опалубку будем рассматривать в виде пластины (балки-полоски) с конструкционным демпфированием, лежащей на упругом основании, уравнение которой имеет вид

$$\frac{E\delta_0^3}{12} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + n_0 w + \rho_0 \delta_0 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \varepsilon_g \frac{\partial w}{\partial t} = F, \quad (2)$$

где  $E$  — модуль Юнга материала пластины;  $\delta_0$  — толщина пластины;  $w$  — прогиб пластины;  $x$  — продольная координата;  $n_0$  — коэффициент постели;  $\rho_0$  — плотность;  $t$  — время;  $\varepsilon_g$  — коэффициент конструктивного демпфирования материала.

Уравнения (2) дополняются краевыми условиями на торцах пластины — условиями шарнирного опирания:

$$w = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad \text{при} \quad x = \pm l. \quad (3)$$

В силу периодичности ударов представим составляющие  $F_1$ ,  $F_2$  (см. рис. 1) в виде разложения в ряды Фурье по времени и по координатной функции  $\cos \frac{2j-1}{2} \pi \frac{x}{l}$ , удовлетворяющей краевым условиям (3).

$$F = S_1 \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} c_j \cos \frac{2j-1}{2} \pi \frac{x}{l} \left[ \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos \frac{2\pi i}{T_1} t + b_i \sin \frac{2\pi i}{T_1} t \right]; \quad (4)$$

$$a_0 = 2\chi; \quad a_i = \frac{2}{\pi i} \cos \frac{2\pi i}{T_1} (t_1 + \chi T_1/2) \sin \frac{2\pi i}{T_1} \chi \frac{T_1}{2}; \quad (5)$$

$$b_i = \frac{2}{\pi i} \left[ \sin \frac{2\pi i}{T_1} \chi \frac{T_1}{2} \sin \frac{2\pi i}{T_1} (t_1 + \chi T_1/2) \right]; \quad (6)$$

$$c_j = \frac{4}{(2j-1)\pi} \cos \frac{2j-1}{2} \pi \left( \frac{x_0}{l} + \frac{\varepsilon_k}{2} \right) \sin \frac{2j-1}{2} \pi \frac{\varepsilon_k}{2}. \quad (7)$$

Принимая во внимание краевые условия (3) и гармонических характер изменения ударов по времени (4), форму прогибов пластины представим в виде

$$w = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \cos \frac{2j-1}{2} \pi \frac{x}{l} \left[ A_{0j} + A_{ij} \cos \frac{2\pi i}{T_1} t + B_{ij} \sin \frac{2\pi i}{T_1} t \right]. \quad (8)$$

Подставляя (8) в уравнение (2), с учетом (4) получаем

$$\begin{aligned} & \sum \sum \left\langle n + \frac{E\delta_0^3}{12} \left( \frac{2j-1}{2} \pi / l \right)^4 \cos \frac{2j-1}{2} \pi \frac{x}{l} \left[ A_{0j} + A_{ij} \cos \frac{2\pi i}{T_1} t + B_{ij} \sin \frac{2\pi i}{T_1} t \right] \right\rangle - \\ & - \rho_0 \delta_0 \sum \sum \left( \frac{2\pi i}{T_1} \right)^2 \cos \frac{2j-1}{2} \pi \frac{x}{l} \left[ A_{ij} \cos \frac{2\pi i}{T_1} t + B_{ij} \sin \frac{2\pi i}{T_1} t \right] + \\ & + \varepsilon_g \sum \sum \frac{2\pi i}{T_1} \cos \frac{2j-1}{2} \pi \frac{x}{l} \left[ -A_{ij} \sin \frac{2\pi i}{T_1} t + B_{ij} \sin \frac{2\pi i}{T_1} t \right] = \\ & = S_1 \sum \sum \cos \frac{2j-1}{2} \pi \frac{x}{l} \frac{2}{(2j-1)\pi} \cos \frac{2j-1}{2} \pi \left( \frac{x_0}{l} + \frac{\varepsilon_k}{2} \right) \sin \frac{2j-1}{2} \pi \frac{\varepsilon_k}{2} \times \\ & \times \left[ \chi + \frac{2}{\pi i} \sin \frac{2\pi i}{T_1} \chi \frac{T_1}{2} \left[ \cos \frac{2\pi i}{T_1} \left( t_1 + \chi \frac{T_1}{2} \right) \cos \frac{2\pi i}{T_1} t + \sin \frac{2\pi i}{T_1} \left( t_1 + \chi \frac{T_1}{2} \right) \sin \frac{2\pi i}{T_1} t \right] \right]. \quad (9) \end{aligned}$$

Приравнявая коэффициенты при одинаковых тригонометрических функциях в (9) и в силу линейности рассматриваемой задачи найдем для статической задачи

$$A_{0j} = \frac{S_1 \chi}{n + \frac{E\delta_0^3}{12} \left( \frac{2j-1}{2} \pi \frac{1}{e} \right)^4} \frac{2}{(2j-1)\pi} \cos \frac{2j-1}{2} \pi \left( \frac{x_0}{l} + \frac{\varepsilon_k}{2} \right) \sin \frac{2j-1}{2} \pi \frac{\varepsilon_k}{2}, \quad (10)$$

а для динамической задачи получаем уравнения

$$\begin{aligned} & \left[ n + \left( \frac{E\delta_0^3}{12} \frac{2j-1}{2} \pi \frac{1}{l} \right)^4 - \rho_0 \delta_0 \left( \frac{2\pi i}{T_1} \right)^2 \right] A_{ij} + \varepsilon_g \frac{2\pi i}{T_1} B_{ij} = \\ & = S_1 \frac{2}{(2j-1)\pi} \cos \frac{2j-1}{2} \pi \left( \frac{x_0}{l} + \frac{\varepsilon_k}{2} \right) \sin \frac{2j-1}{2} \pi \frac{\varepsilon_k}{2} \frac{2}{\pi i} \sin \frac{2\pi i}{T_1} \chi \frac{T_1}{2} \cos \frac{2\pi i}{T_1} \left( t_1 + \chi \frac{T_1}{2} \right) - \\ & - \varepsilon_g \frac{2\pi i}{T_1} A_{ij} + \left[ n + \left( \frac{E\delta_0^3}{12} \frac{2j-1}{2} \pi \frac{1}{l} \right)^4 - \rho_0 \delta_0 \left( \frac{2\pi i}{T_1} \right)^2 \right] B_{ij} = \\ & = S_1 \frac{2}{(2j-1)\pi} \cos \frac{2j-1}{2} \pi \left( \frac{x_0}{l} + \frac{\varepsilon_k}{2} \right) \sin \frac{2j-1}{2} \pi \frac{\varepsilon_k}{2} \frac{2}{\pi i} \sin \frac{2\pi i}{T_1} \chi \frac{T_1}{2} \sin \frac{2\pi i}{T_1} \left( t_1 + \chi \frac{T_1}{2} \right). \quad (11) \end{aligned}$$

Вводя далее следующие обозначения

$$a_{11} = n + \left( \frac{E\delta_0^3}{12} \frac{2j-1}{2} \pi \frac{1}{l} \right)^4 - \rho_0 \delta_0 \left( \frac{2\pi i}{T_1} \right)^2; \quad a_{12} = \varepsilon_g \frac{2\pi i}{T_1}; \quad (12)$$

$$C = S_1 \frac{2}{(2j-1)\pi} \cos \frac{2j-1}{2} \pi \left( \frac{x_0}{l} + \frac{\varepsilon_k}{2} \right) \sin \frac{2j-1}{2} \pi \frac{\varepsilon_k}{2}; \quad (13)$$

$$\frac{a_{11}}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{12}^2}} = \cos \varphi_i, \quad \frac{a_{12}}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{12}^2}} = \sin \varphi_i, \quad \varphi_i = \arctg \frac{a_{12}}{a_{11}} \quad (14)$$

и решая (11), найдем

$$A_{ij} = \frac{C}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{12}^2}} \cos \frac{2\pi i}{T_1} \left( t_1 + \chi \frac{T_1}{2} + \varphi_i \right); \quad (15)$$

$$B_{ij} = \frac{C}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{12}^2}} \sin \frac{2\pi i}{T_1} \left( t_1 + \chi \frac{T_1}{2} + \varphi_i \right) \quad (16)$$

и запишем прогиб пластины в виде

$$W = \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} \cos \frac{2j-1}{2} \pi \frac{x}{l} \left[ \frac{S_1 \chi_i}{n + \frac{E \delta_0^3}{12} \left( \frac{2j-1}{2} \frac{\pi}{l} \right)^4} \frac{2}{(2j-1)\pi} \cos \frac{2j-1}{2} \pi x \times \right. \\ \left. \times \left( \frac{x_0}{l} + \frac{\varepsilon_k}{2} \right) \sin \frac{2j-1}{2} \pi \frac{\varepsilon_k}{2} + \frac{C}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{12}^2}} \cos \frac{2\pi i}{T_1} \left( t - t_1 - \frac{\chi T_1}{2} + \varphi_i \right) \right]. \quad (17)$$

Напряжения в пластине и на ее поверхности можно рассчитать по формуле:

$$\sigma_x = \frac{Ez}{1-\nu^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \Big|_{z=\delta_0/2} = \frac{E}{1-\nu^2} \frac{\delta_0}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}. \quad (18)$$

Если для простоты положить  $t_1 = 0$ ,  $x_0 = 0$  и принять во внимание малость безразмерных величин  $\varepsilon_k \ll 1$ ,  $\chi \ll 1$ , то получим

$$C \approx S_1 \frac{\varepsilon_k}{2}, \quad \cos \frac{2j-1}{2} \pi \frac{\varepsilon_k}{2} \approx 1, \quad \sin \frac{2j-1}{2} \pi \frac{\varepsilon_k}{2} \approx \frac{2j-1}{2} \frac{\pi}{2} \varepsilon_k, \quad (19)$$

и прогиб пластины окончательно запишется в виде

$$w = S_1 \chi \varepsilon_k \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \cos \frac{2j-1}{2} \pi \frac{x}{l} \left\{ \left( 2 \left[ n + \frac{E \delta_0^3}{12} \left( \frac{2j-1}{2} \frac{\pi}{l} \right)^4 \right] \right)^{-1} + \right. \\ \left. + \frac{1}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{12}^2}} \cos \frac{2\pi i}{T_1} \left( t - \chi \frac{T_1}{2} + \varphi_i \right) \right\}. \quad (20)$$

Из выражения для прогиба (20) выделена амплитудная частотная характеристика

$$A(\omega_i) = \frac{1}{\left[ n + \frac{E \delta_0^3}{12} \left( \frac{2j-1}{2} \frac{\pi}{l} \right)^4 \right]} \frac{1}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + 4D^2 \eta^2}}, \quad (21)$$

для этого были введены следующие обозначения:

$$\frac{2\pi i}{T_1} = \omega_1^2; \quad \sqrt{\left(n + \frac{E\delta_0^3}{12} \left(\frac{2j-1}{2} \frac{\pi}{l}\right)^4\right) (\rho_0 \delta_0)^{-1}} = \Omega, \quad \left(\frac{\omega_i}{\Omega}\right)^2 = \eta, \quad (22)$$

$$D^2 = \varepsilon_g^2 \left( 4\rho_0 \delta_0 \left[ n + \frac{E\delta_0^3}{12} \left(\frac{2j-1}{2} \frac{\pi}{l}\right)^4 \right] \right)^{-1}$$

и коэффициент конструкционного демпфирования был переобозначен как

$$\varepsilon_g = \rho_0 \delta_0 c / l \tilde{\varepsilon}_g,$$

где  $c = \sqrt{E/(\rho_0(1-\nu^2))}$  — скорость звука в материале пластины.

Для исследования резонансных частот колебаний пластины введем в рассмотрение коэффициент динамичности

$$k_g = \frac{A(\omega_i)}{A(0)} = \frac{1}{\sqrt{(1-\eta^2)^2 + 4D^2\eta^2}}. \quad (23)$$

При  $\eta = 0$  имеем  $k_g = 1$ , при  $\eta \rightarrow \infty$  имеем  $k_g = 0$ . Исследуя  $k_g$  на экстремум, определим

$$\frac{dk_g}{d\eta} = \frac{1}{2} \frac{2(1-\eta^2)^2 2\eta - 8D^2\eta}{\left[(1-\eta^2)^2 + 4D^2\eta^2\right]^{3/2}} = \frac{[2(1-\eta^2) - 4D^2]\eta}{\left[(1-\eta^2)^2 + 4D^2\eta^2\right]^{3/2}}.$$

Решая уравнения:

$$(2 - 2\eta^2 - 4D^2)\eta = 0 \quad \text{или} \quad (\eta^2 - 1 + 2D^2)\eta = 0,$$

находим корни  $\eta_1 = 0$ ,  $\eta_2 = \sqrt{1-2D^2}$ ,  $\eta_3 = -\sqrt{1-2D^2}$ .

Первый и третий корни не имеют физического смысла. Второй корень  $\eta_{\max} = \sqrt{1-2D^2}$  определяет максимальное значение  $k_g$ , т. е. резонанс [4]:

$$k_{g \max} = \frac{1}{\sqrt{1-2D^2}}. \quad (24)$$

На рис. 2 представлен график коэффициента динамичности.

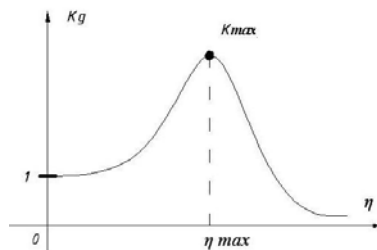


Рис. 2



С учетом вышесказанного напряжения в пластине будут определяться по формуле

$$|\sigma_x| = \frac{Ez}{1-\nu^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \Big|_{z=\delta_0/2} = -E \frac{\delta_0}{2} \left( \frac{2j-1}{2} \frac{\pi}{l} \right)^2 w = -E \frac{\delta_0}{2} \left( \frac{2j-1}{2} \frac{\pi}{l} \right) S_1 \chi \varepsilon_k \times$$

$$\times \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{2 \left[ n + \frac{E \delta_0^3}{12} \left( \frac{2j-1}{2} \frac{\pi}{l} \right)^4 \right]} + A(\omega_i) \cos \frac{2\pi i}{T_1} (t - \chi T_1/2 + \varphi_i) \right\}. \quad (25)$$

Для сохранения работоспособности пластины напряжения в ней на резонансных частотах должны оставаться ниже  $\sigma_{\text{доп}}$ .

Резюмируя происходящие процессы, можно отметить, что найденное решение характеризует появление резонансных точек в процессе ударных воздействий при пропитке бетона вязкой массой, что весьма благоприятно сказывается на однородности по глубине пропитки и времени прохождения процесса восстановления основных свойств плиты.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копейкин В. А., Петрова А. П., Рашкован И. Л. Материалы на основе металлофосфатов. М., 1976. С. 88
2. Могилевич Л. И., Попов В. С. Прикладная гидроупругость в машино- и приборостроении. Саратов, 2003. 156 с.
3. Могилевич Л. И., Попов В. С. Динамика взаимодействия упругого цилиндра со слоем вязкой несжимаемой жидкости // Известия РАН. Механика твердого тела. 2004. № 5. С. 179—190.
4. Магнус К. Колебания. М., 1982. 304 с.
1. Kopeykin V. A., Petrova A. P., Rashkovan I. L. Materialy na osnove metallofosfatov. M., 1976. S. 88
2. Mogilevich L. I., Popov V. S. Prikladnaya gidrouprugost' v mashino- i priborostroenii. Saratov, 2003. 156 s.
3. Mogilevich L. I., Popov V. S. Dinamika vzaimodeystviya uprugogo tsilindra so sloem vyazkoy neszhimaemoy zhidkosti // Izvestiya RAN. Mekhanika tverdogo tela. 2004. № 5. S. 179—190.
4. Magnus K. Kolebaniya. M., 1982. 304 s.

© Краюхин В. И., Могилевич Л. И., Попов В. С., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Краюхин В. И., Могилевич Л. И., Попов В. С. Ударный принцип пропитки бетона вязкой массы // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 60—65.

УДК 666.972

**Е. Ю. Миненко, Ю. В. Грачева, О. И. Шлапакова**

### **ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОГО БЕТОНА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

На сегодняшний день в дорожном строительстве, в частности в дорожных покрытиях, возникли проблемы, связанные с технологией получения нового материала, который бы позволил улучшить качество дорожного покрытия. Дисперсное армирование бетона позволяет в большой степени компенсировать главные недостатки — низкую прочность на растяжение и хрупкость разрушения, а также снизить усадку и ползучесть. Применение многоуровневого дисперсного армирования структуры бетона на микро- и макроуровнях с целью повышения трещиностойкости является важной предпосылкой получения бетонов нового поколения с более широкими функциональными возможностями.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** дисперсно-армированный бетон, дорожное строительство, энергетические характеристики.

Today there are some problems in road construction, particularly in road coverings, that are connected with technology of receiving new material which would allow improve the quality of road covering. Disperse reinforcing of concrete allows compensate significantly the main disadvantages — low durability on stretching and fragility of destruction, and also to reduce shrinkage and creep. Application of multilevel disperse reinforcing of concrete structure on micro- and macrolevels in order to increase crack resistance is a very important precondition to create concrete of new generation with more functions.

**К e y w o r d s:** disperse reinforced concrete, road covering, power properties.

В настоящее время возникла потребность в новых материалах в дорожном строительстве, так как в дорожных покрытиях существуют проблемы, связанные с повышением долговечности и водопроницаемости бетона, особенно часто они возникают в подземных переходах, различного рода ограждающих конструкциях, гидротехнических сооружениях и т. д. Вода, фильтруясь через бетон, вызывает разрушение защитного слоя, обнажение арматуры и ее коррозию, что снижает срок эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций. Существующие методы понижения проницаемости бетонных конструкций и изделий, основанные на обработке их поверхностей, сопряжены с увеличением стоимости, трудоемкости и сроков строительства [1].

Дисперсное армирование бетона позволяет в большой степени компенсировать главные недостатки — низкую прочность на растяжение и хрупкость разрушения, а также снизить усадку и ползучесть.

Дисперсно-армированный бетон выгодно отличается от традиционного бетона, имея в несколько раз более высокие, по сравнению с ним, прочность на растяжение и срез, ударную и усталостную прочность, трещиностойкость и вязкость разрушения, морозостойкость, водонепроницаемость, сопротивление кавитации, жаропрочность и жаростойкость. По показателю работы разрушения фибробетон может в 15...20 раз превосходить бетон. Это обеспечивает его высокую технико-экономическую эффективность при применении в строительных конструкциях [2—6].

Применение дисперсно-армированных бетонов в строительстве создает предпосылки для значительного сокращения объемов традиционных арматурных работ, расширяет технологические возможности получения конст-

рукций различного профиля с более высоким уровнем их трещиностойкости, сопротивлением к различным видам силовых воздействий, в том числе к динамическим [3, 4, 7].

Применение дисперсно-армированных бетонов может обеспечить во многих случаях значительный экономический эффект: возможность уменьшения в ряде случаев сечения конструкций при использовании дисперсно-армированных бетонов обеспечивает соответствующее снижение их стоимости, а также расход бетона и стали.

В лаборатории ПГУАС были изучены энергетические характеристики дисперсно-армированного бетона при неравновесных испытаниях.

Трещиностойкость бетонных опытных образцов оценивалась по вязкости разрушения при неравновесных механических испытаниях в соответствии с рекомендациями ГОСТ 29167—91 с помощью метода акустической эмиссии (АЭ).

С этой целью на образцах делали искусственный надрез глубиной 13 мм с помощью алмазной фрезы толщиной 1 мм. Составы фибробетона приведены в табл. 1.

Таблица 1

*Характеристики составов и кинетика набора прочности  
дисперсно-армированного бетона*

| № п/п | Вид наполнителя            | Длина волокна, мм | Дозировка волокна, кг/м <sup>3</sup> | Вид и дозировка СП |      | R <sub>сж</sub> в возрасте, сут |      |      | R <sub>изг</sub> в возрасте 28 сут |
|-------|----------------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------|------|---------------------------------|------|------|------------------------------------|
|       |                            |                   |                                      | С-3                | SMF  | 1                               | 7    | 28   |                                    |
| 1     | —                          | —                 | —                                    | —                  | —    | 18,4                            | 62,4 | 66,6 | 5,5                                |
| 2     | —                          | 6                 | 0,4                                  | 0,32               | 0,48 | 26,0                            | 67,2 | 83,2 | 8,7                                |
| 3     | —                          | 6                 | 1,0                                  | 0,32               | 0,48 | 31,4                            | 68,0 | 89,1 | 7,7                                |
| 4     | —                          | 6                 | 1,6                                  | 0,32               | 0,48 | 25,6                            | 67,4 | 83,8 | 8,0                                |
| 5     | —                          | 12                | 0,4                                  | 0,32               | 0,48 | 25,9                            | 67,4 | 82,9 | 6,4                                |
| 6     | —                          | 12                | 1,0                                  | 0,32               | 0,48 | 26,4                            | 74,0 | 81,3 | 8,0                                |
| 7     | —                          | 12                | 1,6                                  | 0,32               | 0,48 | 23,9                            | 66,0 | 78,8 | 6,2                                |
| 8     | —                          | 18                | 0,4                                  | 0,32               | 0,48 | 18,5                            | 63,1 | 77,5 | 6,7                                |
| 9     | —                          | 18                | 1,0                                  | 0,32               | 0,48 | 20,4                            | 62,0 | 68,7 | 5,1                                |
| 10    | —                          | 18                | 1,6                                  | 0,32               | 0,48 | 18,0                            | 70,0 | 77,2 | 5,1                                |
| 11    | Бой силикатного кирпича-77 | 6                 | 1,0                                  | 0,32               | 0,48 | 33,2                            | 75,5 | 92,2 | 8,8                                |
| 12    | Бой силикатного кирпича-77 | 12                | 1,0                                  | 0,32               | 0,48 | 27,6                            | 81,4 | 96,0 | 8,4                                |

Как следует из данных, приведенных в табл. 1, суточная прочность R<sub>сж</sub> бетона контрольного состава составляла 18,4 МПа, а бетона с полиамидными волокнами увеличивалась в зависимости от длины используемого волокна на 40, 70 и 39 % при длине используемого волокна соответственно 6, 12 и 18 мм.

Максимальная суточная прочность дисперсно-армированного бетона, достигавшая 31,4 МПа, обеспечивалась на волокнах длиной 6 мм при их дозировке 1,0 кг/м<sup>3</sup> бетона.

Однако если к ним добавить минеральный наполнитель, то прочность достигает 33,2 МПа. С увеличением длины используемого волокна свыше 6 мм прочность снижается и составляет 27,6 МПа, превышая в то же время контрольное значение. Выявлено понижение суточной прочности бетона с увеличением длины используемого волокна свыше 6 мм. Прочность бетона с волокнами длиной 12 и 18 мм составляла соответственно 26,4 и 20,4 МПа, превышая в то же время контрольное значение прочности бетона без волокон.

Установленные закономерности сохраняются и при оценке нормативной прочности дисперсно-армированного бетона в возрасте 28 суток. В зависимости от длины волокна нормативная прочность увеличивалась в среднем на 11...13 %. Превышение прочности бетона, армированного волокнами в комплексе с минеральным силикатным кирпичом, составило 38 и 44 %.

Испытания фибробетонных образцов высокопрочного бетона показали, что наличие в их составе полиамидных волокон способствует значительному росту прочности на растяжение при изгибе. Так, для контрольного состава прочность бетона при изгибе составляет 5,5 МПа, а для бетона, армированного волокнами, достигает 8,7 МПа при длине волокна 6 мм, 8,0 МПа — 12 мм и 6,7 МПа — 18 мм, а для бетона, армированного волокнами в комплексе с силикатным кирпичом, достигает 11,2 МПа при длине волокна 6 мм и 11,6 МПа — при 12 мм.

Применение метода АЭ позволяет в реальном масштабе времени оценить интенсивность сигналов и энергию импульсов АЭ. В качестве информативных характеристик АЭ при изучении трещиностойкости приняты следующие параметры: суммарный счет импульсов и суммарная энергия АЭ, критический коэффициент интенсивности напряжения, энергия разрушения (табл. 2).

Таблица 2

*Энергетические характеристики бетона*

| № п/п | Нагрузка $P$ , кН | Прогиб $V$ , мм | Энергетические характеристики разрушения |           |                           |
|-------|-------------------|-----------------|------------------------------------------|-----------|---------------------------|
|       |                   |                 | $K_c^*$ , МПа·м <sup>0,5</sup>           | $A$ , Н·м | $G_b$ , Дж/м <sup>2</sup> |
| 1     | 1,75              | 0,79            | 1,25                                     | 138,3     | 1257,0                    |
| 2     | 2,75              | 0,71            | 1,96                                     | 195,3     | 1775,0                    |
| 3     | 2,53              | 0,86            | 1,80                                     | 217,6     | 1978,0                    |
| 4     | 2,50              | 0,84            | 1,78                                     | 210,0     | 1909,0                    |
| 5     | 2,00              | 0,77            | 1,43                                     | 154,0     | 1400,0                    |
| 6     | 2,50              | 0,84            | 1,78                                     | 210,0     | 1909,0                    |
| 7     | 1,70              | 0,57            | 1,21                                     | 96,9      | 880,9                     |
| 8     | 2,10              | 0,74            | 1,50                                     | 155,4     | 1413,0                    |
| 9     | 1,60              | 0,70            | 1,4                                      | 112,0     | 1018,0                    |
| 10    | 1,60              | 0,59            | 1,14                                     | 94,4      | 858,2                     |
| 11    | 2,76              | 0,80            | 1,57                                     | 147,4     | 1340,0                    |
| 12    | 2,20              | 0,67            | 1,97                                     | 228,0     | 2007,0                    |

Примечание: номера составов приняты в соответствии с табл. 1.

Из представленных результатов исследований акустической эмиссии опытных образцов высокопрочного дисперсно-армированного бетона следует, что дисперсное армирование бетона полиамидными волокнами значительно увеличивает трещиностойкость бетона по сравнению с бетоном контрольного состава. Об этом свидетельствует уменьшение суммарного числа акустических импульсов энергии АЭ (табл. 3).

Таблица 3

*Показатели суммарной энергии АЭ в зависимости от уровней нагружения бетона*

| № п/п | Суммарная энергия АЭ, $B^2 \cdot \text{см}^{-2}$ в зависимости от уровня нагружения $\sigma/R$ |       |       |       |       |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|       | 0,2                                                                                            | 0,4   | 0,6   | 0,8   | 0,97  |
| 1     | 0,035                                                                                          | 0,074 | 0,09  | 0,133 | 0,240 |
| 2     | 0,013                                                                                          | 0,030 | 0,060 | 0,070 | 0,080 |
| 3     | 0,010                                                                                          | 0,015 | 0,055 | 0,073 | 0,110 |
| 4     | 0,039                                                                                          | 0,070 | 0,106 | 0,142 | 0,180 |
| 5     | 0,019                                                                                          | 0,050 | 0,085 | 0,120 | 0,140 |
| 6     | 0,027                                                                                          | 0,059 | 0,097 | 0,109 | 0,185 |
| 7     | 0,006                                                                                          | 0,012 | 0,014 | 0,015 | 0,016 |
| 8     | 0,017                                                                                          | 0,044 | 0,066 | 0,097 | 0,126 |
| 9     | 0,030                                                                                          | 0,066 | 0,105 | 0,155 | 0,186 |
| 10    | 0,008                                                                                          | 0,012 | 0,016 | 0,160 | 0,161 |
| 11    | 0,033                                                                                          | 0,042 | 0,061 | 0,079 | 0,146 |
| 12    | 0,013                                                                                          | 0,030 | 0,069 | 0,185 | 0,227 |

*Примечание:* номера составов приняты в соответствии с табл. 1.

Суммарная плотность энергии АЭ для бетона, армированного волокнами, составляет  $0,08...0,14 B^2 \cdot \text{см}^{-2}$ , а для контрольного бетона без волокон достигает  $0,24 B^2 \cdot \text{см}^{-2}$ .

Если провести зависимости энерговыделения, то с полной уверенностью можно свидетельствовать о пластическом характере разрушения бетонов с полиамидными волокнами, что находится в полном соответствии с численными значениями силового критерия трещиностойкости  $K_c^*$  (см. табл. 2), критическое значение которого дает количественную характеристику сопротивления бетона разрушению. Критический коэффициент интенсивности напряжения  $K_c^*$ , как следует из табл. 2, для высокопрочного бетона, армированного волокнами 6 и 12 мм, достигает максимального значения  $1,9 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$  и  $1,7 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$  соответственно, что свидетельствует о высокой трещиностойкости дисперсно-армированного бетона. Оптимальная концентрация волокна, обеспечивающая максимальное значение  $K_c^*$ , находится в пределах  $0,4...1,0 \text{ кг/м}^3$ . С увеличением концентрации волокна свыше  $1,0 \text{ кг/м}^3$  коэффициент  $K_c^*$  уменьшается в среднем на 1,5 % по отношению к контрольному значению, что свидетельствует о значительной трещиностойкости дисперсно-армированного бетона.

Заключительным этапом исследований явилась оценка комплексного влияния дисперсного армирования бетона на двух уровнях:

- 1) микроуровне (уровне цементного камня) ультрадисперсным наполнителем — автоклавируемый отход — бой силикатного кирпича;
- 2) макроуровне (уровне бетона) полиамидными волокнами.

При этом содержание боя силикатного кирпича принималось  $77 \text{ кг/м}^3$ , а СП С-3 в комплексной ОМД достигало 1,0 % от расхода цемента. Дозировка полиамидного волокна составила  $1,0 \text{ кг/м}^3$ .

Из представленных результатов исследований акустической эмиссии опытных образцов высокопрочного фибробетона (см. табл. 2, 3) следует, что дисперсное армирование бетона полиамидными волокнами значительно увеличивает трещиностойкость бетона по сравнению с бетоном контрольного состава. Для дисперсно-армированного бетона критический коэффициент интенсивности напряжения составляет  $K_c^* = 1,97 \text{ кг/м}$ , а суммарная плотность энергии АЭ —  $0,22 \text{ В}^2 \cdot \text{см}^{-2}$ .

Таким образом, комплексное дисперсное армирование бетона ультрадисперсным наполнителем на микроуровне и армирующими полиамидными волокнами на макроуровне является эффективным средством повышения его прочности и трещиностойкости. Поэтому применение многоуровневого дисперсного армирования структуры бетона на микро- и макроуровнях с целью повышения трещиностойкости является важной предпосылкой получения бетонов нового поколения с более широкими функциональными возможностями.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. М. : Гостехтеоретиздат, 1952. 206 с.
2. Александровский С. В. К итогам Международного симпозиума по усадке бетонов // Бетон и железобетон. 1968. № 11. С. 8—9.
3. Буркасов Б. В. Бетоны, наполненные модифицированными шлаками : автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1996. 20 с.
4. Ли Ф. Химия цемента и бетона. М. : Высш. шк., 1959. 335 с.
5. Лыков А. В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М. : Гостехтеориздат, 1954. 284 с.
6. Мощанский Н. А. Плотность и стойкость бетонов. М. : Госстройиздат, 1951. С. 420.
7. Демьянова В. С., Калашников В. И., Миненко Е. Ю. Армирование бетона полиамидными волокнами // Пластические массы. 2003. № 3. С. 44—45.
1. Arutyunyan N. Kh. Nekotorye voprosy teorii polzuchesti. M. : Gostekhteorizdat, 1952. 206 s.
2. Aleksandrovskiy S. V. K itogam Mezhdunarodnogo simpoziuma po usadke betonov // Beton i zhelezobeton. 1968. № 11. S. 8—9.
3. Burkasov B. V. Betony, napolnennye modifitsirovannymi shlakami : avtoref. dis... kand. tekh. nauk. M., 1996. 20 s.
4. Li F. Khimiya tsementa i betona. M. : Vyssh. shk., 1959. 335 s.
5. Lykov A. V. Yavleniya perenosa v kapillyarno-poristyykh telakh. M. : Gostekhteorizdat, 1954. 284 s.
6. Moshchanskiy N. A. Plotnost' i stoykost' betonov. M. : Gosstroyizdat, 1951. S. 420.
7. Dem'yanova V. S., Kalashnikov V. I., Minenko E. Yu. Armirovanie betona poliamidnymi voloknami // Plasticheskie massy. 2003. № 3. S. 44—45.

© Миненко Е. Ю., Грачева Ю. В., Шлапакова О. И., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Миненко Е. Ю., Грачева Ю. В., Шлапакова О. И. Оценка энергетических характеристик дисперсно-армированного бетона в дорожном строительстве // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 66—70.

УДК 691.175.2

**А. О. Проскурякова, А. Д. Корнеев, Г. А. Шаталов**

### **СЭНДВИЧ-ПАНЕЛИ С УТЕПЛИТЕЛЕМ ИЗ НАПОЛНЕННОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Рассматривается вопрос применения наполненного пенополиуретана в качестве теплоизоляционного слоя в сэндвич-панелях. Данные панели обладают улучшенными прочностными характеристиками по сравнению с трехслойными панелями с утеплителем без наполнителя.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** пенополиуретан, отходы металлургического производства, микрокремнезем, силикагель, конвертерный шлак.

The issue of appliance of the filled polyurethane foam as heat retaining layer in sandwich panels is considered in the article. These panels possess improved strength characteristics in comparison with three-layer panels with a heater retainer without a filler.

**Key words:** polyurethane foam, waste of metallurgical production, microsilica, silica gel, converter slag.

Применение сэндвич-панелей при строительстве малоэтажных жилых зданий (рис.) позволяет в значительной степени сократить сроки строительства, а также снизить стоимость здания. При этом наиболее эффективным является использование пенополиуретана в качестве теплоизоляционного слоя. Несмотря на превосходные теплоизоляционные характеристики, пенополиуретан обладает существенным недостатком — горючестью. Поэтому в настоящее время ведется множество исследований в области снижения горючести пенополиуретанов, а также применения различных огнезащитных экранов и покрытий для уже готовых сэндвич-панелей.



Строительство одноэтажного жилого дома при помощи сэндвич-панелей

Введение в пенопласт недорогого негорючего наполнителя позволяет снизить расход дорогостоящих полимерных компонентов и повысить эксплуатационные характеристики пенополиуретанов. Так, например, введение микрокремнезема, силикагеля и конвертерного шлака позволяет повысить огнестойкость пенополиуретана. Кроме того, повышается его прочность, что, в свою очередь, положительно влияет на прочностные характеристики сэндвич-панели в целом.

В качестве наполнителей использовались микрокремнезем, силикагель и конвертерный шлак. Наполнитель микрокремнезем представляет собой отход выплавки ферросилиция и его сплавов. После окисления и конденсации некоторая часть монооксида кремния образует чрезвычайно мелкий продукт в виде шарообразных частиц с высоким содержанием аморфного кремнезема. Химический состав микрокремнезема представлен следующими оксидами, %:  $\text{SiO}_2$  — 90...92;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 0,68;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 0,69;  $\text{CaO}$  — 0,85;  $\text{MgO}$  — 1,01;  $\text{Na}_2\text{O}$  — 0,61;  $\text{K}_2\text{O}$  — 1,23;  $\text{C}$  — 0,98;  $\text{S}$  — 0,26. Плотность микрокремнезема в неуплотненном состоянии составляет 130...350 кг/м<sup>3</sup>, в уплотненном — 480...720 кг/м<sup>3</sup>, а при нахождении материала в виде суспензии — 1320...1440 кг/м<sup>3</sup>. При этом в зависимости от дисперсности и степени уплотненности данный отход может обладать площадью поверхности, определяемой по воздухопроницаемости, от 13 000 до 30 000 м<sup>2</sup>/кг [1].

Силикагель представляет собой высушенный гель, образующийся из перенасыщенных растворов кремниевых кислот ( $n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ) при  $\text{pH} > 5$ —6. Он получается при подкислении растворов силикатов щелочных металлов с последующей промывкой и высушиванием образовавшегося геля. Для наполнения пенополиуретана использовался силикагель в виде шаровидных гранул размером до 2,5 мм с удельной поверхностью 102...103 м<sup>2</sup>/г.

Конвертерный шлак представляет собой отход сталеплавильного производства, имеющий цвет от темно-серого до черного и пористую структуру. Химический состав конвертерного шлака колеблется в довольно широких пределах:  $\text{FeO}$  — 8,0...21,1;  $\text{SiO}_2$  — 12,7...17,0;  $\text{CaO}$  — 40,0...54,2;  $\text{MgO}$  — 1,9...12,6;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 1,7...8,3;  $\text{MnO}$  — 0,5...2,6;  $\text{SO}_2$  — 0,03...0,19;  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 0,06...0,94. Для наполнения пенополиуретана применяли отсеивы от переработки отвалных конвертерных шлаков фракции 0...5 мм [1].

В ходе исследования была проведена серия экспериментов для определения физико-механических свойств пенополиуретана, не содержащего в своем составе наполнителей. Изготавливались образцы пенополиуретана с различным содержанием наполнителей. Наполнитель вводился в полиизоциант, и после тщательного перемешивания производилось смешение с полиольным компонентом. В результате испытаний образцов получены следующие данные (табл. 1).

Максимальное наполнение пенополиуретана, используемого в качестве утеплителя сэндвич-панелей, было ограничено средней плотностью около 43 гк/м<sup>3</sup>, чтобы панель в целом оставалась достаточно легкой, и составило 30 %.

Что же касается горючести полученных пенополиуретанов, то была использована нестандартная методика ее определения, для того чтобы иметь возможность испытания образцов непосредственно в лаборатории кафедры строительных материалов. Для этого были изготовлены образцы пенополи-



уретана размером  $40 \times 40 \times 40$  мм. Под воздействием открытого пламени происходило возгорание образцов. Но после отключения источника пламени образцы самозатухали. При этом время горения снижалось с 45,3 до 29,6 с для образцов с микрокремнеземом при увеличении количества наполнителя с 0 до 30 %. Образцы с силикагелем при воздействии с пламенем покрывались негорючей и неплавкой коркой, которая препятствовала дальнейшему горению. Время самозатухания образцов пенополиуретана с конвертерным шлаком снизилось до 30,3 с [2].

Таблица 1

*Физико-механические характеристики наполненных пенополиуретанов*

| Содержание наполнителя, % | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Прочность при 10 % деформации, МПа | Коэффициент конструктивного качества | Водопоглощение по объему, % | Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С |
|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Без наполнителя           |                                      |                                    |                                      |                             |                                       |
| 0                         | 33,93                                | 0,100                              | 0,298                                | 3,70                        | 0,018                                 |
| Микрокремнезем            |                                      |                                    |                                      |                             |                                       |
| 5                         | 34,70                                | 0,132                              | 0,380                                | 3,57                        | 0,018                                 |
| 10                        | 35,90                                | 0,175                              | 0,488                                | 2,42                        | 0,019                                 |
| 15                        | 37,07                                | 0,198                              | 0,534                                | 2,40                        | 0,021                                 |
| 20                        | 38,32                                | 0,227                              | 0,593                                | 2,20                        | 0,022                                 |
| 25                        | 40,36                                | 0,261                              | 0,647                                | 1,75                        | 0,024                                 |
| 30                        | 43,01                                | 0,286                              | 0,665                                | 1,67                        | 0,026                                 |
| Силикагель                |                                      |                                    |                                      |                             |                                       |
| 5                         | 34,45                                | 0,126                              | 0,366                                | 3,62                        | 0,018                                 |
| 10                        | 35,51                                | 0,160                              | 0,451                                | 2,73                        | 0,019                                 |
| 15                        | 36,76                                | 0,204                              | 0,555                                | 2,51                        | 0,020                                 |
| 20                        | 38,82                                | 0,236                              | 0,608                                | 2,15                        | 0,021                                 |
| 25                        | 40,86                                | 0,266                              | 0,651                                | 1,83                        | 0,023                                 |
| 30                        | 42,75                                | 0,280                              | 0,655                                | 1,74                        | 0,024                                 |
| Конвертерный шлак         |                                      |                                    |                                      |                             |                                       |
| 5                         | 34,41                                | 0,136                              | 0,394                                | 3,61                        | 0,019                                 |
| 10                        | 35,52                                | 0,181                              | 0,510                                | 2,53                        | 0,021                                 |
| 15                        | 36,70                                | 0,210                              | 0,572                                | 2,45                        | 0,022                                 |
| 20                        | 38,09                                | 0,227                              | 0,607                                | 2,17                        | 0,024                                 |
| 25                        | 40,62                                | 0,231                              | 0,653                                | 1,79                        | 0,026                                 |
| 30                        | 42,59                                | 0,293                              | 0,688                                | 1,71                        | 0,028                                 |

Для определения фактической несущей способности сэндвич-панелей с утеплителем из пенополиуретана (с наполнителями и без них) панели устанавливали на опоры, в соответствии с рабочим положением, в качестве панели перекрытия в конструкции здания. В качестве нагрузки использовались образцы-кубы тяжелого бетона, которые укладывали по всей поверхности плиты в несколько рядов. Нагрузка увеличивалась поэтапно, сначала выкладывался первый ряд, производилась выдержка не менее 15 мин с последующим снятием показаний приборов. Затем выкладывался второй ряд, снимались показания приборов (индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм) и т. д.

Испытание прекращалось при достижении предельного прогиба, который равен  $f_u = l / 150 = 18,67$  мм (СНиП 2.01.07—85\* «Нагрузки и воздействия», табл. 19), и фиксировалась критическая нагрузка. При этом нормативное значение равномерно распределенной временной нагрузки на плиты перекрытий составляет  $P = 1,5$  кПа (150 кгс/м<sup>2</sup>) (СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия», табл. 3). Результаты испытаний сведены в табл. 2.

Таблица 2

*Нагружение трехслойных панелей при испытании кратковременной нагрузкой*

| № эта-<br>па | Нагрузка |                       | Прогиб, мм                                                  |                          |                     |                             |
|--------------|----------|-----------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------|
|              | Q, кгс   | P, кгс/м <sup>2</sup> | Сэндвич-панель с теплоизоляционным слоем из пенополиуретана |                          |                     |                             |
|              |          |                       | тип 1 без наполнителя                                       | тип 2 с микрокремнеземом | тип 3 с силикагелем | тип 4 с конвертерным шлаком |
| 1            | 300,0    | 85,7                  | —                                                           | —                        | —                   | —                           |
| 2            | 600,0    | 171,4                 | —                                                           | —                        | —                   | —                           |
| 3            | 900,0    | 257,1                 | 0,82                                                        | 0,02                     | 0,04                | 0,03                        |
| 4            | 1200,0   | 342,9                 | 2,43                                                        | 0,45                     | 0,65                | 0,56                        |
| 5            | 1500,0   | 428,6                 | 3,35                                                        | 0,69                     | 0,93                | 0,74                        |
| 6            | 1800,0   | 514,3                 | 5,46                                                        | 2,67                     | 3,12                | 2,96                        |
| 7            | 2100,0   | 600,0                 | 10,24                                                       | 3,56                     | 5,17                | 4,89                        |
| 8            | 2400,0   | 685,7                 | 16,00                                                       | 9,71                     | 11,49               | 10,54                       |
| 9            | 2700,0   | 771,4                 | 18,71                                                       | 15,26                    | 18,53               | 17,34                       |
| 10           | 3000,0   | 857,1                 | —                                                           | 18,71                    | 19,78               | 19,02                       |

Таким образом, панели с утеплителем из наполненного пенополиуретана выдержали нагрузку 2700 кгс (771,4 кг/м<sup>2</sup>), в то время как панель с сердечником из ненаполненного пенополиуретана — 2400 кгс (685,7 кг/м<sup>2</sup>). При этом нормативное значение равномерно распределенной временной нагрузки на плиты перекрытий для квартир жилых зданий составляет  $P = 1,5$  кПа (150 кгс/м<sup>2</sup>) (СНиП 2.01.07—85\* «Нагрузки и воздействия», табл. 3).

По результатам испытания можно сделать следующий вывод: опытные образцы сэндвич-панели с утеплителями из наполненного пенополиуретана обладают прочностными характеристиками, достаточными для использования в качестве панелей перекрытий в строительстве малоэтажных жилых домов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копейкин А. В. Мелкозернистые композиционные материалы на основе вяжущих из отходов металлургической промышленности : автореф. дис... канд. техн. наук. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010. 22 с.
2. Корнеев А. Д., Проскурякова А. О. Оптимизация жесткого пенополиуретана путем введения в его составы ультрадисперсных наполнителей // V Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные вопросы строительства» 69 НТК НГАСУ (Сибстрин), 2012.

1. *Kopeykin A. V.* Melkozernistye kompozitsionnye materialy na osnove vyazhushchikh iz otkhodov metallurgicheskoy promyshlennosti : avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. Volgograd : VolgGASU, 2010. 22 s.

2. *Korneev A. D., Proskuryakova A. O.* Optimizatsiya zhestkogo penopoliuretana putem vvedeniya v ego sostavy ul'tradispersnykh napolniteley // V Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Aktual'nye voprosy stroitel'stva» 69 NTK NGASU (Sibstrin), 2012.

© *Проскурякова А. О., Корнеев А. Д., Шаталов Г. А., 2013*

*Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Проскурякова А. О., Корнеев А. Д., Шаталов Г. А.* Сэндвич-панели с утеплителем из наполненного пенополиуретана для малоэтажного строительства // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стро-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 71—75.

УДК 624.011.78

**А. В. Чесноков**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ФРАГМЕНТОВ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК**

Рассматриваются фрагменты пневматических оболочек, прямоугольные в плане, выполненные из пленочного материала ЭТФЭ. Предлагаются функциональные зависимости, описывающие поверхность, подверженную действию симметричных и несимметричных нагрузок. Результаты работы следует использовать при оценке изменения жесткостей материала оболочки, воспринимающей нагрузки, при учете температурных воздействий, а также для анализа работы пневматических оболочек, состоящих из нескольких воздушных камер.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** воздушнонаполненные оболочки, пневмоэлементы, пленки ЭТФЭ, форма поверхности, внешние нагрузки.

Fragments of pneumatic shells rectangular in the plan, made of film material ETFE are considered. Functional dependences describing the surface that is subject to the effect of symmetrical and asymmetrical loads are offered. The obtained results should be used at assessment of change of material shell rigidity perceiving loads, at the accounting of temperature influences, and also for the analysis of pneumatic shells performance, which consist of several air cameras.

**Key words:** the air-filled shells, pneumatic elements, ETFE films, surface form, external loads.

Пневматические оболочки, состоящие из ряда воздушнонаполненных камер, находят применение на практике в качестве элементов покрытий, а также фасадных систем зданий и сооружений различного назначения.

Материалом пневмооболочек могут служить полимерные пленки, производимые из ЭТФЭ (этилен-тетра-фтор-этилен, ETFE), либо полотнища тента. Последние также широко применяются в однослойных или механически напрягаемых системах, зачастую ограниченных временными сооружениями, имеющими сезонный характер по причине низких тепло- и звукоизолирующих свойств.

Многослойные пневматические оболочки позволяют значительно сократить затраты на отопление здания, так как воздух, содержащийся в их замкнутых полостях, служит эффективным теплоизолятором, а сама оболочка является практически непрозрачной для теплового инфракрасного излучения от объектов внутри здания [1].

По сравнению с тентовыми материалами, состоящими из плетеной основы и полимерного покрытия, пленки ЭТФЭ имеют следующие особенности:

- 1) гладкая поверхность пленки не позволяет скапливаться пыли и грязи;
- 2) высокая светопрозрачность, достигающая 97 % для видимого света [2];
- 3) стойкость к воздействию ультрафиолета и химическая инертность. В результате срок службы пленок ЭТФЭ выше, чем у тентовых материалов;
- 4) значительно меньшие жесткостные характеристики, существенно изменяющиеся под действием внешних нагрузок и температурных воздействий.

Все перечисленные особенности полимерных пленок, за исключением последней, можно отнести к их несомненным преимуществам. Вместе с тем, пониженную жесткость пленок нельзя относить к очевидным недостаткам.

Оболочки из тентовых материалов изготавливаются путем соединения отдельных полос тента между собой [3]. Чем больше таких полос, тем точнее натурная поверхность будет соответствовать своей расчетной схеме. Вместе с тем, большое количество швов в оболочке ухудшает ее внешний вид и изменяет характер работы. При изготовлении пневматических элементов, размеры которых не значительны и сопоставимы с шириной рулонных материалов, данная проблема выходит на первый план.

В отличие от тентовых, пленочные оболочки, обладающие малыми жесткостями, могут изготавливаться способом, который позволяет избежать наличия швов на поверхности отдельных фрагментов. Способ заключается в закреплении как минимум двух полимерных пленок на плоской жесткой рамке с последующим заполнением полости между ними воздухом при повышенном давлении. Полимерные пленки, деформируясь, образуют выпуклую поверхность оболочки. Помимо улучшения облика здания, трудоемкость изготовления сокращается из-за уменьшения числа соединений.

Форма поверхности пневматической оболочки находится в тесной взаимосвязи с внутренними напряжениями и внешними нагрузками:

в соответствии с [4] равновесное состояние каждой точки поверхности подчиняется системе дифференциальных уравнений (1);

внутреннее избыточное давление воздуха внутри пневматической оболочки должно быть направлено перпендикулярно к поверхности;

под действием внешних нагрузок исходная форма поверхности изменяется. Это приводит к изменению объема и, как следствие, давления воздуха внутри пневматического элемента.

$$\begin{aligned} \frac{d\left(\sigma_x \frac{\sqrt{1+Z_y^2}}{\sqrt{1+Z_x^2}}\right)}{dx} + \frac{d(\sigma_{xy})}{dy} + p_x \sqrt{1+Z_x^2+Z_y^2} &= 0; \\ \frac{d(\sigma_{xy})}{dx} + \frac{d\left(\sigma_y \frac{\sqrt{1+Z_x^2}}{\sqrt{1+Z_y^2}}\right)}{dy} + p_y \sqrt{1+Z_x^2+Z_y^2} &= 0; \\ Z_{xx}\sigma_x \frac{\sqrt{1+Z_y^2}}{\sqrt{1+Z_x^2}} + Z_{yy}\sigma_y \frac{\sqrt{1+Z_x^2}}{\sqrt{1+Z_y^2}} + 2Z_{xy}\sigma_{xy} + \\ + (p_z - p_x Z_x - p_y Z_y) \sqrt{1+Z_x^2+Z_y^2} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $Z = Z(x, y)$  — функция, описывающая поверхность фрагмента оболочки; плоскость  $(XOY)$  совпадает с плоскостью опорного контура рассматриваемого фрагмента;  $Z_x, Z_y, Z_{xx}, Z_{yy}, Z_{xy}$  — частные производные;  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$  — нормальные и касательные напряжения на границах бесконечно малого элемента, вырезаемого из поверхности оболочки плоскостями, параллельными плоскостям  $(XOZ)$  и  $(YOZ)$ ;  $p_x, p_y, p_z$  — нагрузки, включая внутреннее избыточное давление.

Таким образом, для решения системы (1) и определения напряжений  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{xy}$ , а также для правильного приложения нагрузок от давления воздуха в процессе статического расчета оболочки необходимо определить форму ее поверхности в деформированном состоянии.

Исследования показали, что вертикальные сечения, лежащие в плоскостях ( $XOZ$ ) и ( $YOZ$ ) оболочки, подверженной действию симметричных нагрузок, близки к очертанию так называемых «цепных линий», т. е. кривых, имеющих форму гибкой нити одинакового по длине веса, закрепленной за две опоры, находящиеся в одной горизонтальной плоскости.

В работе [5] для упрощенного описания подобных кривых предлагается использовать квадратные параболы (2), а для уточненных расчетов — косинусы гиперболические, принятые в настоящей работе в виде (3). За начало координат принята точка, совпадающая с центром прямоугольного опорного контура фрагмента оболочки. Оси  $X$  и  $Y$  направлены вдоль большей и меньшей сторон контура соответственно (рис. 1).

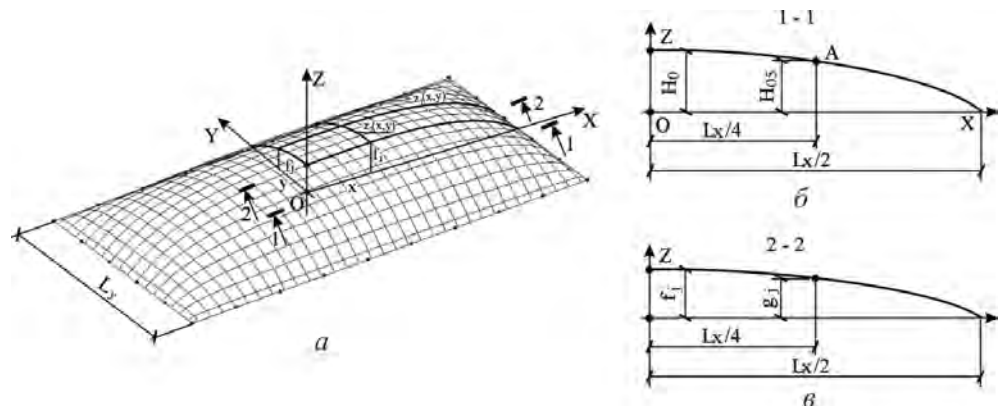


Рис. 1. Фрагмент пневматической оболочки (условно показана только верхняя часть, обозначены координатные оси):  $a$  — аксонометрическая схема;  $b$ ,  $v$  — разрезы

$$Z_{\text{parab}}(\alpha) = f \left( 1 - \frac{4\alpha^2}{L_\alpha^2} \right), \quad (2)$$

где  $\alpha$  — координата вдоль оси  $X$  или  $Y$ ;  $L_\alpha$  — длина опорного контура фрагмента оболочки вдоль оси  $X$  или  $Y$ ;  $f$  — высота сечения фрагмента оболочки.

$$Z_{\text{ch}}(\alpha) = \frac{e^{\alpha U_3} + e^{-\alpha U_3}}{2} U_1 + U_2, \quad (3)$$

где параметры  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  вычисляются по формулам:

$$U_1 = \frac{-2\tau}{(\tau-1)^2} f, \quad (4)$$

$$U_2 = \frac{\tau^2 + 1}{(\tau-1)^2} f, \quad (5)$$

$$U_3 = 2 \frac{\ln(\tau)}{L_\alpha}, \quad (6)$$

при

$$\tau = \left[ \frac{2g - f + \sqrt{f(4g - 3f)}}{2(f - g)} \right]^2, \quad (7)$$

где  $g$  — высота сечения оболочки на расстоянии  $L_\alpha/4$  от начала координат.

Сравнение графиков, построенных по (2) и (3), с кривыми, полученными в результате статического расчета фрагмента оболочки в лицензированном программном комплексе EASY 8.3 с учетом изменения жесткости материала, подверженного нагрузке, приведено на рис. 2.

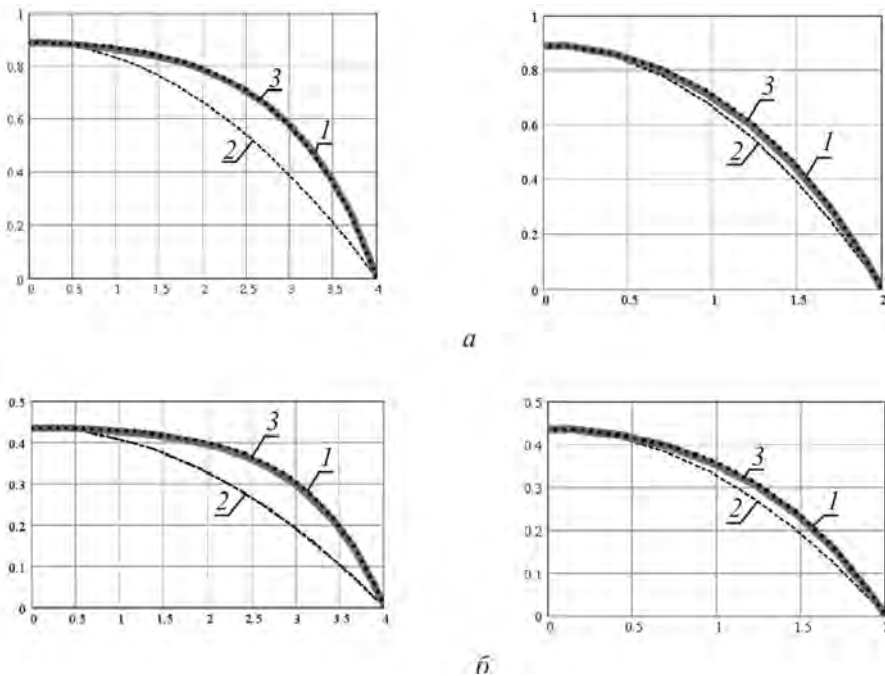


Рис. 2. Сравнение сечений фрагмента пневматической оболочки размером  $8 \times 4$  м: *a* — оболочка подвержена внутреннему давлению 2 кПа; *б* — оболочка подвержена внутреннему давлению 2 кПа и равномерно распределенной снеговой нагрузке 1,26 кПа; слева — сечение в плоскости (XOZ), справа — в плоскости (YOZ); 1 — кривая, полученная в программном комплексе EASY 8.3; 2 — кривая, полученная по (2); 3 — кривая, полученная по (3)

Из рис. 2 можно сделать вывод, что графики, построенные по (3), практически полностью повторяют эталонные кривые, полученные в результате статического расчета в программном комплексе EASY 8.3. Вместе с тем, функция (3) требует дополнительного параметра  $g$ , который должен быть определен из условия равновесия оболочки. Таким образом, поверхность оболочки задается двумя семействами кривых: вдоль оси  $X$  следует использовать функцию (3), а вдоль оси  $Y$  — функцию (2), дающую незначительную погрешность, но более простую в применении.

На основе (2) и (7) получена формула (8), из которой следует, что при заданных высотах  $H_0$  и  $H_{05}$  параметр  $\tau$ , используемый для расчета коэффициентов функции (3), является постоянным для всей поверхности фрагмента оболочки.

$$\tau = \left[ \frac{2H_{05} - H_0 + \sqrt{H_0(4H_{05} - 3H_0)}}{2(H_{05} - H_0)} \right]^2, \quad (8)$$

где  $H_0$  — высота фрагмента оболочки в центре;  $H_{05}$  — высота фрагмента оболочки на расстоянии  $L_x/4$  от начала координат вдоль оси  $X$  (см. рис. 1).

Функция, описывающая поверхность фрагмента оболочки, подверженно-го действию симметричных нагрузок:

$$Z(x, y) = Q(x) \left( 1 - \frac{4y^2}{L_y^2} \right), \quad (9)$$

где

$$Q(x) = \frac{\tau^2 - \tau(e^{xU_3} + e^{-xU_3}) + 1}{(\tau - 1)^2} H_0. \quad (10)$$

Несимметричную нагрузку, действующую на фрагмент пневматической оболочки, можно представить в виде суммы симметричной и обратно симметричной нагрузок [5] (рис. 3). Для расчета на действие симметричной части внешних нагрузок (т. е. на нагрузку  $g + s/2$  по рис. 3) используется (9).

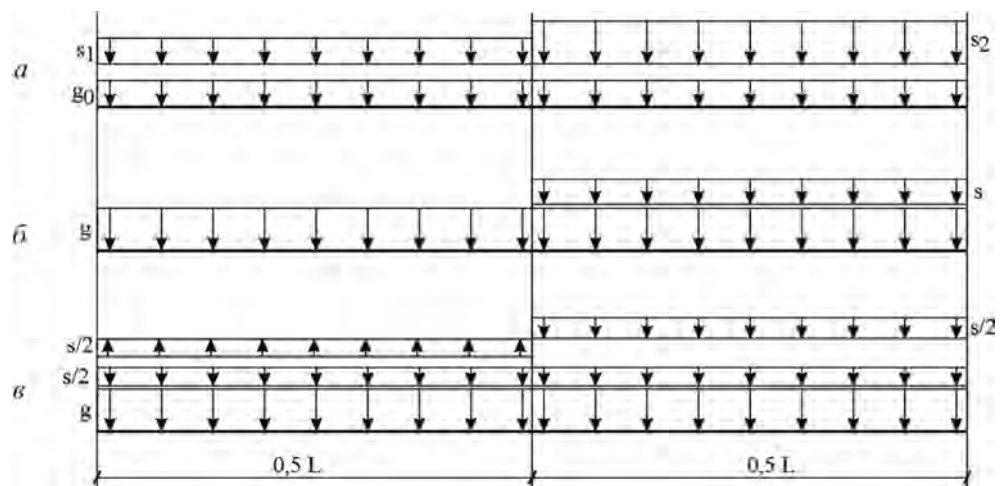


Рис. 3. Приведение внешних нагрузок, действующих на пневматическую оболочку, к сумме симметричной и обратно симметричной:  $a$  — заданные внешние нагрузки;  $б$  — нагрузки, приведенные к сумме равномерного нагружения по всему пролету  $g$  и нагружения половины пролета  $s$ ;  $в$  — нагрузка  $s$  представлена в виде суммы симметричного и обратно симметричного нагружения интенсивностью  $s/2$



Под воздействием обратно симметричного нагружения средняя часть пролета практически не меняет своего местоположения, а поверхность оболочки деформируется по закону синуса (рис. 4):

$$f_{\sin}(\alpha) = V_0 \sin(V_1 \alpha), \quad (11)$$

где  $V_0$  — высота кривой на расстоянии  $L_\alpha/4$  от начала координат.

$$V_1 = 2\pi / L_\alpha, \quad (12)$$

обозначения — к формуле (2).

На рис. 4 приведены графики перемещений узлов поверхности под действием обратно симметричной нагрузки. Расчеты производились в программном комплексе EASY 8.3. Было рассмотрено два варианта распределения обратно симметричной нагрузки: вдоль оси  $X$  и вдоль оси  $Y$ .

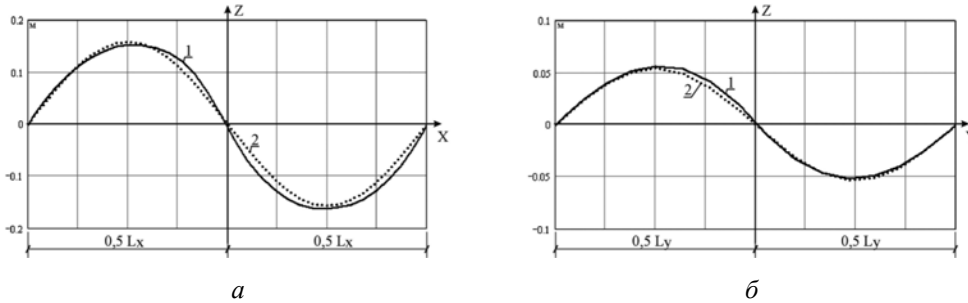


Рис. 4. Деформирование поверхности оболочки под действием обратно симметричной нагрузки:  $a$  — сечение оболочки в плоскости ( $XOZ$ ),  $b$  — сечение в плоскости ( $YOZ$ ); 1 — кривая, полученная в программном комплексе EASY 8.3; 2 — кривая, полученная по (11)

Очертание поверхности оболочки, подверженной действию несимметричной нагрузки (см. рис. 3,  $a$ ), может быть получено суммированием эффектов от воздействия симметричной и обратно симметричной составляющих нагружения (рис. 3,  $b$ ), вычисленных по отдельности:

$$Z_\Sigma = Z_{\text{sim}} + \delta Z, \quad (13)$$

где  $Z_{\text{sim}}$  — координаты, полученные по (9) для симметричной части нагрузки;  $\delta Z$  — изменение координат поверхности от действия обратно-симметричной нагрузки.

Исходя из (13) были получены функции, описывающие поверхность фрагмента оболочки, подверженного действию несимметричных нагрузок:

при распределении обратно симметричной нагрузки вдоль оси  $X$  — формула (14);

при распределении обратно симметричной нагрузки вдоль оси  $Y$  — формула (15).

$$Z(x, y) = \left( Q(x) + V_0 \sin\left(\frac{2\pi}{L_x} x\right) \right) \left( 1 - \frac{4y^2}{L_y^2} \right), \quad (14)$$

$$Z(x, y) = \left( 1 - \frac{4y^2}{L_y^2} + \frac{V_0}{H_0} \sin \left( \frac{2\pi}{L_y} y \right) \right) Q(x). \quad (15)$$

Координаты точек, вычисленные по (9), (14) и (15), на большей части поверхности совпадают с координатами, полученными в программном комплексе EASY 8.3. Незначительные отклонения наблюдаются у опор в зоне сопряжения криволинейной поверхности с прямолинейными гранями. Данные отклонения носят локальный характер и не повлияют на результаты решения задач с использованием данных зависимостей.

Функции (9), (14) и (15) содержат параметры  $H_0$ ,  $H_{05}$  и  $V_0$ , которые в данной работе принимались по графикам, полученным в результате расчета в программном комплексе EASY 8.3. Задача последующих исследований заключается в определении данных параметров исходя из условий равновесия фрагмента оболочки, с учетом жесткостных характеристик материала.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Несимметричную нагрузку, действующую на фрагмент пневматической оболочки, можно представить в виде суммы симметричного и обратно симметричного нагружения.

2. При воздействии внешних симметричных нагрузок вертикальные сечения оболочки, лежащие в плоскостях, параллельных большей стороне опорного контура, описываются функцией (3), а сечения, лежащие в плоскостях, параллельных меньшей стороне опорного контура, описываются функцией (2).

3. Под воздействием обратно симметричного нагружения поверхность оболочки деформируется по закону синуса (11).

4. Получены уравнения поверхности (14) и (15) фрагмента пневмооболочки, подверженного действию несимметричных внешних нагрузок. Данные уравнения включают частный случай симметричного нагружения при  $V_0 = 0$ .

Результаты работы следует использовать при анализе напряженно-деформированного состояния пневматических оболочек с учетом изменения жесткостей материала, подверженного нагрузке и температурным воздействиям, а также для анализа работы пневматических оболочек, состоящих из одной или нескольких воздушных камер.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Forster B., Mollaert M. European design guide for tensile surface structures. Brussel : Tensi-Net, 2004. 354 p.
2. Robinson L. A. Structural opportunities of ETFE (ethylene tetra fluoro ethylene) // Massachusetts Institute of Technology. 2004. 66 p.
3. Чесноков А. В. Проектирование тентовой оболочки // Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве и архитектуре: сб. стат. международной конф. Липецк : ЛГТУ, 2009. С. 130—134.
4. Отто Ф., Тростель Р. Пневматические строительные конструкции. Конструирование и расчет сооружений из тросов, сеток и мембран. М. : Изд-во лит-ры по строительству, 1967. 320 с.
5. Металлические конструкции. Специальный курс / Е. И. Беленя, Н. Н. Стрелецкий, Г. С. Ведеников, Л. В. Клепиков, Т. Н. Морачевский ; под ред. Е. И. Беленя. Изд. 3-е, перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1991. 687 с.

1. *Forster B., Mollaert M.* European design guide for tensile surface structures. Brussel : Tensi-Net, 2004. 354 p.
2. *Robinson L. A.* Structural opportunities of ETFE (ethylene tetra fluoro ethylene) // Massachusetts Institute of Technology. 2004. 66 p.
3. *Chesnokov A. V.* Proektirovanie tentovoy obolochki // Effektivnye konstruksii, materialy i tekhnologii v stroitel'stve i arkhitekture: sb. stat. mezhdunarodnoy konf. Lipetsk : LGTU, 2009. S. 130—134.
4. *Otto F., Trostel' R.* Pnevmaticheskie stroitel'nye konstruksii. Konstruirovaniye i raschet sooruzheniy iz trosov, setok i membran. M. : Izd-vo lit-ry po stroitel'stvu, 1967. 320 s.
5. Metallicheskie konstruksii. Spetsial'nyy kurs / E. I. Belenya, N. N. Streletskiy, G. S. Vedenikov, L. V. Klepikov, T. N. Morachevskiy ; pod red. E. I. Belenya. Izd. 3-e, pererab. I dop. M. : Stroyizdat, 1991. 687 s.

© Чесноков А. В., 2013

*Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Чесноков А. В.* Исследование формы поверхности фрагментов пневматических оболочек // Вестник Волгogr. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 76—83.

УДК 624.01

**И. Дж. Эюбов**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ КАРКАСНОЙ ЯЧЕЙКИ С КАМЕННЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ**

Приведены результаты исследований несущей способности каркасной ячейки с каменным заполнителем под воздействием горизонтальных и вертикальных нагрузок. В качестве материала для каменной кладки использованы известняковые камни размером  $300 \times 300 \times 130$  мм. Доказывается, что в плоскости каркасной ячейки, расположенной в опасных местах стены, определение величин напряжения численным методом более рационально, чем другими методами.

**Ключевые слова:** кладка, стена, каркас, камень, заполнитель, ячейка, прочность, устойчивость, конструкция.

The results of researches of bearing capacity of a frame box with stone filler under the influence of horizontal and vertical loadings are provided. Lime stones  $300 \times 300 \times 130$  mm in size are used as material for stonework. It is proved that in the planes of a frame box, located in dangerous areas of a wall, determination of intensity of stress by a numerical method is more efficiently than by other methods.

**Key words:** stonework, wall, frame, stone, filler, box, strength, stability, construction.

С древнейших времен на Апшеронском полуострове используются известняковые камни и блоки правильной формы для кладки стен домов и других конструкций. Современные пиленные стеновые камни изготавливаются размером  $390 \times 190 \times 188$  мм. В литературе [1, 2] приведены исследования механических свойств, а также основные принципы использования этих камней как материала кладки для заполнения каркасных ячеек в железобетонных каркасных зданиях.

С целью рационального использования природных месторождений известняка на Апшеронском полуострове, уменьшения веса зданий и сейсмических сил, воздействующих на здания и сооружения, в Азербайджане предложено производство камней размерами  $300 \times 300 \times 130$  мм [3, 4]. Для определения прочности на центральное сжатие из камня размером  $300 \times 300 \times 130$  мм были изготовлены образцы размером  $150 \times 150 \times 130$  мм. При испытании нагрузка была приложена параллельно стороне образца длиной 130 мм. В результате средняя величина предела прочности на сжатие равна  $\bar{R} = 1,53 \text{ кН/см}^2$ . Прочность на разрыв камней из той же серии, определенная испытаниями на скалывание, оказалась равной  $R_t = 0,154 \text{ кН/см}^2$ . Для кладки стен из пиленного известняка использовался цементно-песчаный раствор. Из раствора были взяты образцы в виде куба размером  $70 \times 70 \times 70$  мм и испытаны на прочность при сжатии. Средняя величина прочности на сжатие кладочного раствора получилась  $R_t = 0,86 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ . Для ис-

пытания образцы кладки стен для заполнения каркасной ячейки были изготовлены в сериях с использованием камней и раствора с механическими характеристиками, которые приведены выше. Размер камней для кладки принят  $300 \times 300 \times 130$  мм. Образцы первой серии были изготовлены размером

300 × 300 × 830 мм в целях определения прочности на сжатие и модуля упругости кладки. Образцы второй серии изготовлены размером 300 × 1200 × 1130 мм. Все изготовлены на металлическом поддоне. Их испытания проведены на гидравлическом прессе марки ПСУ-500.

Центровка образцов относительно верхней и нижней опорных плит пресса произведена при помощи индикаторов часового типа, установленных по четырем сторонам образца. Нагрузки образца производились этапами, каждый из которых составил 10 % от разрушающей нагрузки. На каждом этапе нагружения с помощью установленных индикаторов измерялись возникающие деформации. Погрешность измерений манометра пресса не превышала 1...2 %. Индикаторы, установленные на образце, позволяют измерять деформации с точностью 0,01 мм.

По результатам экспериментов на образцах первой серии удалось оценить деформативные свойства кладки. По данным измерений деформаций индикаторами рассчитаны относительные деформации  $\varepsilon$  и построены графики зависимостей  $\varepsilon = f(N/N_p)$  и  $\varepsilon = f(E)$ , которые приводятся на рис. 1. Начальный модуль упругости  $E_0$ , коэффициент упругости  $\alpha$  и коэффициент  $\mu$  рассчитаны по результатам эксперимента методом, рекомендованным С. А. Семенцовым [5].

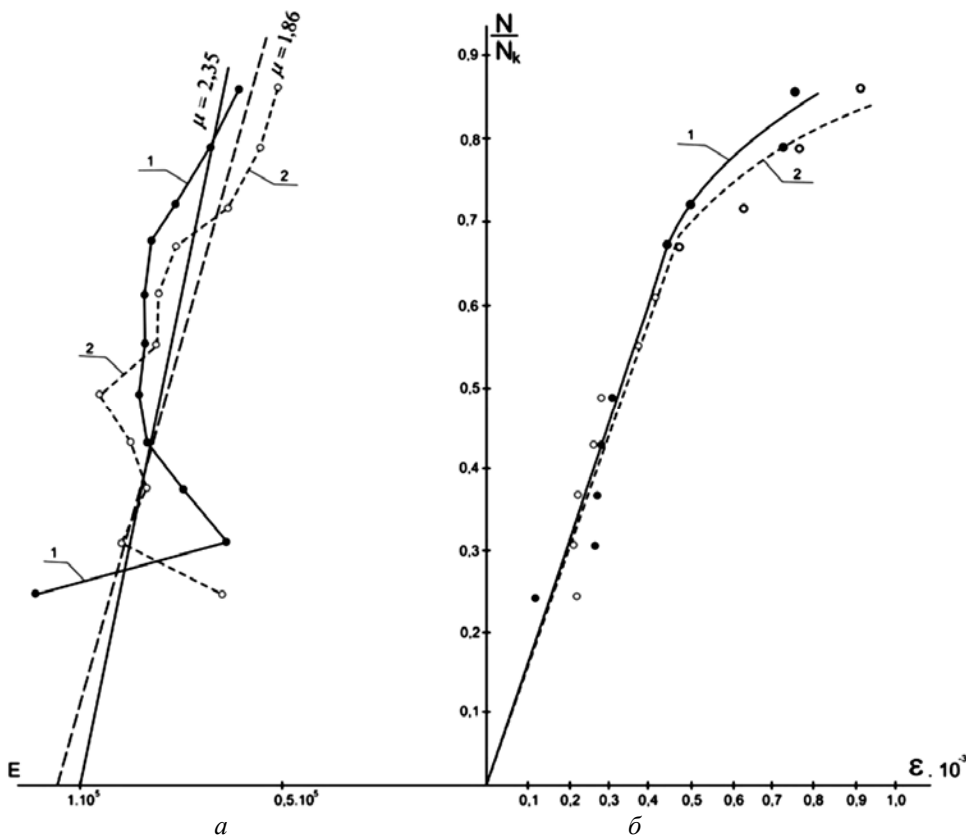


Рис. 1. Графики зависимостей модулей упругости и деформации, определенных по результатам экспериментальных исследований: а — график  $E = f(N/N_p)$ ; б — график  $\varepsilon = f(N/N_p)$

Оценка работы образцов кладки под нагрузкой проведена по результатам испытаний образцов второй серии. Характер разрушения образцов кладки под нагрузкой по обеим сериям приводится на рис. 2.

Исходя из предела прочности образцов, изготовленных в обеих сериях, и прочности материалов (камень и раствор), были рассчитаны значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\mu$ . Результаты расчетов приводятся в табл.

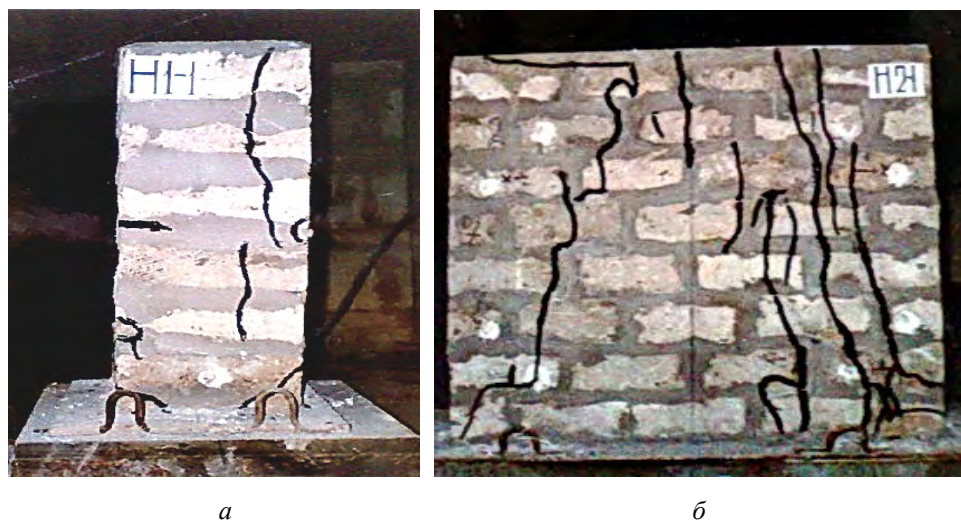


Рис. 2. Характер разрушений образцов под нагрузкой: *а* — в форме колонны; *б* — в форме стены

Анализ данных, приведенных в табл., показывает, что результаты испытаний образцов мало отличаются друг от друга. Причины этого следующие: кладка камней в стене по сторонам с наибольшей прочностью; применение однорядной системы кладки; использование камней с близкими прочностными характеристиками.

Так как эти факторы увеличили однородность кладки, результаты испытаний образцов мало отличаются друг от друга.

Из рис. 1 видно, что при значениях отношения  $N/N_p = 0,65...0,7$  зависимость  $E = f(N/N_p)$  имеет прямолинейный характер. В связи с этим переходной коэффициент от временной прочности кладки к расчетной, определяемый согласно СНиП В.2-71, возможно уменьшить. Согласно табл. 14 СНиП В.2-71, значение этого коэффициента для таких систем кладок принимается  $k = 2$ . В наших экспериментах значение переходного коэффициента от временной прочности кладки  $R_u$  к расчетной получилось  $k = 1,4...1,5$ . При принятии величины, согласно СНиП В 2-71,  $k = 2$  расчетное сопротивление кладки из камней размером  $300 \times 300 \times 130$  мм будет

$$R = \frac{R_u}{k};$$

$$R = \frac{57,93}{2} = 28,96 \text{ кг/см}^2 = 0,29 \text{ кН/см}^2.$$

Сравнение механических характеристик образцов кладки, полученных по результатам экспериментальных исследований с расчетными

| № серии          | № образцов | Геометрические размеры образцов, см | Прочность материала образцов, кН/см <sup>2</sup> |                   | Предел прочности, кН |                  | Прочность при сжатии, кН/см <sup>2</sup> |                  | Механические характеристики кладки |          |       |          |       |
|------------------|------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|----------------------|------------------|------------------------------------------|------------------|------------------------------------|----------|-------|----------|-------|
|                  |            |                                     | камень                                           | кладочный раствор | по разным образцам   | средняя величина | по разным образцам                       | средняя величина | $E_0$ , кН/см <sup>2</sup>         | $\alpha$ | $\mu$ | $\alpha$ | $\mu$ |
| I                | 1          | 30×30×83                            | 1,53                                             | 0,86              | 488                  | 521,5            | 542                                      | 579,3            | 1025                               | 1891     | 2,1   | 2141     | 4,3   |
|                  | 2          | 30×30×83                            | 1,53                                             | 0,86              | 555                  |                  | 616,7                                    |                  |                                    |          |       | 2059     | 3,82  |
| II               | 1          | 30×120×113                          | 1,53                                             | 0,86              | 1990                 | 2045             | 552,8                                    | 568              | —                                  | —        | —     | 2128     | 4,23  |
|                  | 2          | 30×120×113                          | 1,53                                             | 0,86              | 2100                 |                  | 583,2                                    |                  |                                    |          |       | 2095     | 4,03  |
| Средние величины |            |                                     |                                                  |                   |                      |                  |                                          |                  | 1025                               | 1891     | 2,1   | 2106     | 4,1   |

Таким образом, расчетное сопротивление на сжатие кладки с камнями размером  $300 \times 300 \times 130$  мм с прочностью камня и раствора соответственно при  $1,53 \text{ кН/см}^2$  и  $0,86 \text{ кН/см}^2$  можно принять  $R = 0,29 \text{ кН/см}^2$ .

Заменяв работу каменной кладки для заполнения каркасной ячейки сжатым диагональным стержнем, получаем модель, которую далее будем называть «стержневая модель». В этой модели каркасная ячейка принимается как несущая система, имеющая конструктивные особенности, обеспечивающие совместную работу рамы, составленной из обычных железобетонных элементов, с каменной стеной. Между ними каркасная ячейка на воздействия горизонтальных или вертикальных нагрузок, а также на совместное воздействие обеих нагрузок может быть рассчитана с применением расчетной модели, приведенной на рис. 3.

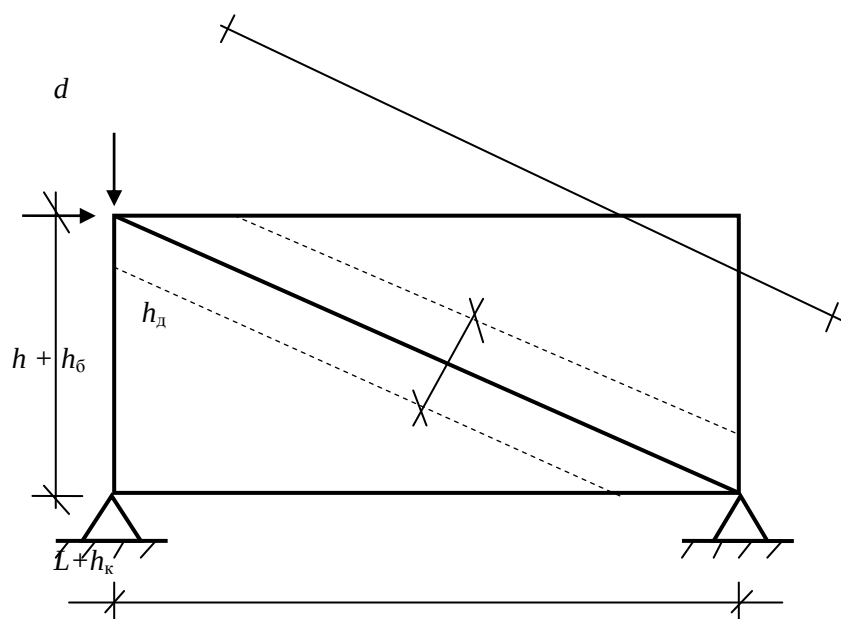


Рис. 3. Стержневая модель для расчета каркасной ячейки

С целью учета влияния каменной стены на работу каркасной ячейки каменная стена принимается как сжатый диагональный стержень. Здесь сечения и длины колонн и балок рамы принимаются равными железобетонным элементам каркасной ячейки. Ширина диагонали рамы принимается равной толщине каменной стены. Высота сечения диагонали рамы зависит от механической характеристики кладки и толщины стены, механических характеристик материалов несущих элементов каркасной ячейки и от геометрических размеров элементов каркасной ячейки. Высота сечения диагонали сжатия в зависимости от механической характеристики кладки стены заполнения и геометрических размеров элементов каркасной ячейки определяется по формуле [6—8]:

$$h_d = \frac{1}{8(1+\nu)hl} \sqrt{(h^2 + l^2)^3}. \quad (1)$$



Учитывая влияние каменной стены на балку каркасной ячейки, высота сечения балки определяется по формуле

$$h_6 = 2,29 \sqrt[3]{\frac{E_6 J_6}{E_3 t_3}}, \quad (2)$$

а высота сечения колонны каркасной ячейки с учетом механических характеристик каменной стены определяется по формуле

$$h_k = 2,29 \sqrt[3]{\frac{E_k J_k}{E_3 t_3}}, \quad (3)$$

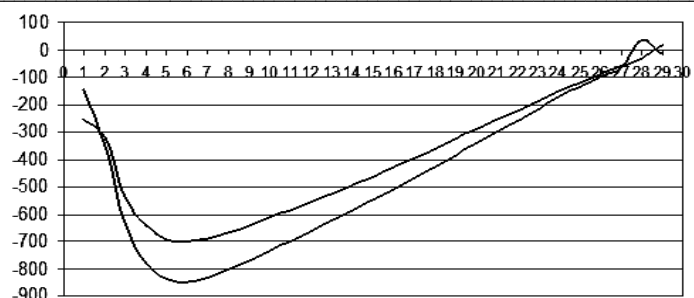
где  $E_6$  и  $E_k$  — модули упругости материала балки и колонны;  $J_6$  и  $J_k$  — моменты инерции сечений балок и колонн в плоскости каркасной ячейки;  $h$  и  $l$  — высота и ширина каменной стены каркасной ячейки;  $\nu$  — коэффициент Пуассона кладки каменной стены каркасной ячейки;  $t_3$  — толщина каменной стены;  $E_3$  — модуль упругости каменной кладки.

Устойчивость каркасной ячейки проще рассчитать с применением стержневой модели. Устойчивость каркасной ячейки в основном зависит от устойчивости каменной стены [9, 10]. Поэтому критическая сила сжатого диагонального стержня каркасной ячейки при применении стержневой модели можно рассчитать по формуле Эйлера

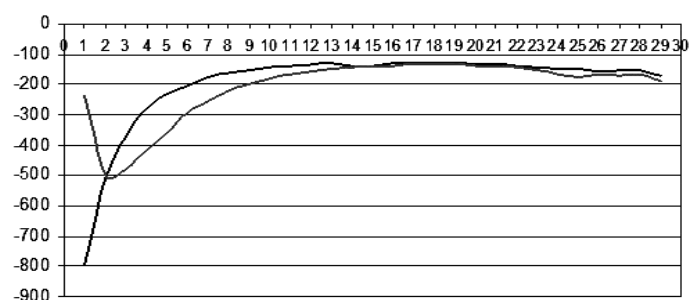
$$N_{кр} = \frac{k^2 \pi^2 E_3 J_d}{d^2}, \quad (4)$$

где  $d$  и  $J_d$  — длина и момент инерции поперечного сечения диагонали сжатия каркасной ячейки;  $k$  — коэффициент приведенной длины сжатой диагонали, зависит от условий закрепления концов диагонали в углах каркасной ячейки. При применении колонны и ригеля каркаса из сборного железобетона можно принять  $k = 1$ , а при применении монолитного железобетона  $k = 2$ . Для точного определения величины  $k$  для стены заполнения каркасной ячейки необходимы специальные теоретические и экспериментальные исследования.

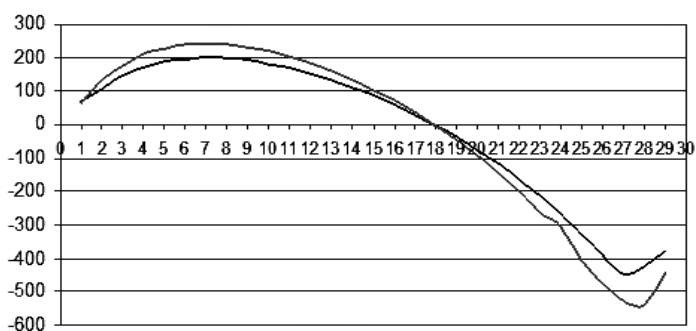
Каркасная ячейка смоделирована как единый несущий элемент, состоящий из каменной стены, окруженной двумя горизонтальными и двумя вертикальными несущими железобетонными элементами. Произведен анализ этой рамной системы под воздействием горизонтальных и вертикальных нагрузок. Были определены наиболее опасные места концентрации напряжений в плоскости каркасной ячейки. В этой модели высота каркасной ячейки 360 см, а длина 640 см. Сечение горизонтальных несущих элементов принято  $25 \times 60$  см, а сечение колонн  $40 \times 40$  см. В этой модели прочность бетона несущих элементов каркасной ячейки имеет  $2,50 \text{ кН/см}^2$ , а модуль упругости  $3000 \text{ кН/см}^2$ . Толщина каменной стены равна 30 см. Прочность камней кладки при сжатии  $1,53 \text{ кН/см}^2$ , а прочность этих камней при растяжении равна  $0,154 \text{ кН/см}^2$ . Прочность при сжатии цементного раствора кладки составляет  $0,86 \text{ кН/см}^2$ . Модуль упругости кладки составляет  $1025 \text{ кН/см}^2$ , а прочность при сжатии  $0,58 \text{ кН/см}^2$ .



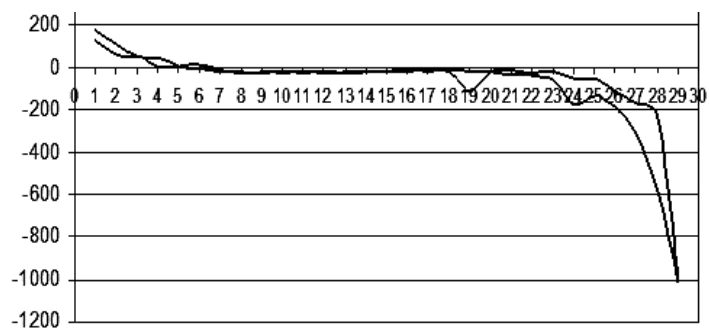
*a*



*б*



*в*



*г*

Рис. 4. Напряжения, возникающие в плоскости соприкосновения верхних и нижних балок с каменной стеной: *a* — в верхней балке горизонтальные напряжения; *б* — там же, вертикальные напряжения; *в* — в нижней балке, горизонтальные напряжения; *г* — там же, вертикальные напряжения

В плоскости каркасной ячейки поверхность образца разделена элементами площадью  $20 \times 20 \text{ см}^2$ . При определении напряжений численными методами использовалась программа SAP 2000. Горизонтальная нагрузка, действующая на раму, составляет 200 кН, а вертикальная нагрузка равномерно распределенного характера с интенсивностью 30 кН/м действует на верхний ригель. График распределения напряжений в плоскости каркасной ячейки, составленный по результатам вычислений, приводится на рис. 4.

Контроль прочности каменной стены каркасной ячейки проверяется по формуле

$$R \leq \sigma_0; R_t \leq \sigma_{0t}, \quad (5)$$

где  $R$  и  $R_t$  — расчетные сопротивления каменной стены каркасной ячейки при сжатии и растяжении;  $\sigma_0$  и  $\sigma_{0t}$  — вычисленные максимальные напряжения сжатия и растяжения в плоскости каркасной ячейки.

*Выводы:*

1. Однорядную кладку известняковых камней правильной формы с размером  $300 \times 300 \times 130 \text{ мм}$  при прочности камней  $1,53 \text{ кН/см}^2$  и раствора  $0,86 \text{ кН/см}^2$ , которая соответствует второй категории кладки по СНиП 2.7—81, следует применять в качестве каменной стены для заполнения ячейки железобетонного каркаса. Расчетное сопротивление кладки из этого камня составляет, по данным испытаний образцов кладки,  $0,29 \text{ кН/см}^2$ .

2. Расчет несущих элементов каркасной ячейки с каменной стеной с использованием стержневой модели более рационален, чем другие методы. При этом в принятой модели ширину поперечного сечения диагонального стержня рамы можно принять равной толщине каменной стены, а высоту сечения можно определять по (1). Высоты поперечных сечений балок и колонн рамы с учетом влияния работы каменной стены можно определять по (2) и (3).

3. Расчет устойчивости каменной стены каркасной ячейки производится по (4).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поляков С. В. Каменная кладка в каркасных зданиях. М. : Стройиздат, 1988. 355 с.
2. Оруджов Ф. М., Самедова Е. Н. Исследование прочностных и деформационных особенностей кладки из камней эффективных типоразмеров : отчет НИР. Баку, 1971.
3. Эюбов И. Д. Исследование механических свойств каменной кладки каркасной ячейки // Теоретическая и прикладная механика. 2009. № 2. С. 27—33.
4. Изготовление фрагментов кладки из камней нового размера и исследование прочностных особенностей при центрально действующей нагрузке / С. А. Фаталиев, Д. Г. Эюбов, Н. Н. Османов, И. Д. Эюбов. Баку, 1997.
5. Семенцов С. А. О методе подбора логарифмической зависимости между напряжениями по экспериментальным данным // Прочность и устойчивость крупнопанельных конструкций. М. : Госстройиздат, 1962. 455 с.
6. Benedetti D., Casella M. L. Shear Strength of masonry piers // 7th World Conf. on Earthquake Engineering. Vol. 6. Istanbul, 1980. P. 167—179.
7. Fuentes A. Calcul pratique des ossatures de batiments en beton arme. Eyrolles. Paris, 1975. 350 p.
8. Holmes M. Steel frames with brickwork and concrete infilling : proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vol. 19. № 6501. Aug. 1961. London. P. 473—478.
9. Гулкан П., Уастси С. Т. Аналитическая модель связи заполнительной стены с ж/б рамой : бюллетень Института изучения землетрясений. Т. 4. Стамбул, 1974. С. 5—19.
10. Pubal Z. Theory and calculation of frame structures with stiffing walls : Publishing house of Czechoslovak Academy of Sciences. Prague, 1988. 255 p.

1. Polyakov S. V. Kamennaya kladka v karkasnykh zdaniyakh. M. : Stroyizdat, 1988. 355 s.
2. Orudzhov F. M., Samedova E. N. Issledovanie prochnostnykh i deformatsionnykh osobennostey kladki iz kamney effektivnykh tiporazмеров : otchet NIR. Baku, 1971.
3. Eyubov I. D. Issledovanie mekhanicheskikh svoystv kamennoy kladki karkasnoy yacheyki // Teoreticheskaya i prikladnaya mekhanika. 2009. № 2. S. 27—33.
4. Izgotovlenie fragmentov kladki iz kamney novogo razmera i issledovanie prochnostnykh osobennostey pri tsentral'no deystvuyushchey nagruzke / S. A. Fataliev, D. G. Eyubov, N. N. Osmanov, I. D. Eyubov. Baku, 1997.
5. Sementsov S. A. O metode podbora logarifmicheskoy zavisimosti mezhdru napryazheniyami po eksperimental'nym dannym // Prochnost' i ustoychivost' krupnopanel'nykh konstruktsiy. M. : Goss-troyizdat, 1962. 455 s.
6. Benedetti D., Casella M. L. Shear Strength of masonry piers // 7th World Conf. on Earth-quake Engineering. Vol. 6. Istanbul, 1980. R. 167—179.
7. Fuentes A. Calcul pratique des ossatures de batiments en beton arme. Eyrolles. Paris, 1975. 350 p.
8. Holmes M. Steel frames with brickwork and concrete infilling : proceedings of the Institution of Civil Engineers. Vol. 19. № 6501. Aug. 1961. London. R. 473—478.
9. Gulkan P., Uasti S. T. Analiticheskaya model' svyazi zapolnitel'noy steny s zh/b ramoy : byulleten' Instituta izucheniya zemletryaseniy. T. 4. Stambul, 1974. S. 5—19.
10. Pubal Z. Theory and calculation of frame structures with stiffing walls : Publishing house of Chekoslovak Academy of Sciences. Prague, 1988. 255 p.

© Эюбов И. Дж., 2013

*Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Эюбов И. Дж. Исследование прочности и устойчивости каркасной ячейки с каменным заполните-  
лем // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 84—92.*

## СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

УДК 624.072.33072.14

**Г. И. Беликов**

### РАСЧЕТ СЕТЧАТЫХ ПЛАСТИН НА ИЗГИБ С УЧЕТОМ ПОПЕРЕЧНОГО СДВИГА

Построена теория тонких упругих однослойных сетчатых пластин как некоторых континуальных систем. Коррекция к стандартному решению обусловлена учетом поперечного сдвига.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** сетчатая пластина, изгиб, уточненная теория, оценка поправок.

The theory of thin elastic single-layer mesh plates as some continual systems is developed. Change of the standard solution is caused by the accounting of lateral shift.

**Key words:** mesh plate, bend, updated theory, assessment of the amendments.

Наряду с широким проведением расчетов сетчатых оболочек и пластинок по классической модели Кирхгофа — Лява [1, 2] возникает необходимость в определении напряженно-деформированного состояния сетчатых пластинок, применяемых в различных областях техники, на основе уточненных моделей, учитывающих сдвиговые факторы.

Сетчатые пластины представляют собой сложную стержневую конструкцию. Оси стержней образуют семейство густо расположенных прямых в срединной поверхности пластины.

Здесь представлена система эластичных сетчатых пластинок.

В работе предлагается учитывать наличие поперечного сдвига при расчете сетчатой пластины, а следовательно, и ее расчетной модели по кинематической модели С. П. Тимошенко [3] и континуальной модели Г. И. Пшеничнова [1]. Область применимости такой расчетной модели достаточно широка [1, 2, 4, 5].

Рассмотрим поперечный изгиб прямоугольных сетчатых пластинок с учетом поперечного сдвига с числом семейств стержней, равным четырем.

Отнесем срединную поверхность пластинки к ортогональной системе прямолинейных координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  в главных кривизнах. При рассмотрении расчетной модели статические и геометрические уравнения совпадают с соответствующими уравнениями упругой теории сплошных пластинок.

Уравнения равновесия в декартовой системе координат имеют вид

$$\frac{\partial Q_1}{\partial x} + \frac{\partial Q_2}{\partial y} + Z = 0; \quad \frac{\partial H_1}{\partial x} - \frac{\partial M_2}{\partial y} - Q_2 = 0; \quad \frac{\partial H_2}{\partial x} - \frac{\partial M_1}{\partial y} - Q_1 = 0. \quad (1)$$

При компонентах деформации

$$\chi_1 = \frac{\partial \theta_1}{\partial x}; \quad \chi_2 = \frac{\partial \theta_2}{\partial y}; \quad \tau = \frac{\partial \theta_2}{\partial x} + \frac{\partial \theta_1}{\partial y}, \quad (2)$$

где  $\theta_1, \theta_2$  — углы поворота отрезка нормали к срединной плоскости пластинки соответственно в плоскостях  $y = \text{const}$  и  $x = \text{const}$ ;  $M, Q$  — соответственно изгибающий момент, поперечная сила в стержне ( $Q = -M'$ ).

Соответствующие углы поперечного сдвига расчетной модели сетчатой оболочки равны

$$\beta_1 = \theta_1 + \frac{\partial w}{\partial x}; \quad \beta_2 = \theta_2 + \frac{\partial w}{\partial y}, \quad (3)$$

где  $w$  — компонент деформации срединной поверхности (прогиб).

Уравнения состояния (соотношения упругости) оказываются более сложными и зависят от структуры сетки и ее материала [1, 2].

Для поперечных сил и изгибающих моментов стержней  $i$ -го семейства (жесткости стержней на кручение считаем равными нулю) получим

$$Q_i^* = k_i^2 G_i F_i \beta_i^*; \quad M_i^* = -E_i J_{ii} \nabla_i \theta_i^*, \quad (4)$$

где  $\theta_i^* = \theta_1 \cos \varphi_i + \theta_2 \sin \varphi_i$ ;  $\beta_i^* = \beta_1 \cos \varphi_i + \beta_2 \sin \varphi_i$ ;  $\varphi_i$  — угол между осью  $x$  и осью стержня.

Числовой коэффициент  $k_i^2$  зависит от формы поперечного сечения.

Значения погонных поперечных сил, изгибающих и крутящих моментов расчетной модели с учетом (2) имеют вид:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \sum_{i=1}^n K_i^* (\nabla_i w + \theta_1 \cos \varphi_i + \theta_2 \sin \varphi_i) \cos \varphi_i; \\ Q_2 &= \sum_{i=1}^n K_i^* (\nabla_i w + \theta_1 \cos \varphi_i + \theta_2 \sin \varphi_i) \sin \varphi_i; \\ M_1 &= - \sum_{i=1}^n I_i \nabla_i (\theta_1 \cos \varphi_i + \theta_2 \sin \varphi_i) \cos^2 \varphi_i; \\ M_2 &= - \sum_{i=1}^n I_i \nabla_i (\theta_1 \cos \varphi_i + \theta_2 \sin \varphi_i) \sin^2 \varphi_i; \\ H &= \sum_{i=1}^n I_i \nabla_i (\theta_1 \cos \varphi_i + \theta_2 \sin \varphi_i) \sin \varphi_i \cos \varphi_i, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $K_i^+ = k_i^2 G_i F_i / a_i$ ;  $I_i = E_i J_i / a_i$ ;  $\nabla_i = \cos \varphi_i \frac{\partial}{\partial x} + \sin \varphi_i \frac{\partial}{\partial y}$ .

Жесткость стержней на кручение считается равной нулю. Формулы погонных усилий и моментов [1, 2] имеют вид:

в сечении  $x = \text{const}$ :

$$M_1 = \sum_{i=1}^n M_i^* \cos^2 \varphi_i / a_i; \quad Q_1 = \sum_{i=1}^n Q_i^* \cos \varphi_i / a_i; \quad (6)$$

в сечении  $y = \text{const}$ :

$$M_2 = \sum_{i=1}^n M_i^* \sin^2 \varphi_i / a_i; \quad Q_2 = \sum_{i=1}^n Q_i^* \sin \varphi_i / a_i. \quad (7)$$

$$H = H_1 = H_2 = - \sum_{i=1}^n n M_i^* \sin \varphi_i \cos \varphi_i / a_i. \quad (8)$$

Усилия и моменты в стержнях пластины отмечены звездочкой.

Используя (5—8), найдем значения погонных сгибающих и крутящих моментов, поперечных сил расчетной модели:

$$\begin{aligned} M_1 &= \gamma_{11} \chi_1 + \gamma_{12} \chi_2 = \gamma_{11} \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + \gamma_{12} \frac{\partial \theta_2}{\partial y}; \\ M_2 &= \gamma_{12} \chi_1 + \gamma_{22} \chi_2 = \gamma_{12} \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + \gamma_{22} \frac{\partial \theta_2}{\partial y}; \\ H_1 &= H_2 = \gamma_{31} \tau = \gamma_{31} \left( \frac{\partial \theta_2}{\partial x} + \frac{\partial \theta_1}{\partial y} \right); \\ Q_1 &= K_{14} \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \theta_1 \right), \quad Q_2 = K_{13} \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \theta_2 \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь  $\gamma_{11} = -(2I \cos^4 \varphi + I_4)$ ,  $\gamma_{12} = -\frac{I}{2} \sin^2 2\varphi$ ,  $\gamma_{22} = -(2I \sin^4 \varphi + I_3)$ ,  
 $\gamma_{33} = I \sin^2 2\varphi$ ,  $K_{14} = 2K^* \cos^2 \varphi + K_4^*$ ,  $K_{13} = 2K^* \sin^2 \varphi + K_3^*$ ,  $I = E_1 J_1 / a_1$ ,  
 $I_3 = E_3 J_3 / a_3$ ,  $I_4 = E_4 J_4 / a_4$ ,  $K^* = k_1^2 G_1 F_1 / a_1$ ,  $K_3^* = k_3^2 G_3 F_3 / a_3$ ,  
 $K_4^* = k_4^2 G_4 F_4 / a_4$ .

Дифференциальные уравнения поперечного изгиба пластинки (1) с помощью формул (9) приведем к системе трех дифференциальных уравнений относительно функций  $w$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ .

$$\begin{aligned} &\left( K_{14}^* \frac{\partial^2}{\partial x^2} + K_{13}^* \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) w + K_{14}^* \frac{\partial \theta_1}{\partial x} + K_{13}^* \frac{\partial \theta_2}{\partial y} + Z = 0; \\ &K_{14}^* \frac{\partial w}{\partial x} + \left( \gamma_{11} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \gamma_{31} \frac{\partial^2}{\partial y^2} + K_{14}^* \right) \theta_1 + (\gamma_{12} - \gamma_{31}) \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial x \partial y} = 0; \\ &K_{13}^* \frac{\partial w}{\partial y} + \left( \gamma_{22} \frac{\partial^2}{\partial y^2} - \gamma_{31} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + K_{13}^* \right) \theta_2 + (\gamma_{12} - \gamma_{31}) \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial x \partial y} = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Рассмотрим три основных вида граничных условий. Для простоты запи-  
си будем полагать, что край пластинки совпадает с линией  $x = \text{const}$ .

1. Свободно опертый край. Для свободно опертого края имеем  
 $w = H_1 = M_1 = 0$ .

2. Жестко закрепленный край. Для жестко закрепленного края имеем  
 $w = \theta_2 = \frac{\partial w}{\partial x} = 0$ .

3. Шарнирно опертый край. Для шарнирно опертого края имеем  
 $w = \theta_2 = M_1 = 0$ .

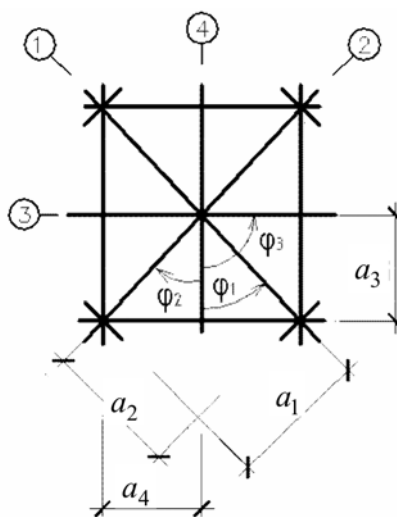
Совершенно аналогично записываются граничные условия для края,  
проходящего вдоль линии  $y = \text{const}$ .

Приведем некоторые частные случаи типов сетки пластинок.

*Тип 1.* Пластина состоит из четырех семейств стержней ( $n = 4$ ). Стержни  
первого и второго семейства одинаковы (рис. 1). Топология сетки имеет сле-  
дующие параметры:  $\varphi_1 = -\varphi_2 = \varphi$ ,  $\varphi_3 = \pi/2$ ,  $\varphi_4 = 0$ ,  $a_1 = a_2$ ,  $a_3 = a_1/2\cos\varphi$ ,  
 $a_4 = a_1/2\sin\varphi$ , где  $\varphi_i$  — угол между осью  $x$  и осью стержня (отсчитывается от  
оси  $x$  в направлении оси  $y$ ),  $a_i$  — расстояние между осями соседних стержней.

*Тип 2.* Пластина состоит из трех семейств стержней ( $n = 3$ ). Она получа-  
ется из приведенной на рис. сетки, если считать, что третье либо четвертое  
семейство стержней отсутствует.

*Тип 3.* Пластина состоит из двух семейств стержней ( $n = 2$ ) — ромбиче-  
ская или прямоугольная сетка. Она получается из приведенной на рис. сетки,  
если считать, что третье и четвертое семейства стержней ( $\varphi_1 = -\varphi_2$ ) либо  
первое и второе отсутствуют ( $\varphi_3 = 90^\circ$ ,  $\varphi_4 = 0^\circ$ ).



Сетка пластины, тип 1

Используя полученные результаты, можно построить решение задачи  
поперечного изгиба шарнирно опертой прямоугольной пластины произволь-  
ной нормально приложенной нагрузкой.



Пусть прямоугольная пластинка (тип сетки № 1) шарнирно оперта по всем четырем сторонам ( $x=0$ ,  $x=a$  и  $y=0$ ,  $y=b$ ) и изгибается нагрузкой, распределенной по произвольному закону  $Z = q(x, y)$ .

Система дифференциальных уравнений рассматриваемой задачи будет иметь вид (10), и ее надо интегрировать при граничных условиях

$$w = \theta_2 = M_1 = 0 \text{ при } x = 0, x = a; \quad w = \theta_1 = M_2 = 0 \text{ при } y = 0, y = b. \quad (11)$$

Граничные условия (11) будут удовлетворены, если решение системы (10) представить в виде следующих тригонометрических рядов:

$$\begin{aligned} w &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}; \\ \theta_1 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} B_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}; \\ \theta_2 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b}. \end{aligned} \quad (12)$$

Для определения неизвестных коэффициентов  $A_{mn}$ ,  $B_{mn}$ ,  $C_{mn}$  разложим функцию нагрузки  $q(x, y)$  в аналогичный ряд

$$Z = q(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b},$$

$$\text{где } a_{mn} = \frac{4}{ab} \int_0^a \int_0^b f_{xy} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy. \quad (13)$$

Подставим значения  $w$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  и  $Z$  соответственно из (12) и (13) в систему уравнений (10), при этом полагая, что функция  $q(x, y)$  по одному разу дифференцируема по  $x$  или по  $y$ .

Уравнения основной системы получаем в виде

$$\begin{aligned} c_{11}A_{mn} + c_{12}B_{mn} + c_{13}C_{mn} &= a_{mn}; \\ c_{21}A_{mn} + c_{22}B_{mn} + c_{23}C_{mn} &= 0; \\ c_{31}A_{mn} + c_{32}B_{mn} + c_{33}C_{mn} &= 0, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{где } c_{11} &= K_{14}^* \frac{m^2 \pi}{a^2} + K_{13}^* \frac{n^2 \pi^2}{b^2}; \quad c_{12} = c_{21} = K_{14}^* \frac{m\pi}{a}; \quad c_{13} = c_{31} = K_{13}^* \frac{n\pi}{b}; \\ c_{22} &= -\gamma_{11} \frac{m^2 \pi}{a^2} + \gamma_{31} \frac{n^2 \pi^2}{b^2} + K_{14}^*; \quad c_{23} = c_{32} = -(\gamma_{12} - \gamma_{31}) \frac{m\pi}{a} \frac{n\pi}{b}; \\ c_{33} &= -\gamma_{22} \frac{n^2 \pi^2}{b^2} + \gamma_{31} \frac{m^2 \pi^2}{a^2} + K_{13}^*. \end{aligned} \quad (14')$$

Из (14) определяются коэффициенты  $A_{mn}$ ,  $B_{mn}$ ,  $C_{mn}$  при любых значениях  $m$ ,  $n$ .

$$A_{mn} = \frac{\Delta_{1mn}}{\Delta_{0mn}} a_{mn}; \quad B_{mn} = \frac{\Delta_{2mn}}{\Delta_{0mn}} a_{mn}; \quad C_{mn} = \frac{\Delta_{3mn}}{\Delta_{0mn}} a_{mn}, \quad (15)$$

где  $\Delta_{1mn} = c_{22}c_{33} - c_{23}^2$ ;  $\Delta_{2mn} = -c_{12}c_{33} + c_{23}c_{13}$ ;  $\Delta_{3mn} = -c_{12}c_{22} + c_{13}c_{22}$ ;

$$\Delta_{0mn} = c_{11}(c_{22}c_{33} - c_{23}^2) - c_{12}(c_{12}c_{33} - c_{23}c_{13}) + c_{13}(c_{12}c_{23} - c_{22}c_{13}). \quad (15')$$

Следовательно, становятся известными обобщенные перемещения  $w$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  (12).

$$\begin{aligned} w &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Delta_{1mn}}{\Delta_{0mn}} a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}; \\ \theta_1 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Delta_{2mn}}{\Delta_{0mn}} a_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}; \\ \theta_2 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Delta_{3mn}}{\Delta_{0mn}} a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b}. \end{aligned} \quad (16)$$

Используя (4), получим значения соответствующих углов поперечного сдвига расчетной модели сетчатой пластинки:

$$\begin{aligned} \beta_1 = \theta_1 + \frac{\partial w}{\partial x} &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{\Delta_{2mn}}{\Delta_{0mn}} + \frac{\Delta_{1mn}}{\Delta_{0mn}} \frac{m\pi}{a} \right) a_{mn} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}; \\ \beta_2 = \theta_2 + \frac{\partial w}{\partial y} &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{\Delta_{3mn}}{\Delta_{0mn}} + \frac{\Delta_{1mn}}{\Delta_{0mn}} \frac{n\pi}{b} \right) a_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b}. \end{aligned} \quad (17)$$

Подставляя полученные значения искомых функций  $w$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  в (9), для остальных расчетных величин легко записать

$$\begin{aligned} M_2 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ -\gamma_{12} \frac{m\pi}{a} B_{mn} - \gamma_{22} \frac{n\pi}{b} C_{mn} \right] \frac{a_{mn}}{\Delta_{0mn}} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}; \\ H_1 = H_2 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ -\gamma_{31} \frac{m\pi}{a} C_{mn} - \gamma_{31} \frac{n\pi}{b} B_{mn} \right] \frac{a_{mn}}{\Delta_{0mn}} \cos \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b}; \\ Q_1 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ K_{14} \left( \frac{m\pi}{a} A_{mn} + B_{mn} \right) \right] \frac{a_{mn}}{\Delta_{0mn}} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}; \\ Q_2 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ K_{13} \left( \frac{n\pi}{b} A_{mn} + C_{mn} \right) \right] \frac{a_{mn}}{\Delta_{0mn}} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}. \end{aligned} \quad (18)$$

В приведенные выше выражения расчетных величин входит коэффициент  $a_{mn}$ , который зависит от закона распределения внешней нагрузки.

Для случая равномерно распределенной нагрузки имеем

$$a_{mn} = \frac{16q}{\pi^2} \frac{1}{mn}, \quad (19)$$

где  $m, n = 1, 3, 5, \dots$

Для всех остальных  $m$  и  $n$   $a_{mn} = 0$ , причем  $q$  — интенсивность нагрузки.

Подставим эти коэффициенты в уравнение прогибов (16) и вынесем за знак суммы постоянный множитель  $\frac{A_{mn}}{A_{0mn}}$ :

$$w_{mn} = \frac{16q}{\pi^2} \frac{1}{mn} \frac{\Delta_{1mn}}{\Delta_{0mn}} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}. \quad (20)$$

Если в (20) взять бесконечно большое число членов, т. е. положить  $m = n = \infty$ , то получим решение задачи, совпадающее с точным.

Возьмем приближенное решение, ограничиваясь одним членом ряда  $m=1, n=1$ . Тогда из (20) имеем

$$w_{11} = \frac{16q}{\pi^2} \frac{\Delta_{111}}{\Delta_{011}} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}. \quad (21)$$

Максимальный прогиб возникает в центре пластинки  $x = a/2$  и  $y = b/2$ .

Погонные изгибающие моменты и поперечные силы найдем по (18).

Усилия и моменты в стержнях сетчатой пластины для статически определимых случаев, когда зависимости, обратные (6—8), однозначны, можно использовать для нахождения усилий и моментов в стержнях сетчатой пластины по известному напряженному состоянию расчетной модели. Число семейств стержней в пластине меньше четырех.

Если сетка пластины такова, что число уравнений системы (6—8) меньше числа неизвестных, задача отыскания усилий и моментов в стержнях пластины по известному напряженному состоянию расчетной модели становится статически неопределимой. Это имеет место, когда число семейств стержней равно четырем и более. В этом случае моменты и усилия в стержнях сетчатой пластинки можно получить, используя соотношения (4, 16, 17):

$$\begin{aligned} M_i^* &= E_i J_{i1} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{m\pi}{a} A_{2mn} \cos^2 \varphi_i + \frac{n\pi}{b} A_{3mn} \sin^2 \varphi_i \right) \frac{a_{mn}}{A_{0mn}} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}; \\ Q_i^* &= k_i^2 G_i F_i \left[ \cos \varphi_i \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left( A_{2mn} + A_{1mn} \frac{m\pi}{a} \right) \frac{a_{mn}}{A_{0mn}} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} + \right. \\ &\quad \left. + \sin \varphi_i \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left( A_{3mn} + A_{1mn} \frac{n\pi}{b} \right) \frac{a_{mn}}{A_{0mn}} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \right]. \quad (22) \end{aligned}$$

Для центральной точки пластинки при различных соотношениях сторон можно вычислить величины прогибов, усилий и изгибающих моментов, напряжений в стержнях. Результаты решений оказались достаточно хорошими.

Полученные здесь соотношения могут быть использованы для решения задач о расчете шарнирно опертой прямоугольной пластинки под действием и других распределенных нагрузок.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшеничников Г. И. Теория тонких упругих сетчатых оболочек и пластинок. М. : Наука, 1982. 332 с.
2. Беликов Г. И. Статика, динамика и устойчивость сетчатых и подкрепленных оболочек с учетом поперечного сдвига. Волгоград : ВолгГАСА, 2003. 298 с.

3. Тимошенко С. П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М. : Стройиздат, 1972. 625 с.
4. Беликов Г. И., Калашников С. Ю. Исследование напряженно-деформированного состояния при изгибе сетчатых пластин по уточненной теории // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 8—13.
5. Беликов Г. И. Уточненная теория сетчатых пластин из композиционных материалов. Математическое моделирование, обратные задачи, информационно-вычислительные технологии: сб. стат. VII Международной науч.-техн. конф. Пенза : РИО ПГСХА, 2007. С. 23—26.
1. Pshenichnov G. I. Teoriya tonkikh uprugikh setchatykh obolochek i plastinok. M. : Nauka, 1982. 332 s.
2. Belikov G. I. Statika, dinamika i ustoychivost' setchatykh i podkreplennykh obolochek s uchetom poperechnogo sdviga. Volgograd : VolgGASA, 2003. 298 s.
3. Timoshenko S. P., Voynovskiy-Kriger S. Plastinki i obolochki. M. : Stroyizdat, 1972. 625 s.
4. Belikov G. I., Kalashnikov S. Yu. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya pri izgibe setchatykh plastin po utochnennoy teorii // Vestnik Volgogr. gos. arkh.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkh.-stroit. 2011. Vyp. 25(44). S. 8—13.
5. Belikov G. I. Utochnennaya teoriya setchatykh plastin iz kompozitsionnykh materialov. Matematicheskoe modelirovanie, obratnye zadachi, informatsionno-vychislitel'nye tekhnologii: sb. stat. VII Mezhdunarodnoy nauch.-tekhn. konf. Penza : RIO PGSKhA, 2007. S. 23—26.

© Беликов Г. И., 2013

*Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Беликов Г. И. Расчет сетчатых пластин на изгиб с учетом поперечного сдвига // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 93—100.

УДК 669. 017:539.4.015

*Л. В. Кукса, Л. М. Арзамаскова***УПРУГИЕ СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛОВ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ  
И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ВЕКТОРИАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ  
МОДУЛЯ ЮНГА И МОДУЛЯ СДВИГА ДЛЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ**

Разработан метод получения упругих свойств однофазных поликристаллических металлов: модуля Юнга и модуля сдвига. Упругие свойства поликристаллов, являющихся конгломератами различно ориентированных кристаллитов (зерен), определяются на основе разработанного метода построения векториальных моделей как средние значения упругих свойств монокристалла для всех возможных направлений, исходящих из центра сферической системы координат. Сопоставление полученных расчетных и экспериментальных значений упругих свойств различных поликристаллов свидетельствует о возможности применения разработанных методов для определения упругих свойств, используемых в решениях задач физики, механики деформируемого твердого тела, а также может способствовать решению вопросов прогнозирования физико-механических свойств конструкционных материалов.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** упругие свойства, модуль Юнга, модуль сдвига, напряжения, деформации, преобразование тензора 4-го ранга, анизотропное тело.

The authors develop the method of obtaining elastic properties of single-phase polycrystal metals: Young modulus and shear modulus. Elastic properties of polycrystals, that are conglomerates of variously oriented crystals (grains), are defined on the basis of the developed method of creation of vectorial models as average values of elastic properties of a monocrystal for all possible directions from the center of spherical coordinate system. Comparison of the obtained calculation and experimental values of elastic properties of various polycrystals prove the possibility to apply the developed methods for determination of the elastic properties used in solutions of problems in physics, mechanics of a deformable solid body, as well as it can help to find solutions to the issues of forecasting physical and mechanical properties of construction materials.

**Key words:** elastic properties, Young modulus, shear modulus, tension, deformation, transformation of the tensor of the 4th rank, anisotropic body.

В решениях задач физики и механики деформируемого твердого тела большое значение имеют физические уравнения, устанавливающие связь между напряжениями и деформациями. В случае малых упругих деформаций связь между напряжениями и деформациями принимается линейной и описывается с помощью закона Гука [1]. Для составления физических уравнений необходимо знать упругие свойства материалов, которые можно определять расчетными и экспериментальными методами. Для структурно-неоднородных материалов и, в частности, для поликристаллов, являющихся конгломератами различно ориентированных кристаллитов (зерен), целесообразно применять, наряду с экспериментальными методами, расчетные методы с использованием приемов осреднения. Получение упругих свойств различных поликристаллов на основе построения векториальных моделей модуля Юнга и модуля сдвига с применением приемов осреднения является актуальной задачей и должно способствовать решению вопросов как определения, так и прогнозирования физико-механических свойств.

В простейшем случае, если имеет место линейное напряженное состояние (растяжение или сжатие) [1], в изотропном стержне возникают нормальные напряжения  $\sigma$ , продольная деформация  $\varepsilon = \Delta l / l$ , где  $\Delta l$  — абсолютное удлинение или укорочение стержня, а  $l$  — первоначальная длина. Согласно закону Гука,

$$\sigma = E \varepsilon, \quad (1)$$

где  $E$  — модуль Юнга, константа упругой жесткости.

Можно также записать

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \sigma s, \quad (2)$$

где  $s = \frac{1}{E}$  — константа упругой податливости.

В более сложных случаях, например для объемного напряженного состояния, можно составить три уравнения для определения относительных линейных деформаций и три уравнения для определения угловых деформаций [2]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)]; \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}; \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)]; \quad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}; \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)]; \quad \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G}. \end{aligned} \quad (3)$$

Направления линейных относительных деформаций и нормальных напряжений соответствуют направлениям координатных осей  $x, y, z$ .

Связь между угловыми деформациями  $\gamma$  и касательными напряжениями  $\tau$ , согласно закону Гука, при сдвиге можно представить независимо для каждой из трех плоскостей, параллельных координатным плоскостям.

В уравнениях (3)  $E$  — модуль Юнга,  $G$  — модуль сдвига и  $\mu$  — коэффициент Пуассона;  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  — нормальные напряжения;  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$  — касательные напряжения;  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  — относительные линейные деформации;  $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$  — относительные сдвиги.

В общем случае при исследованиях напряженно-деформированных состояний для изотропных тел используются четыре константы упругости. Названные выше  $E, G, \mu$ , а также объемный модуль  $K$  связаны между собой следующими зависимостями:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}, \quad K = \frac{E}{3(1-2\mu)}. \quad (4)$$

Учитывая наличие этих зависимостей (4), отметим, что независимых констант упругости для изотропного тела только две.

Наиболее сложной является связь между напряжениями и деформациями анизотропного тела, которая в тензорной форме задается зависимостями [1]:

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} \varepsilon_{kl}, \quad (5)$$

$$\varepsilon_{ij} = s_{ijkl} \sigma_{kl}, \quad (6)$$

здесь  $\sigma_{ij}, \sigma_{kl}$  — тензоры напряжений (тензор 2-го ранга);  $\varepsilon_{ij}, \varepsilon_{kl}$  — тензоры деформаций (тензор 2-го ранга);  $c_{ijkl}$  — константы жесткости кристалла (упругие модули), число которых равно 81 (тензор 4-го ранга);  $s_{ijkl}$  — податливости кристалла, число которых равно 81 (тензор 4-го ранга).

Компоненты  $c'_{ijkl}$  и  $s'_{ijkl}$  для лабораторной системы координат определяются на основании применения закона преобразования тензора 4-го ранга:

$$c'_{ijkl} = a_{im} a_{jn} a_{kp} a_{lq} c_{mnpq}; \quad (7)$$

$$s'_{ijkl} = a_{im} a_{jn} a_{kp} a_{lq} s_{mnpq}, \quad (8)$$

где  $a_{im}$ ,  $a_{jn}$ ,  $a_{kp}$ ,  $a_{lq}$  — направляющие косинусы.

При этом значение тензора 4-го ранга для кристаллографических осей координат определялось на основе известных матриц упругих модулей и податливостей [3, 4]:

для кубических кристаллов (3 константы)

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{12} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{12} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{12} & c_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{12} & 0 & 0 & 0 \\ s_{12} & s_{11} & s_{12} & 0 & 0 & 0 \\ s_{12} & s_{12} & s_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{44} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$c_{44} \neq \frac{1}{2}(c_{11} - c_{12}), \quad s_{44} \neq 2(s_{11} - s_{12});$$

для гексагональных кристаллов (5 констант)

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ c_{13} & c_{13} & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & 0 & 0 & 0 \\ s_{12} & s_{11} & s_{13} & 0 & 0 & 0 \\ s_{13} & s_{13} & s_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{66} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$c_{66} = \frac{1}{2}(c_{11} - c_{12}), \quad s_{66} = 2(s_{11} - s_{12}).$$

Использовалось правило перехода от матричных обозначений к тензорным [1]:

|                       |    |    |    |        |        |        |
|-----------------------|----|----|----|--------|--------|--------|
| тензорные обозначения | 11 | 22 | 33 | 23, 32 | 31, 13 | 12, 21 |
| матричные обозначения | 1  | 2  | 3  | 4      | 5      | 6      |

При этом следующим образом вводятся множители 2 и 4:

$s_{ijkl} = s_{mn}$ , когда  $m$  и  $n$  равны 1, 2 или 3;

$2s_{ijkl} = s_{mn}$ , когда или  $m$ , или  $n$  равны 4, 5 или 6;

$4s_{ijkl} = s_{mn}$ , когда и  $m$ , и  $n$  равны 4, 5 или 6.

Для  $c_{ijkl}$  множители 2 и 4 вводить не нужно.

Значения упругих постоянных исследованных кристаллов приведены в табл. 1 и 2 [3, 4].

Таблица 1

*Упругие постоянные кристаллов,  $10^{10}$  Па*

| Наименование металла | $c_{11}$ | $c_{12}$ | $c_{44}$ | $c_{13}$ | $c_{33}$ |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Алюминий             | 10,82    | 6,13     | 2,85     | —        | —        |
| Железо               | 22,80    | 13,20    | 11,65    | —        | —        |
| Медь                 | 16,84    | 12,14    | 7,54     | —        | —        |
| Магний               | 5,97     | 2,62     | 1,64     | 2,17     | 6,17     |
| Титан                | 16,24    | 9,20     | 4,67     | 6,90     | 18,07    |
| Цинк                 | 16,30    | 2,55     | 3,79     | 5,08     | 6,23     |

Таблица 2

*Упругие постоянные кристаллов,  $10^{-11}$  Па $^{-1}$*

| Наименование металла | $s_{11}$ | $s_{12}$ | $s_{44}$ | $s_{13}$ | $s_{33}$ |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Алюминий             | 1,570    | -0,568   | 3,510    | —        | —        |
| Железо               | 0,762    | -0,279   | 0,858    | —        | —        |
| Медь                 | 1,498    | -0,629   | 1,326    | —        | —        |
| Магний               | 2,200    | -0,785   | 6,10     | -0,500   | 1,970    |
| Титан                | 0,958    | -0,462   | 2,14     | -0,189   | 0,698    |
| Цинк                 | 0,838    | 0,110    | 2,64     | -0,772   | 2,860    |

Для построения векториальных моделей модулей упругости  $E$  и  $G$  в зависимости от направления используется сферическая система координат (рис. 1), где

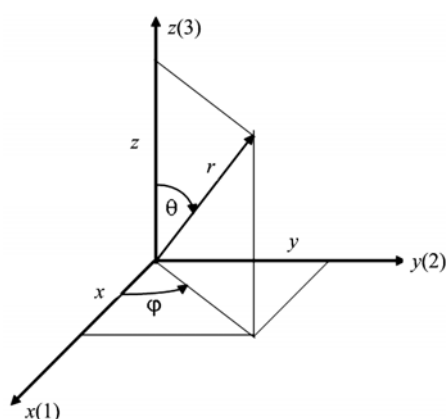


Рис. 1. Сферическая система координат, используемая для построения векториальных моделей упругих модулей монокристаллов

$$\begin{aligned} x &= r \sin(\theta) \cos(\varphi); \\ y &= r \sin(\theta) \sin(\varphi); \\ z &= r \cos(\theta), \end{aligned} \quad (11)$$

а направляющие косинусы равны:

$$\begin{aligned} a_{11} &= x / r = \sin(\theta) \cos(\varphi); \\ a_{12} &= y / r = \sin(\theta) \sin(\varphi); \\ a_{13} &= z / r = \cos(\theta) \end{aligned} \quad (12)$$

На основе преобразования тензора 4-го ранга, описывающего упругие податливости кристалла, и применяя значение податливостей относительно кристаллографических осей, после преобразований получим формулы для определения модуля Юнга  $E$  и модуля сдвига  $G$  [5, 6].



Модуль Юнга и модуль сдвига для кубических кристаллов

$$E = \frac{1}{s_{11} - 2 \left[ (s_{11} - s_{12}) - \frac{1}{2} s_{44} \right] (a_{11}^2 a_{12}^2 + a_{12}^2 a_{13}^2 + a_{13}^2 a_{11}^2)}; \quad (13)$$

$$G = \frac{1}{s_{44} + 4 \left[ (s_{11} - s_{12}) - \frac{1}{2} s_{44} \right] (a_{11}^2 a_{12}^2 + a_{12}^2 a_{13}^2 + a_{13}^2 a_{11}^2)}, \quad (14)$$

где  $s_{11}$ ,  $s_{12}$  и  $s_{44}$  — значения констант податливости для кубических кристаллов (три константы).

Модули упругости и сдвига для гексагональных кристаллов определяются по формулам:

$$E = \frac{1}{s_{11} (1 - a_{13}^2)^2 + s_{33} a_{13}^4 + (2s_{13} + s_{44}) a_{13}^2 (1 - a_{13}^2)}; \quad (15)$$

$$G = \frac{1}{s_{44} + \left[ (s_{11} - s_{12}) - \frac{1}{2} s_{44} \right] (1 - a_{13}^2) + 2(s_{11} + s_{33} - 2s_{13} - s_{44}) a_{13}^2 (1 - a_{13}^2)}, \quad (16)$$

где  $s_{11}$ ,  $s_{12}$ ,  $s_{13}$ ,  $s_{33}$  и  $s_{44}$  — значения констант податливости для гексагональных кристаллов (пять констант).

Выражая направляющие косинусы через тригонометрические функции углов  $\varphi$  и  $\theta$  сферической системы координат (12), получим зависимости для определения модуля Юнга  $E_i$  и модуля сдвига  $G_i$  для кубических и гексагональных монокристаллов, определяемые длиной радиуса-вектора в сферической системе координат. Углы  $\varphi$  и  $\theta$  задаются таким образом, чтобы охваченной оказалась вся сфера, т. е. все возможные направления. Выбирается интервал, через который эти углы задаются, для того чтобы получить конечное число  $n$  значений модуля упругости, распределенных в различных направлениях на сфере. Длина радиус-вектора, являющегося значением модуля упругости в заданном направлении, после определения тригонометрических функций вычисляется в зависимости от долготы  $\varphi$  и широты  $\theta$ , задаваемых с определенным интервалом по (13)—(16).

Затем выполняется построение векториальных моделей, дающих наглядное представление об анизотропии упругих свойств материалов и их значениях, являющихся исходными данными для определения физико-механических характеристик поликристаллических материалов. На рис. 2 и 3 представлены векториальные модели упругих свойств модуля Юнга, модуля сдвига для металлов с кубической и гексагональной кристаллическими решетками.

Для изотропного материала векториальные модели представляют собой сферическую поверхность, так как упругие свойства не зависят от направления. Для анизотропных материалов векториальные модели являются сложными пространственными фигурами (см. рис. 2 и 3) и позволяют определить направления по отношению к кристаллографическим осям, для которых зна-

чения модуля Юнга и модуля сдвига являются экстремальными. Из рассмотрения векториальных моделей можно судить о высокой анизотропии упругих свойств (табл. 3).

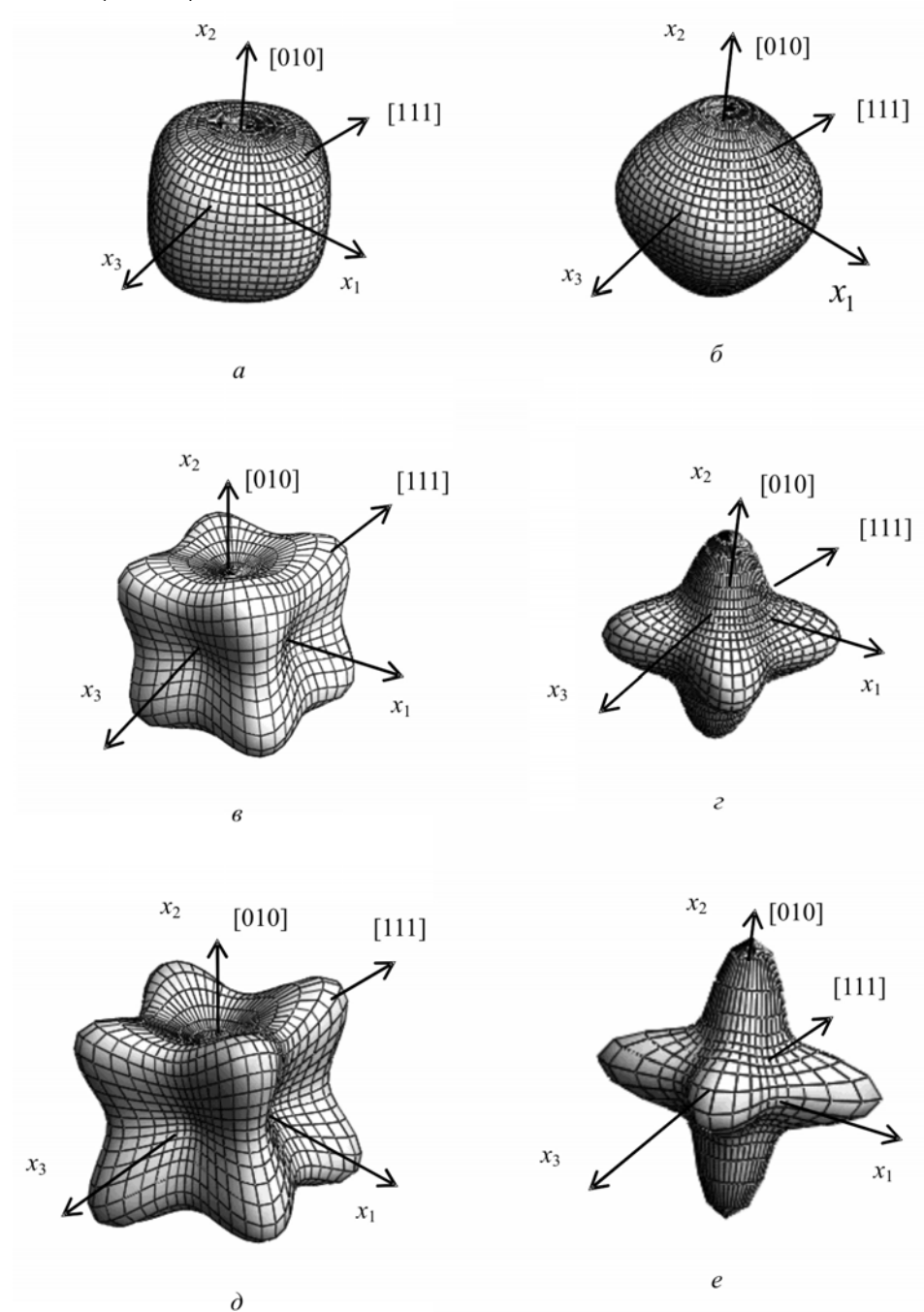


Рис. 2. Векториальные модели упругих свойств кубических кристаллов: *a, б* — алюминия; *в, г* — железа; *д, е* — меди; *a, в, д* — для модуля Юнга; *б, г, е* — для модуля сдвига

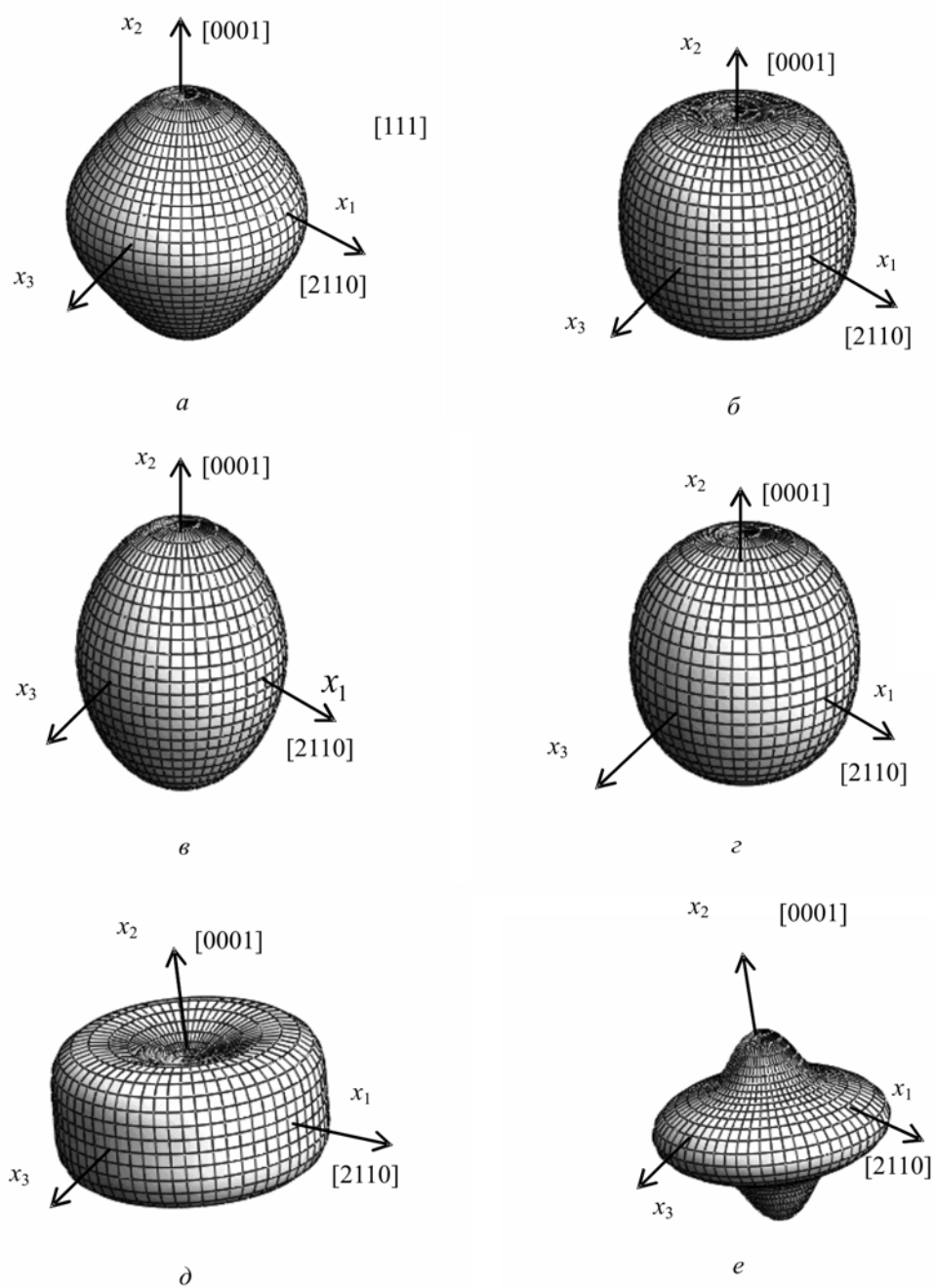


Рис. 3. Векториальные модели упругих свойств гексагональных кристаллов:  $a, б$  — магния;  $в, г$  — титана;  $д, е$  — цинка;  $a, в, д$  — для модуля Юнга;  $б, г, е$  — для модуля сдвига

Таблица 3

*Характеристики анизотропии упругих свойств*

| Наименование металла | $\frac{E_{\max}}{E_{\min}}$ | $\frac{G_{\max}}{G_{\min}}$ |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Алюминий             | 1,20                        | 1,16                        |
| Железо               | 2,14                        | 1,94                        |
| Медь                 | 2,86                        | 2,48                        |
| Магний               | 1,18                        | 1,07                        |
| Титан                | 1,43                        | 1,19                        |
| Цинк                 | 3,55                        | 1,79                        |

Поликристаллы являются конгломератами различно ориентированных зерен (кристаллитов) [6—8]. Поэтому физико-механические свойства поликристаллов зависят от физико-механических свойств монокристалла из того же материала, что и поликристаллический металл. Средние значения упругих свойств поликристалла определяются для всех возможных направлений, исходящих из центра сферической системы координат, путем осреднения всех полученных значений по (17)

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}; \quad \bar{G} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n}, \quad (17)$$

где  $E_i$ ,  $G_i$  — модуль Юнга и модуль сдвига соответственно в  $i$ -м направлении;  $n$  — число взятых направлений, охватывающее все возможные и определяемые заданными значениями углов  $\varphi$  и  $\theta$ .

Сопоставление расчетных и экспериментальных значений упругих свойств различных поликристаллов свидетельствует о возможности применения разработанных методов для определения упругих свойств, используемых в решениях задач физики, механики деформируемого твердого тела, а также может способствовать решению вопросов прогнозирования физико-механических свойств конструкционных материалов. Сравнение результатов, полученных по предложенному способу, с результатами, взятыми из справочной литературы [9] для кубических и гексагональных кристаллов, приведены в табл. 4 и 5 соответственно.

Таблица 4

*Упругие свойства кристаллов*

| Модуль упругости $E$ , ГПа      | Кубические кристаллы |        |       |        |
|---------------------------------|----------------------|--------|-------|--------|
|                                 | Алюминий             | Железо | Медь  | Никель |
| По данным справочной литературы | 72                   | 200    | 118   | 204    |
| По разработанному способу       | 69,6                 | 189,7  | 112,4 | 200    |
| Процент расхождении, %          | 3,3                  | 5,2    | 6,3   | 2,4    |

Т а б л и ц а 5

## Упругие свойства кристаллов

| Модуль упругости $E$ , ГПа      | Гексагональные кристаллы |        |       |      |
|---------------------------------|--------------------------|--------|-------|------|
|                                 | Кварц                    | Магний | Титан | Цинк |
| По данным справочной литературы | 98                       | 43     | 115   | 82   |
| По разработанному способу       | 97,1                     | 45,6   | 120,6 | 83,6 |
| Процент расхождения, %          | 0,96                     | 2,43   | 4,64  | 1,94 |

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Най Дж. Физические свойства кристаллов. М. : Мир, 1967. 385 с.
2. Зубчанинов В. Г. Основы теории упругости и пластичности. М. : Высш. шк., 1990. 368 с.
3. Келли А., Гровс Г. Кристаллография и дефекты в кристаллах. М. : Мир, 1974. 496 с.
4. Хантингтон Г. Упругие постоянные кристаллов // Успехи физических наук. 1961. Т. 74. Вып. 2. С. 302. Вып. 3. С. 464.
5. Кукса Л. В. Механика структурно-неоднородных материалов на микро- и макроуровнях. Волгоград : ВолгГАСА, 2002. 160 с.
6. Bunge H. J., Schwarzer R. Orientierungstereologie — ein neuer Zweig der Texturforschung // Contact. Zeitschrift des Vereins von Freunden der Technischen Universität Clausthal. 1998, № 2. S. 67—73.
7. Кукса Л. В. Микродеформации и механические свойства поликристаллических сплавов при статических, динамических и высокотемпературных испытаниях. Физика металлов и металловедение. 1997. Т. 84. Вып. 1. С. 96—105.
8. Шмид Е., Боас В. Пластичность кристаллов, в особенности металлических. М. : ГОНТИ, 1938. 318 с.
9. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. М. : Машиностроение, 1974. Т. 1. 367 с.
1. Nay Dzh. Fizicheskie svoystva kristallov. M. : Mir, 1967. 385 s.
2. Zubchaninov V. G. Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti. M. : Vyssh. shk., 1990. 368 s.
3. Kelli A., Grovs G. Kristallografiya i defekty v kristallakh. M. : Mir, 1974. 496 s.
4. Khantington G. Uprugie postoyannye kristallov // Uspekhi fizicheskikh nauk. 1961. T. 74. Vyp. 2. S. 302. Vyp. 3. S. 464.
5. Kuksa L. V. Mekhanika strukturno-neodnorodnykh materialov na mikro- i makrourovnyakh. Volgograd : VolgGASA, 2002. 160 s.
6. Bunge H. J., Schwarzer R. Orientierungstereologie — ein neuer Zweig der Texturforschung // Contact. Zeitschrift des Vereins von Freunden der Technischen Universität Clausthal. 1998, № 2. S. 67—73.
7. Kuksa L. V. Mikrodeformatsii i mekhanicheskie svoystva polikristallicheskich splavov pri staticheskikh, dinamicheskikh i vysokotemperaturnykh ispytaniyakh. Fizika metallov i metallove-denie. 1997. T. 84. Vyp. 1. S. 96—105.
8. Shmid E., Boas V. Plastichnost' kristallov, v osobennosti metallicheskich. M. : GONTI, 1938. 318 s.
9. Fridman Ya. B. Mekhanicheskie svoystva metallov. M. : Mashinostroenie, 1974. T. 1. 367 s.

© Кукса Л. В., Арзамаскова Л. М., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Кукса Л. В., Арзамаскова Л. М. Упругие свойства поликристаллов различных металлов и их определение на основе построения векториальных моделей модуля Юнга и модуля сдвига для монокристаллов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 101—109.

УДК 621.643.053:624.042.7(204.1)

**Л. В. Муравьева**

### **ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

Рассмотрены методы расчета на сейсмостойкость сооружений с учетом влияния водной среды. Предложен метод задания сейсмических воздействий на подводные трубопроводы на основании вероятностного метода.

**Ключевые слова:** морской подводный трубопровод, оценка сейсмостойкости, спектральный метод.

Calculation methods for seismic durability of constructions taking into account the influence of water environment are considered by the authors. The method of determination of seismic impacts on underwater pipelines on the basis of the probability method is offered.

**Key words:** sea underwater pipeline, seismic durability assessment, spectral method.

Требования, предъявляемые к конструктивной надежности подводных трубопроводов, намного выше требований, предъявляемых к подземным и надземным трубопроводам. Это связано с большей агрессивностью среды, со значительными механическими воздействиями, а также со сложностью ремонтных работ.

Существенной особенностью динамического расчета подводных трубопроводов является необходимость совместного решения уравнений деформации круглой цилиндрической оболочки и уравнений гидродинамики для водной среды, взаимодействующей с ней.

Ввиду того, что в общем виде решение гидроупругих задач сложно, для упрощения используют допущения, связанные:

- с особенностями конструкций трубопровода (балочные системы на жестких или упругих опорах, на упругом основании);

- с учетом гидродинамического воздействия, в том числе вязкости, волнения свободной поверхности, допущения об идентичности собственных форм конструкции в пустоте и жидкости и т. д.

Степень повреждения трубопроводов во время землетрясения зависит от целого ряда факторов: силы сейсмического воздействия и направления распространения сейсмических волн, геологических и гидрогеологических условий, эксплуатационно-технологических нагрузок, конструкции трубопровода и стыков, характеристик материала труб, степени изношенности трубопровода. Почти всегда после землетрясений аварийность на трубопроводах возрастает, однако службы, эксплуатирующие трубопроводы, по ряду причин не всегда связывают повышение аварийности с произошедшим землетрясением.

Методика проверки трубопровода на сейсмостойкость существенно отличается от методик проверок других конструкций, поскольку для них основную опасность представляют не инерционные нагрузки, а напряжения из-за взаимных перемещений сечений вследствие прохождения через грунт сейсмических волн, сдвига конструкции вместе с окружающим грунтом.

Задачи о сейсмических колебаниях системы с конечным числом степеней свободы часто используются в качестве расчетных моделей различных сооружений, в том числе и гидротехнических.

Если система при колебаниях взаимодействует с жидкостью, то на каждую массу  $m_k$ , кроме сил инерции, будут действовать еще силы гидродинамического давления воды. Рассматривая только инерционную составляющую гидродинамического давления, система уравнений записана в виде [1]

$$y_k^*(t) = -\sum_{v=1}^n m_v \delta_{kv} \ddot{y}_v(t) + \sum_{v=1}^n P_v^e(t) \delta_{kv} - \ddot{Y}_0(t) \sum_{v=1}^n m_v \delta_{kv} + \sum_{v=1}^n P_v^0 \delta_{kv}, \quad (1)$$

где  $P_v^0$ ,  $P_v^e$  — равнодействующие сил гидродинамического давления, действующие на массу  $m$  при ее переносном и упругом перемещениях.

Запишем уравнение для сейсмической нагрузки, действующей на  $k$ -ю массу при колебаниях по  $i$ -й форме. Сейсмическая нагрузка складывается из инерционной нагрузки и гидродинамического давления жидкости. Тогда выражение (1) приобретает вид

$$S_{ik}^* = \omega_i^2 \left[ m_k X_{ik} \xi_i^*(t) + P_k \right] = m_k \omega_i^2 X_{ik} \xi_i^*(t), \quad (2)$$

а для суммарной нагрузки на массу  $m_k$  получим

$$S_k^*(t) = \sum_{i=1}^n S_{ik}^*(t) = m_k \sum_{i=1}^n \omega_i^2 X_{ik} \xi_i^*(t). \quad (3)$$

После подстановки  $\xi_i^*(t)$  получим формулу

$$S_k^*(t) = -m_k \sum_{i=1}^n X_{ik} D_i^* \omega_i^2 \int_0^t \ddot{Y}_0(\tau) \sin \omega_i^*(t - \tau) d\tau, \quad (4)$$

где  $D_i^*$  — коэффициент формы колебаний с учетом присоединенной массы жидкости  $D_i^* = \sum_{v=1}^n (m_v + \mu_v) X_{iv} / \sum_{v=1}^n m_v X_{iv}^2$ ;  $\mu_v$  — коэффициент присоединенной массы жидкости.

Целью данного исследования является оценка сейсмостойкости морского подводного трубопровода с учетом влияния окружающей водной среды на основании вероятностного подхода определения сейсмических нагрузок.

Вероятностная постановка задачи связана с тем, что колебания основания сооружения при землетрясении являются случайными функциями времени, т. е. каждое землетрясение представляет собой реализацию некоторого случайного процесса. Ускорение грунта рассматривается как стационарный случайный процесс.

Спектральная плотность ускорений грунта, описывающая частотный состав воздействия, выражается через корреляционную функцию как

$$S_0(\omega) = 2 \int_0^\infty K_0(\tau) \cos \omega \tau d\tau. \quad (5)$$

При известной спектральной плотности могут быть вычислены параметры колебательной системы на выходе: смещений, ускорений, нагрузок. Вероятностные свойства сейсмического воздействия в этом случае полностью определяются заданием функции  $K_0(\tau)$ . При определении функции предполагается, что стационарный случайный процесс, описывающий ускорение грунта, является эргодическим [1].

При обработке акселерограмм землетрясений обычно строятся нормированные корреляционные функции

$$R_0(\tau) = \frac{K_0(\tau)}{K_0(0)}, \quad (6)$$

где  $K_0(0) = \bar{W}_0^2(t)$  — средний квадрат сейсмических ускорений грунта.

Эти функции аппроксимируются аналитическими выражениями типа

$$R_0(\tau) = \cos \omega_0 \tau \exp(-\alpha |\tau|). \quad (7)$$

В этом случае спектральную плотность ускорения грунта после преобразований представим в виде

$$S(\omega) = D \frac{2}{\pi} \alpha \frac{m^2 + \omega^2}{m^4 + 2a \omega^2 + \omega^4}, \quad (8)$$

где  $\alpha$  — коэффициент спектральной плотности.

Расчет по линейной спектральной теории для случая проектного землетрясения (ПЗ) ведется исходя из нормированной спектральной плотности (рис. 1).

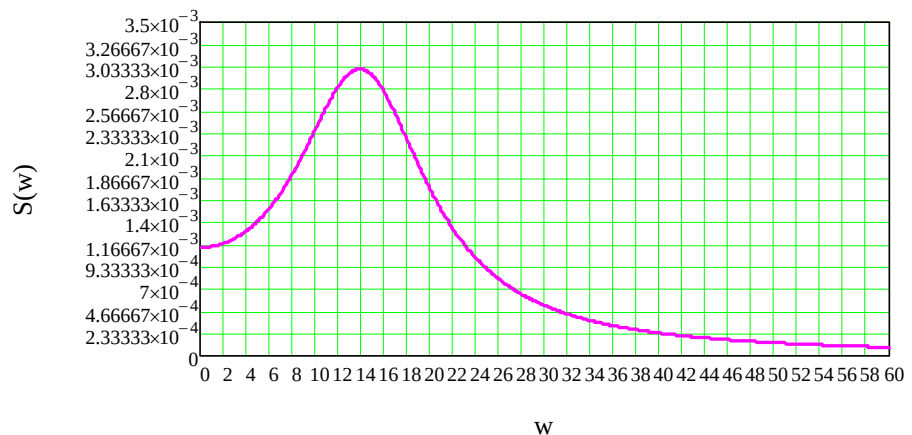


Рис. 1. Спектральная плотность ускорения  $S(\omega)$

Коэффициенты спектральной плотности  $\alpha = 6 \text{ с}^{-1}$ ;  $\theta = 14 \text{ с}^{-1}$ .

Связь между спектральными плотностями процессов на входе и выходе определяется соотношением

$$S_r(\omega) = |\Phi(i\omega)|^2 S_e(\omega), \quad (9)$$

где  $\Phi(i\omega)$  — передаточная функция системы.



Спектральную плотность и дисперсию перемещений линейной системы получаем по формуле

$$D_{e_i} = \int_{-\infty}^{\infty} s_{e_i}(\omega) |\Phi(i\omega)|^2 d\omega. \quad (10)$$

В настоящее время имеется ряд работ В. В. Болотина, С. Г. Шульмана, Н. А. Николаенко, В. А. Пшеничкиной, где описанный подход успешно применяется к решению задач сейсмостойкости.

Математическая модель колебаний подводного трубопровода под действием сейсмической нагрузки описывается линейным стохастическим оператором [2]

$$(m + m_{np}) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + (C + 2K_D K_L) \frac{\partial y}{\partial t} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - N \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \tilde{F}(t), \quad (11)$$

где  $K_D = \frac{1}{2} \rho D C_D$ ,  $K_L = \sqrt{\frac{8}{\pi}} \sigma_v$  с начальными и соответствующими краевыми условиями при  $t = 0$ ;  $x(t) = 0$ ;  $x'(t) = 0$ .

Уравнение колебаний трубопровода в обобщенных координатах под действием сейсмической нагрузки в горизонтальном направлении

$$\ddot{T}_i(t) + (\xi_{st} + \xi_s) \dot{T}_i(t) + \omega_i^2 T_i(t) = \frac{1}{m_s + m_a} \tilde{F}_h(t) \quad (12)$$

и вертикальном направлении

$$\ddot{T}_i(t) + \xi_{st} \xi_h \dot{T}_i(t) + \omega_i^2 T_i(t) = \frac{1}{m_s + m} \tilde{F}_v(t), \quad (13)$$

где  $m_s, m_a, \xi_{st}, \xi_s$  — соответственно масса трубопровода на 1 пог. м, присоединенная масса воды, конструктивный коэффициент демпфирования трубопровода и коэффициент демпфирования грунта основания;  $\xi_h = \left( \beta_1 - \frac{b \rho v^2}{k_n} \right) / EJ$  — коэффициент гидродинамического демпфирования [3].

Расчет морского подводного трубопровода на сейсмостойкость для ПЗ проводится линейно-спектральным методом в следующей последовательности. Для анализа напряженно-деформированного состояния выбираются наиболее ответственные сечения трубопровода, вычисляется спектральная плотность и дисперсия деформаций в  $i$ -й точке линейной системы, согласно (7), (8) определяется уровень напряжений в сечении трубопровода.

При выполнении анализа конструкции на сейсмическое воздействие с помощью стандартных модулей расчетной программы выполняется расчет по квазистатическому методу.

Для решения проблемы динамического расчета конструкции используют два основных метода:

- 1) разложение по собственным формам;
- 2) прямое интегрирование уравнений движения.

Параметры подводного трубопровода, учитываемые в расчетах сейсмической стойкости: внутренний диаметр трубопровода, толщина стенки трубы, внутреннее давление транспортируемого продукта, глубина моря на рассматриваемом участке.

Динамическое воздействие задается акселерограммой [2]. При формировании матрицы масс учитываются присоединенные элементы среды, взаимодействующие с сооружением.

Прочность грунта может быть оценена по модулю сдвига  $G$ :

$$G_{\max} = 625 \frac{OCR^{k_s}}{0,3 + 0,7e_s^2} \sqrt{\sigma_a \sigma_s}, \quad (14)$$

где  $\sigma_s$  — среднее эффективное напряжение (в единицах кПа);  $OCR$  — отношение избыточной консолидации для глинистых грунтов, для песков принимается равным 1,0;  $k_s$  — коэффициент, определяемый согласно [3];  $\sigma_a$  — атмосферное давление (100 кПа).

При воздействии максимального расчетного землетрясения в подводном трубопроводе не должны появляться разрывы и зоны разгерметизации. Проверка по напряжениям выполняется согласно требованию [4]

$$\sigma_{\max} \leq 1,1R_e. \quad (15)$$

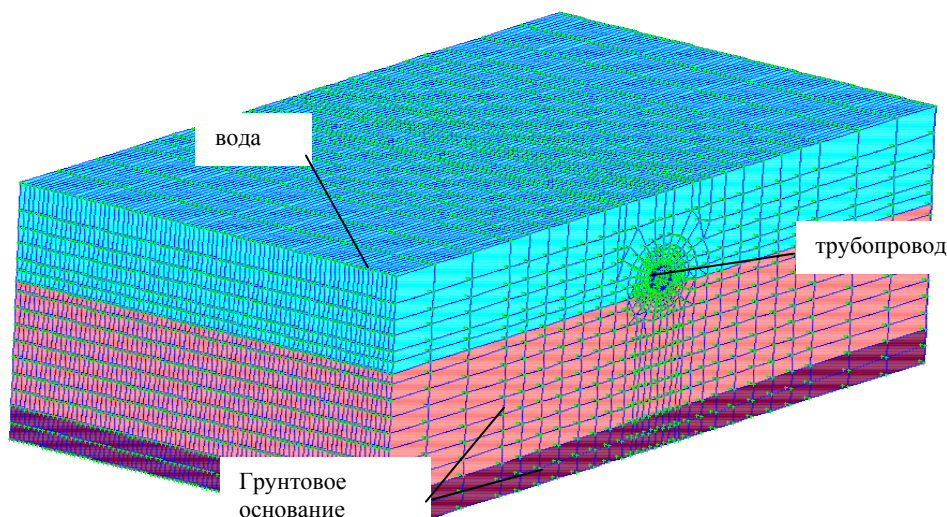


Рис. 2. Конечно-элементная модель незаглубленного морского трубопровода

Учет сейсмических воздействий производится с использованием метода суперпозиции, т. е. путем добавления сейсмических напряжений к напряжениям, вызванным действием статических нагрузок [2, 5, 6].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. Справочник-проектировщика / под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. М. : Стройиздат, 1984. 215 с.
2. Муравьева Л. В. Оценка риска морского трубопровода при сейсмических воздействиях // Труды RAO/GIS Offshore 2009. СПб., 15—18 сентября 2009.

3. "Free Spanning Pipeliners" Recommended Practice DNV-RP-F105. Det Norske Veritas, 2002. 39 p.
4. Правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов. СПб. : Российский морской регистр судоходства, 2012. 203 с.
5. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. М. : Минрегион России, 2011. 82 с.
6. СТО Газпром 2-2.1-249-2008. Магистральные газопроводы. ИРЦ «Газпром», 2008. 64 с.
1. Dinamicheskiy raschet sooruzheniy na spetsial'nye vozdeystviya. Spravochnik-proektirovshchika / pod red. B. G. Koreneva, I. M. Rabinovicha. M. : Stroyizdat, 1984. 215 s.
2. Muraveva L. V. Otsenka riska morskogo truboprovoda pri seysmicheskikh vozdeystviyakh // Trudy RAO/GIS Offshore 2009. SPb., 15—18 sentyabrya 2009.
3. "Free Spanning Pipeliners" Recommended Practice DNV-RP-F105. Det Norske Veritas, 2002. 39 p.
4. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh podvodnykh truboprovodov. SPb. : Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva, 2012. 203 s.
5. SP 14.13330.2011. Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh. M. : Minregion Rossii, 2011. 82 s.
6. STO Gazprom 2-2.1-249-2008. Magistral'nye gazoprovody. IRTs «Gazprom», 2008. 64 s.

© Муравьева Л. В., 2013

*Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Муравьева Л. В. Проверка прочности подводных трубопроводов при сейсмических воздействиях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 110—115.*

## **ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

УДК 628.16.081.33

**Л. В. Боронина, Г. Б. Абуова, Т. Ф. Рыльцева,  
Г. Л. Гиззатова, Ю. Н. Гончар, В. П. Батманов**

### **ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АДсорбЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ СИЛИКАТСОДЕРЖАЩИМИ ЧАСТИЦАМИ**

Экспериментально и теоретически (квантово-химически) изучены характеристики сорбционных процессов, протекающих в природных силикатных минералах при очистке водных сред.

Показано преимущество кластерного подхода, заключающееся в надежном воспроизведении некоторых свойств поверхностных структур, имеющих локальный характер, при относительной простоте проведения расчетов.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** сорбционные процессы, кластерный подход, адсорбция.

The characteristics of sorption processes in natural silicate minerals at water environment purification are studied experimentally and theoretically (quantum chemically).

The advantage of cluster approach, consisting in reliable reproduction of some properties of surface structures, having local character, at relative simplicity of carrying out calculations is proved.

**Key words:** sorption processes, cluster approach, adsorption.

Экспериментально и теоретически (квантово-химически) изучены характеристики сорбционных процессов, протекающих в природных силикатных минералах при очистке водных сред, которые позволили сформулировать условия формирования моделей адсорбционных комплексов. При решении практических задач квантовой теории адсорбции и катализа широкое распространение получил так называемый кластерный (квазимолекулярный) подход к моделированию объемной структуры твердого тела, его поверхности и поверхностных комплексов. Твердое тело моделируется его небольшим незакрытым фрагментом с тем или иным способом устранения краевых эффектов, возникающих при «вырезании» кластера из кристаллической решетки; проводится анализ электронного строения и структуры кластера, адсорбционного комплекса с участием кластера и энергетики взаимодействия кластер — адсорбат. Преимущество кластерного подхода заключается в надежном воспроизведении некоторых свойств поверхностных структур, имеющих локальный характер, в частности специфической адсорбции полярных молекул и селективности адсорбентов при относительной простоте проведения расчетов: вместо рассмотрения кристаллической решетки твердого тела имеют дело с одной или несколькими ячейками.

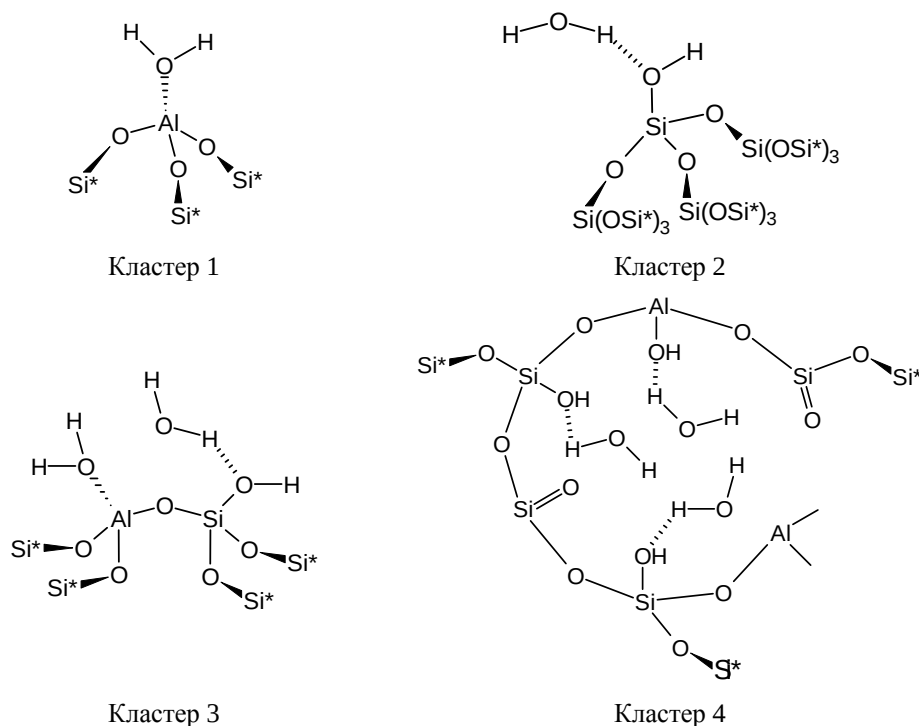
Главный недостаток кластерного подхода состоит в появлении разрыва химических связей граничных атомов кластера с остальной решеткой. Результатом этого является возникновение искусственных «поверхностных состояний», располагающихся частично в запрещенной зоне, искажение зарядового распределения и т. д. В кластере получается слишком много «поверхностных атомов». Чтобы достигнуть более правильного отношения поверхность — объем, нужно рассматривать настолько протяженные кластеры, что при этом сам подход теряет смысл. Расчетные характеристики электронной структуры, в которых важны коллективные свойства твердого тела, с ростом размеров кластеров сходятся медленно. Это относится к энергии уровня Ферми, потенциалам ионизации, сродству к электрону, энергии атомизации. Однако в расчетах адсорбции и хемосорбции, где определяющими являются локальные взаимодействия, кластерный подход оказывается вполне удовлетворительным. Помимо очевидного пути улучшения результатов расчетов, заключающегося в расширении кластера, распространение получил подход, состоящий во введении граничных атомов, которые используются для насыщения оборванных внешних валентностей кластера и служат для учета влияния окружения кластера, т. е. остальной части решетки твердого тела.

Квантово-химические расчеты адсорбции молекул бензола, нафталина, фенолов, антибиотиков, поверхностно-активных веществ на поверхности алюмосиликатов и кремнеземов выполнены с использованием кластерного подхода полуэмпирическими методами, основанными на так называемом приближении NDDO (Neglect of Diatomic Differential Overlap — пренебрежение двухатомным дифференциальным перекрыванием). Большая часть расчетов выполнена методом PM3, для сравнения некоторые модели АК рассчитаны методами MNDO и AM1. Расчеты проводились с использованием программы MOPAC 97. Некоторые модели были рассчитаны также *ab initio* по программе GAMESS. Кластеры содержали следующие активные центры поверхности алюмосиликатов и кремнеземов: неполностью координированный атом Al (льюисовский кислотный центр, ЛКЦ), силанольную  $\equiv\text{SiOH}$  и силоксановую  $=\text{Si=O}$  группы, адсорбированные молекулы воды, мостиковую OH-группу (бренстедовские кислотные центры, БКЦ).

Граничные условия для кластеров, т. е. влияние атомов, находящихся в объеме твердого тела, на атомы поверхностной группировки, входящие в состав кластера, учитывали при помощи модели орбитально-стехиометрического кластера (ОСК) А. О. Литинского [1]. В основе модели ОСК — разделение твердого тела на ковалентно-квазине независимые кластерные псевдо-ячейки с использованием от граничных атомов (ГА) гибридных локализованных орбиталей (ГЛО), ориентированных внутрь кластера. Так как выделяемый фрагмент представляет собой кристаллическую псевдо-ячейку, то орбитальный, электронный и осто-вный состав ОСК, моделирующий объемный фрагмент идеального кристалла, должен соответствовать стехиометрии моделируемого объекта. В базисный набор ОСК входят все валентные атомные орбитали и электроны внутренних атомов, а от граничных атомов только те ГЛО, которые отвечают  $\sigma$ -связям с внутренними атомами. Число электронов и заряд остова, вносимые в ОСК от ГА (которые в общем случае могут быть и дробными), соответствует доле ГЛО, участвующих в базисе ОСК. Суммарное по всем атомам число электронов, число базисных орбиталей

и суммарный заряд остова должны быть равными или кратными тем целым величинам, которые соответствуют формульной единице моделируемой структуры. Переход от ОСК, моделирующего объемную структуру твердого тела, к кластерным моделям поверхностных центров осуществляется разделением «объемного» ОСК на составные части, соответствующие моделируемым центрам поверхности. Граничные связи кластеров сорбентов замыкали на ГА кремния  $\text{Si}^*$ . Каждый атом  $\text{Si}^*$  вносит в базис ОСК одну  $\text{sp}^3$ -гибридную орбиталь, ориентированную в сторону соседнего внутрикластерного атома кислорода, один электрон и заряд остова 1. Это означает, что ГА кремния участвуют в ОСК не целиком, а только «частью» (одной четвертью), соответствующей доле его участия в химической связи с соседним атомом кислорода.

Использованные в расчетах модели кластеров, содержащих активные центры поверхности кремнезема и алюмосиликатов, приведены на рис.



Структуры кластеров сорбентов

Сравнение теоретических ( $\Delta E_{\text{расч}}$ ) и экспериментальных ( $\Delta E_{\text{эксп}}$ ) энергий адсорбции органических веществ и возможность их моделирования [2, 3] представлены в табл. 1.

Как видно из теоретических и экспериментальных данных, энергии формирования адсорбционных комплексов органических веществ малоразличимы для всех рассмотренных кластеров (см. табл. 1). Следовательно, конфигурация кластера для адсорбции углеводородов на кремнеземах и алюмосиликатах не имеет решающего значения. Энергия адсорбции зависит, прежде всего, от наличия и расположения гидроксильных групп и молекул воды в кластере.

Таблица 1

Энергии адсорбции углеводородов, полученные в результате квантово-химических расчетов методом РМЗ ( $\Delta E_{\text{расч}}$ ) и эксперимента ( $\Delta E_{\text{эксп}}$ ), кДж/моль

| Сорбат    | $-\Delta E_{\text{расч}}$ для кластеров |      |      |      | $-\Delta E_{\text{эксп}}$ |
|-----------|-----------------------------------------|------|------|------|---------------------------|
|           | КЛ-1                                    | КЛ-2 | КЛ-3 | КЛ-4 |                           |
| Гексан    | 7,45                                    | 7,45 | 7,50 | 7,50 | 7,59                      |
| Октан     | 6,75                                    | 6,80 | 6,80 | 7,10 | 6,10                      |
| Изооктан  | 5,70                                    | 5,80 | 5,80 | 5,90 | 5,87                      |
| Бензол    | 8,9                                     | 5,30 | 5,7  | 5,40 | 5,28                      |
| Толуол    | 5,35                                    | 5,9  | 5,7  | 5,45 | 6,10                      |
| Нафталин  | 6,35                                    | 6,0  | 6,42 | 6,48 | 6,62                      |
| Антрацен  | 6,25                                    | 6,35 | 6,30 | 6,35 | 6,10                      |
| Фенантрен | 6,37                                    | 6,40 | 6,42 | 6,40 | 6,10                      |
| Тетрацен  | 6,43                                    | 6,20 | 6,42 | 6,30 | 6,10                      |
| Хризен    | 6,35                                    | 6,40 | 6,40 | 6,50 | 6,10                      |

Примечание:  $\Delta E_{\text{эксп}}$  идентично величине  $\Delta H$ .

Результаты расчетов и известные данные по адсорбции углеводородов на кремнеземах и алюмосиликатах позволяют считать, что основой образования адсорбционного комплекса в случае сорбции ароматических углеводородов и алкенов является образование  $\pi$ -комплекса между гидроксильрованными поверхностями пор сорбента и сорбата. Энергия активации этого процесса представляет собой энергию активации формирования дублетов в системе «сорбент — сорбат». Увеличение углеводородной цепи, так же как и усложнение структуры самого углеводорода, приводит к возрастанию  $E_{\text{акт}}$ .

Дегидратация алюмосиликата вызывает уменьшение адсорбции не только полярных веществ, но и ароматических углеводородов. Это указывает на кислотно-основной механизм специфического взаимодействия с алюмосиликатом ароматических углеводородов, являющихся слабыми основаниями. Адсорбция ароматических углеводородов на гидратированной поверхности алюмосиликата связана с донорно-акцепторным взаимодействием между электронодонорной молекулой — ароматическим углеводородом — и электроноакцепторными группами алюмосиликата.

Как известно, насыщенные углеводороды — алканы и нафтенy — не обладают свойствами оснований. Эти углеводороды не могут вступать в донорно-акцепторное взаимодействие с силикатсодержащими частицами, они адсорбируются за счет вандерваальсового взаимодействия, величина которого мало зависит от степени дегидратации поверхности.

Специфический характер взаимодействия  $\pi$ -электронов непредельных соединений с полярными группами на поверхности силикатов считается доказанным, в том числе с помощью ИК-спектров кремнезема, погруженного в растворы ароматических соединений. Существуют корреляции между  $\sigma$ -константой Гаммета донорного заместителя и сдвигом полосы валентного колебания ОН-группы  $\Delta\nu_{\text{ОН}}$ : чем больше  $\sigma$ , тем больше  $\Delta\nu_{\text{ОН}}$ . Специфичность взаимодействия, таким образом, подразумевает существование локализации электронной плотности. Бензол образует с поверхностью силикатсодержащей частицы комплексы  $\pi$ -электрон — протон ОН-группы, причем основными

центрами адсорбции являются изолированные, т. е. не связанные водородной связью, гидроксогруппы. В то же время в некоторых случаях адсорбция с участием парных гидроксогрупп при низких степенях заполнения поверхности выгоднее адсорбции с участием изолированных групп.

Таблица 2

*Энергии адсорбции органических соединений, не содержащих азот, полученные в результате квантово-химических расчетов ( $\Delta E_{\text{расч}}$ ) и эксперимента ( $\Delta E_{\text{эксп}}$ ), кДж/моль*

| Сорбат                      | $-\Delta E_{\text{расч}}$ для кластеров |       |       |       | $-\Delta E_{\text{эксп}}$ |
|-----------------------------|-----------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|
|                             | КЛ-1                                    | КЛ-2  | КЛ-3  | КЛ-4  |                           |
| фенол                       | 12,50                                   | 15,10 | 15,10 | 13,20 | 15,06                     |
| 2-хлорфенол                 | 8,90                                    | 10,50 | 11,50 | 10,05 | 11,09                     |
| 2,4-дихлорфенол             | 7,50                                    | 10,50 | 13,50 | 10,10 | 13,64                     |
| 2-нитрофенол                | 7,50                                    | 10,50 | 12,00 | 14,10 | 11,56                     |
| 4-нитрофенол                | 6,50                                    | 10,50 | 13,00 | 15,10 | 11,58                     |
| 2,4-динитрофенол            | 7,80                                    | 10,50 | 14,50 | 16,00 | 13,71                     |
| 2-хлор-4-нитрофенол         | 9,50                                    | 10,50 | 12,50 | 14,50 | 11,98                     |
| Алкилфенол оп-10            | 6,20                                    | 7,50  | 7,80  | 7,10  | 7,98                      |
| Полиэтиленгликоль (ПЭГ-115) | 8,50                                    | 11,10 | 10,90 | 9,50  | 11,15                     |

*Примечание:* расчеты проведены методом РМЗ.

Анализ результатов показал, что величины энергии сорбции рассматриваемых органических соединений близки к теоретически рассчитанным величинам энергии сорбции этих веществ на кластерах (см. табл. 2). Это позволяет считать, что сорбция НПАВ и фенолов протекает за счет образования водородных связей между гидроксильными группами сорбатов и кластеров. Порядок полученных значений энергии адсорбции позволяет говорить об образовании слабых водородных связей, близких к вандерваальсовым силам. При этом наблюдается удовлетворительное согласие между расчетными и экспериментальными значениями  $\Delta E_{\text{эксп}}$ , образуются непрочные АК, поскольку все исследуемые вещества элюируются с различными органическими растворителями — спиртами, ацетоном, диоксаном, а также водными растворами кислот и щелочей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литинский А. О., Лебедев Н. Г. Модель ионно-встроенного орбитально-стехиометрического кластера для расчета взаимодействия поверхности твердых тел с молекулами газовой фазы // Журнал физической химии. 1995. Т. 69. № 1. С. 132—137.
2. Моделирование механизмов адсорбции ряда органических веществ на алюмосиликатах / Т. В. Алыкова, Н. М. Алыков, К. П. Пащенко, Н. И. Воронин, Н. Н. Алыков // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2003. Т. 46. № 6. С. 31—34.
3. Алыкова Т. В., Пащенко К. П. Расчеты моделей адсорбционных комплексов молекул ароматических соединений с активными центрами поверхности кремнезема и алюмосиликатов // Известия Вузов. Химия и химическая технология. 2004. Т. 47. № 2. С. 114—118.



1. Litinskiy A. O., Lebedev N. G. Model' ionno-vstroennogo orbital'no-stekhiometricheskogo klastera dlya rascheta vzaimodeystviya poverkhnosti tverdykh tel s molekulami gazovoy fazy // Zhurnal fizicheskoy khimii. 1995. T. 69. № 1. S. 132—137.

2. Modelirovanie mekhanizmov adsorbtsii ryada organicheskikh veshchestv na alyumosilikatakh / T. V. Alykova, N. M. Alykov, K. P. Pashchenko, N. I. Voronin, N. N. Alykov // Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. 2003. T. 46. № 6. S. 31—34.

3. Alykova T. V., Pashchenko K. P. Raschety modeley adsorbtsionnykh kompleksov molekul aromaticeskikh soedineniy s aktivnymi tsentrami poverkhnosti kremnezema i alyumosilikatov // Izvestiya Vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. 2004. T. 47. № 2. S. 114—118.

© Боронина Л. В., Абуова Г. Б., Рыльцева Т. Ф.,  
Гиззатова Г. Л., Гончар Ю. Н., Батманов В. П., 2013

*Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Изучение процесса адсорбции органических веществ в водных средах силикатсодержащими частицами / Л. В. Боронина, Г. Б. Абуова, Т. Ф. Рыльцева, Г. Л. Гиззатова, Ю. Н. Гончар, В. П. Батманов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 116—121.

УДК 628.16.081.34

**Л. В. Боронина, Г. Б. Абуова, Т. Ф. Рыльцева,  
Г. Л. Гиззатова, Ю. Н. Гончар, В. П. Батманов**

### **МОДЕЛИ АДсорбЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ С АКТИВНЫМИ ЦЕНТРАМИ КРЕМНЕЗЕМОВ И АЛЮМОСИЛИКАТОВ**

Приводятся результаты поиска условий, усиливающих хемосорбцию. Рассматривается механизм процесса адсорбции на силикатных минералах.

Результаты расчетов показывают, что практически для всех рассматриваемых моделей АК метод РМЗ позволяет получить минимум на поверхности потенциальной энергии (ППЭ) системы.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** адсорбционные комплексы, хемосорбция, кластеры.

The results of searching for conditions strengthening chemisorption are provided. The mechanism of adsorption process on silicate minerals is considered.

The results of calculations show that practically for all considered AK models the PM3 method allows receive the minimum on the surface of system's potential energy (SPE).

**Key words:** adsorption complexes, chemisorption, clusters.

Проводя научный поиск сорбентов, используемых при водоподготовке, мы заинтересовались информацией о процессах адсорбции, составе и свойствах веществ, образующихся при использовании сорбционных материалов, содержащих кремнезем и алюмосиликаты.

В предыдущих публикациях приводятся результаты экспериментов, подтверждающих образование в рассматриваемой среде адсорбционных комплексов (АК).

Когда ведется поиск новых сорбентов, обязательно требуются теоретические наработки, позволяющие оптимально рассчитывать модели АК селективными и, когда-нибудь, универсальными свойствами. В данном случае требуется сделать акцент на условиях, усиливающих хемосорбцию. Именно поэтому рассматривается механизм процесса адсорбции на силикатных минералах. Но соответствующие выводы формулируются на базе действующей методики расчетов моделей образующихся АК.

Рассчитанные модели АК представлены на рис. 1—8.

Некоторые характеристики рассчитанных моделей, адсорбционные комплексы (АК) приведены в табл. 1, 2. Обозначения в таблицах:  $E$  — полная энергия АК;  $\Delta E$  — теплота адсорбции;  $R$  — расстояние, отмеченное на рисунках знаком **o-----o** (расстояние между атомами, или между атомом и серединой связи, или между атомом и центром шестичленного цикла);  $\Delta q$  — заряд молекулы сорбата.

Теплоту адсорбции  $\Delta E_{\text{расч}}$  рассчитывали как разность между полной энергией АК и суммой полных энергий кластера и молекулы сорбата.

Результаты расчетов показывают, что практически для всех рассматриваемых моделей АК (за исключением АК 4) метод РМЗ позволяет получить минимум на поверхности потенциальной энергии (ППЭ) системы, причем глубина этого минимума, равная теплоте адсорбции, имеет порядок, существенно различный для БКЦ и ЛКЦ. Принципиально различна при этом и гео-

метрия наиболее устойчивых комплексов. Так, при адсорбции молекулы бензола на Al-центре наибольшая величина  $\Delta E$  достигается в случае, когда ЛКЦ находится на оси симметрии 6-го порядка бензола (рис. 1, АК 1), а при взаимодействии с БКЦ  $\Delta E$  максимальна для комплекса, в котором взаимодействие OH-группы происходит преимущественно с одним из атомов углерода бензола (АК 6, рис. 2). Отметим, что полученные для комплексов углеводородов с БКЦ расстояния между адсорбатом и водородом OH-группы существенно превышают характерные длины обычных H-связей. Такие взаимодействия между OH-группой и  $\pi$ -системой могут быть скорее отнесены к вандерваальсовым силам.

В условиях адсорбции из водных растворов, очевидно, ЛКЦ заняты молекулами воды (АК 10) и адсорбция в основном будет протекать через взаимодействие с БКЦ (рис. 3). Полученные экспериментальные значения  $\Delta H$  адсорбции углеводородов на С-1 хорошо согласуются с рассчитанными значениями  $\Delta E$  адсорбционных комплексов бензола и нафталина с БКЦ (табл. 1 и 2).

Т а б л и ц а 1

*Характеристики рассчитанных моделей адсорбционных комплексов (АК)  
с участием молекул бензола и воды*

| АК     | Метод расчета      | $E$ , эВ     | $\Delta E$ , кДж/моль | $R$ , Å         | $\Delta q$ , e |
|--------|--------------------|--------------|-----------------------|-----------------|----------------|
| АК 1   | PM3                | -1804,97728  | -98,4                 | 2,146           | 0,2148         |
| АК 1   | MNDO               | -1950,51810  | 0                     | >5<br>(min нет) | 0              |
| АК 1   | AM1                | -1934,97142  | -47,31                | 2,126           | 0,2176         |
| АК 2   | PM3                | -1804,50710  | -53,0                 | 2,456           | 0,1461         |
| АК 3   | PM3                | -1804,12857  | -16,5                 | 2,302           | 0,2050         |
| АК 4   | PM3                | -2138,58797  | 0                     | >5<br>(min нет) | 0              |
| АК 5   | PM3                | -2138,64910  | -5,9                  | 2,683           | 0,0024         |
| АК 6   | PM3                | -2138,68945  | -9,8                  | 2,626           | 0,0008         |
| АК 6   | AM1                | -2306,76173  | 0,3                   | 2,534           | 0,0025         |
| АК 6   | MNDO               | -2329,56068  | 0                     | >5<br>(min нет) | 0              |
| АК 6Si | PM3                | -5147,75384  | -11,6                 | 2,579           | 0,0003         |
| АК 6H  | ab initio<br>3-21G | -22235,66865 | -13,1                 | 2,438           | 0,0107         |
| АК 7   | PM3                | -2138,60047  | -1,2                  | 3,222           | 0,0004         |
| АК 8   | PM3                | -2138,62229  | -3,3                  | 2,985           | 0,0003         |
| АК 9   | PM3                | -2138,70173  | -11,0                 | 1,811           | -0,0157        |
| АК 9   | MNDO/H             | -2329,71236  | -14,6                 | 1,672           | -0,0227        |
| АК 9H  | ab initio<br>3-21G | -22235,73700 | -19,7                 | 2,312           | -0,0295        |
| АК 10  | PM3                | -1327,19378  | -110,9                | 1,864           | 0,2551         |
| АК 11  | PM3                | -2130,10624  | -8,9                  | 2,904           | 0,0047         |
| АК 12  | PM3                | -1660,95089  | -26,7                 | 1,792           | -0,0214        |
| АК 13  | PM3                | -2463,80554  | -3,3                  | 2,479           | 0,0105         |
| АК 14  | PM3                | -3140,65083  | -5,7                  | 2,795           | 0,0014         |

Таблица 2

*Характеристики рассчитанных моделей адсорбционных комплексов с участием молекул нафталина, фенола и хлорбензола*

| АК    | Метод расчета | $E$ , эВ    | $\Delta E$ , кДж/моль | $R$ , Å | $\Delta q$ , e |
|-------|---------------|-------------|-----------------------|---------|----------------|
| АК 15 | PM3           | -2309,02447 | -56,6                 | 2,155   | 0,2085         |
| АК 16 | PM3           | -2308,96084 | -50,5                 | 2,465   | 0,1511         |
| АК 17 | PM3           | -2643,12962 | -6,0                  | 2,600   | 0,0032         |
| АК 18 | PM3           | -2643,17354 | -10,2                 | 2,739   | 0,0013         |
| АК 19 | PM3           | -2098,64927 | -78,2                 | 2,151   | 0,2128         |
| АК 20 | PM3           | -2098,07206 | -22,4                 | 2,361   | 0,1535         |
| АК 21 | PM3           | -2098,58629 | -72,0                 | 2,427   | 0,0155         |
| АК 22 | PM3           | -2098,50098 | -63,8                 | 1,856   | 0,2030         |
| АК 23 | PM3           | -2432,81254 | -33,1                 | 1,762   | -0,0308        |
| АК 23 | MNDO/H        | -2652,50759 | -40,0                 | 1,621   | -0,0382        |
| АК 23 | MNDO/M        | -2652,44271 | -33,7                 | 1,775   | -0,0214        |
| АК 24 | PM3           | -2432,41321 | 5,4                   | 1,852   | 0,0093         |
| АК 24 | MNDO/H        | -2652,13750 | -4,3                  | 1,706   | 0,0147         |
| АК 24 | MNDO/M        | -2652,17284 | -7,7                  | 2,298   | 0,0009         |
| АК 25 | PM3           | -2106,22892 | -82,7                 | 2,149   | 0,2076         |
| АК 26 | PM3           | -2106,40413 | -99,7                 | 2,445   | 0,2115         |

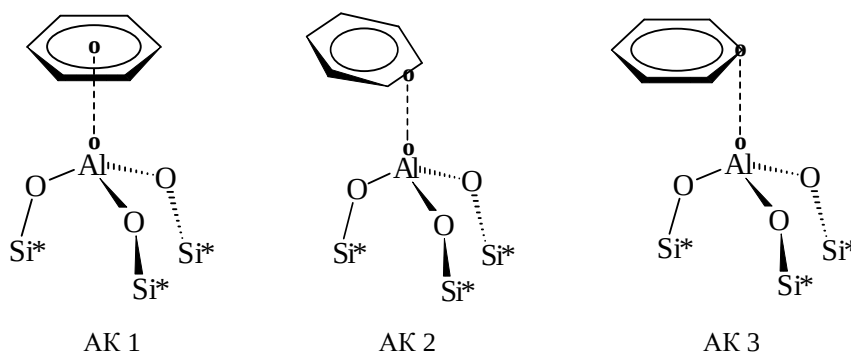


Рис. 1. Модели адсорбционных комплексов молекулы бензола с ЛКЦ

Вместе с тем *ab initio*-расчеты в базисе 3-21G взаимодействия молекулы бензола с ОН-группой кластера  $\text{Si}(\text{OH})_4$  вносят относительно небольшую поправку в результаты аналогичных PM3-расчетов и подтверждают достаточно неожиданный вывод, что более предпочтительным является взаимодействие бензола с  $\equiv\text{SiOH}$ -группой, когда последняя выступает не акцептором  $\pi$ -электронов, а донором неподеленной электронной пары кислорода (рис. 2, АК 6 и АК 9).

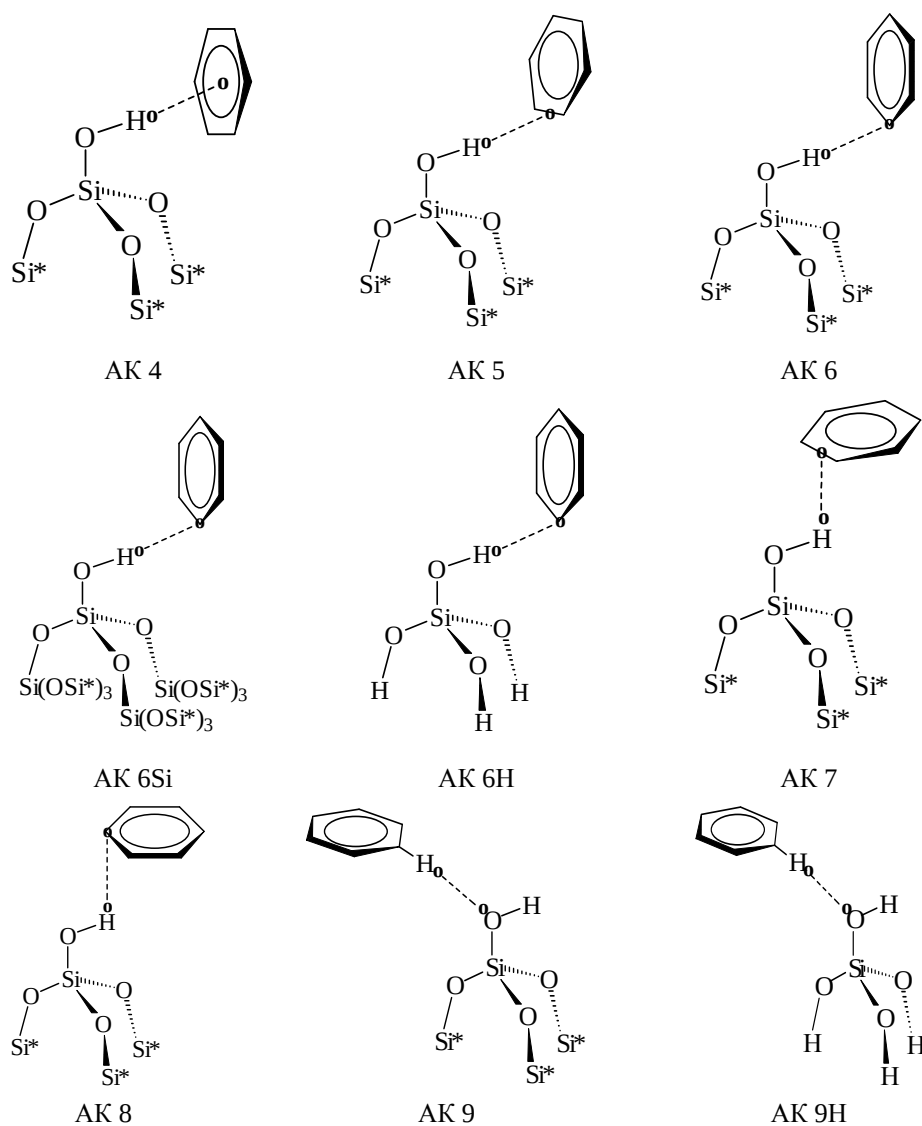


Рис. 2. Модели адсорбционных комплексов молекулы бензола с силанольной группой

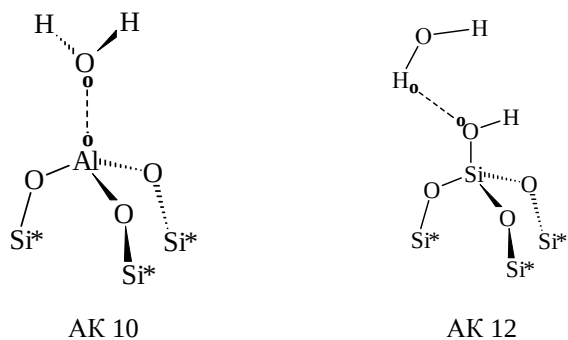
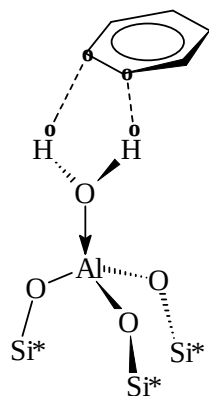
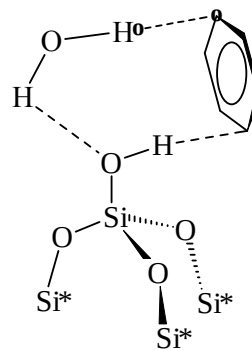


Рис. 3. Модели адсорбционных комплексов с участием молекулы воды



AK 11

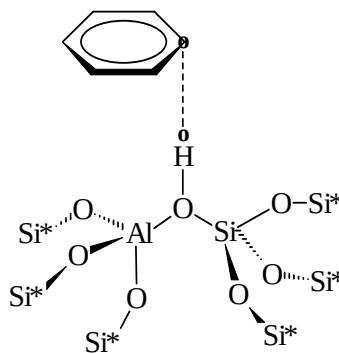


AK 13

Рис. 4. Модели адсорбционных комплексов бензола с адсорбированными молекулами воды

Метод MNDO, не предназначенный изначально для расчета межмолекулярных взаимодействий, как и следовало ожидать, не позволяет получить минимум на ППЭ рассматриваемых систем даже в случае относительно сильных взаимодействий между  $\pi$ -системой и ЛКЦ: система фактически распадается на два невзаимодействующих фрагмента — кластер и сорбат. Однако если использовать разновидности этого метода со специальными параметризациями для учета Н-связей (MNDO/H и MNDO/M) [1, 2, 3], то удастся достичь хорошего согласия с результатами PM3-расчетов. Ограничения в применении методов MNDO/H и MNDO/M [4] для расчета адсорбции состоят в том, что они не позволяют рассчитывать слабые взаимодействия с участием атомов углерода.

Расчеты взаимодействия молекулы бензола с мостиковой ОН-группой, а также с адсорбированной молекулой воды показали, что эти АК характеризуются величинами  $\Delta E$  того же порядка, что и АК с участием  $\equiv\text{SiOH}$ -группы. Какого-либо серьезного влияния повышенных кислотных свойств мостиковой ОН-группы и адсорбированной воды на характеристики адсорбции обнаружено не было (рис. 5).



AK 14

Рис. 5. Модель адсорбционного комплекса бензола с мостиковой ОН-группой

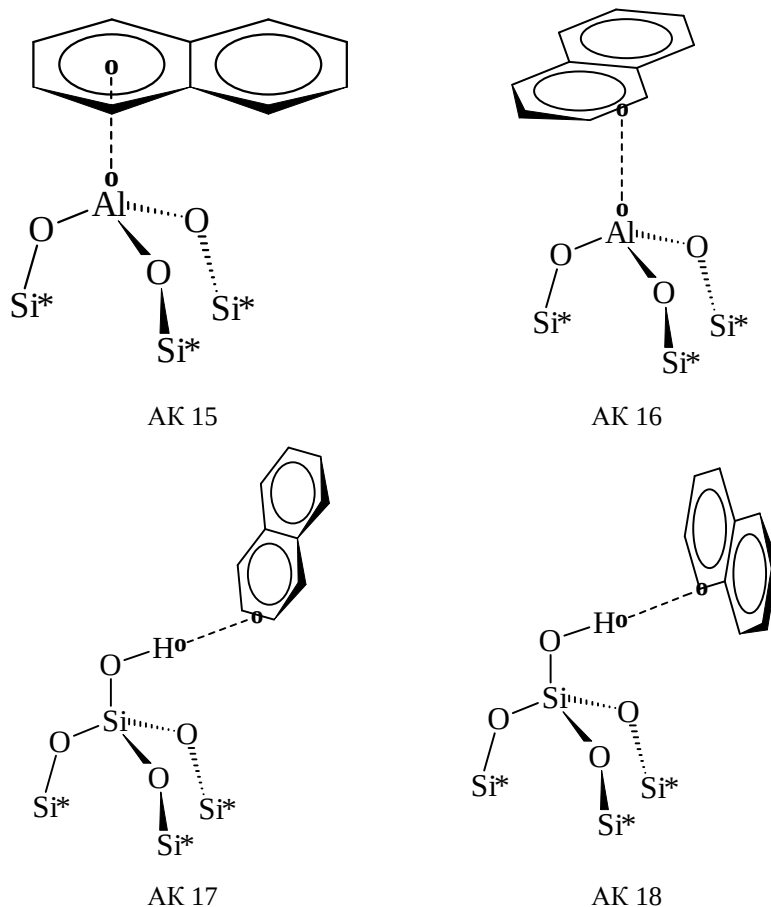


Рис. 6. Модели адсорбционных комплексов с участием молекулы нафталина

Как показывает расчет, производные бензола (фенол и хлорбензол) могут адсорбироваться на Al-центре как путем образования  $\pi$ -комплекса, так и через функциональные группы; в последнем случае адсорбция является двухточечной и протекает на кислотно-основной поверхностной паре  $=Al-O-$  (рис. 7, 8). При двухточечной адсорбции молекулы фенола атом O стремится занять 4-е координационное положение атома Al, а с основным центром поверхности может взаимодействовать как водород OH-группы, так и водород при углероде в о-положении. В первом варианте связь O-H фенола оказывается существенно ослабленной, благодаря чему возможен переход в диссоциативную форму адсорбции по схеме:  $AK \rightarrow =Al(OC_6H_5)-OH-$  с небольшим активационным барьером 61,8 кДж/моль и тепловым эффектом 178,1 кДж/моль. При двухточечной адсорбции молекулы хлорбензола атом Cl занимает 4-е координационное положение атома Al, а с кислородом поверхности взаимодействует водород при углероде в о-положении.  $\pi$ -комплексы фенола и хлорбензола с Al-центром характеризуются несколько меньшими величинами теплоты адсорбции по сравнению с бензолом вследствие, по-видимому, отталкивания заместителя (-OH, -Cl) от основных центров поверхности [5].

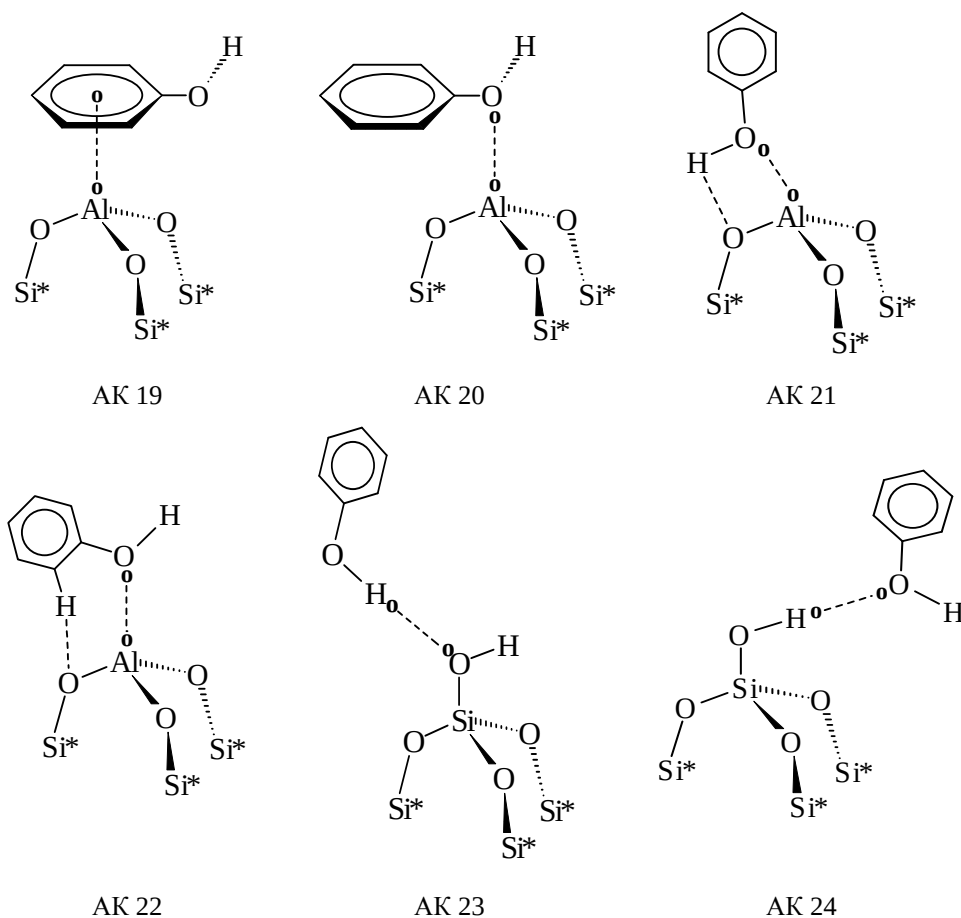


Рис. 7. Модели адсорбционных комплексов с участием молекулы фенола

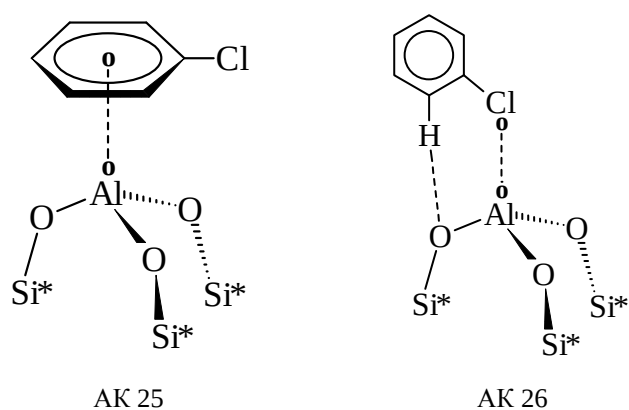


Рис. 8. Модели адсорбционных комплексов с участием молекулы хлорбензола

Увеличение размеров кластера должно приводить к более адекватной передаче свойств поверхности сорбента. На примере АК 6 и АК 6 Si видно, что характеристики комплексов при переходе от минимального кластера



к расширенному существенно не изменяются. Ожидаемый эффект возрастания отталкивания сорбата от поверхности за счет увеличения числа атомов в кластере и соответствующего ослабления сорбционного взаимодействия не проявляется. Это подтверждает корректность выбранного способа учета граничных условий для кластеров, т. е. корректность применения модели ОСК.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурштейн К. Я., Исаев А. Н. Применение метода МПДП/ВС для расчета систем с переносом протона в водородных связях // Журнал структурной химии. 1986. Т. 27. № 3. С. 3—7.
2. Бурштейн К. Я., Исаев А. Н. Модификация метода МПДП для расчета систем с водородными связями // Журнал структурной химии. 1984. Т. 25. № 1. С. 25—30.
3. Литинский А. О., Лебедев Н. Г. Модель ионно-встроенного орбитально-стехиометрического кластера для расчета взаимодействия поверхности твердых тел с молекулами газовой фазы // Журнал физической химии. 1995. Т. 69. № 1. С. 132—137.
4. Связь констант нестойкости комплексов тяжелых металлов с потенциалами полуволн окисления серосодержащих реагентов / Е. А. Нечаев, В. А. Павличенко, Н. А. Белоусова, Т. Ф. Силина // Электрохимия. 1986. Т. 22. № 3. С. 320—324.
5. Алыков Н. М., Алыкова Т. В., Пащенко К. П. Квантово-химическое кластерное моделирование адсорбции ароматических углеводородов // Естественные науки. Журнал фундаментальных и прикладных исследований. 2002. № 4. С. 206—214.
1. Burshteyn K. Ya., Isaev A. N. Primenenie metoda MPDP/VS dlya rascheta sistem s perenosom protona v vodorodnykh svyazyakh // Zhurnal strukturnoy khimii. 1986. T. 27. № 3. S. 3—7.
2. Burshteyn K. Ya., Isaev A. N. Modifikatsiya metoda MPDP dlya rascheta sistem s vodorodnymi svyazyami // Zhurnal strukturnoy khimii. 1984. T. 25. № 1. S. 25—30.
3. Litinskiy A. O., Lebedev N. G. Model' ionno-vstroennogo orbital'no-stekhiometricheskogo klastera dlya rascheta vzaimodeystviya poverkhnosti tverdykh tel s molekulami gazovoy fazy // Zhurnal fizicheskoy khimii. 1995. T. 69. № 1. S. 132—137.
4. Svyaz' konstant nestoykosti kompleksov tyazhelykh metallov s potentsialami poluvoln okisleniya serosoderzhashchikh reagentov / E. A. Nechaev, V. A. Pavlichenko, N. A. Belousova, T. F. Silina // Elektrokhimiya. 1986. T. 22. № 3. S. 320—324.
5. Alykov N. M., Alykova T. V., Pashchenko K. P. Kvantovo-khimicheskoe klasternoe modelirovanie adsorbtsii aromaticeskikh uglevodorodov // Estestvennye nauki. Zhurnal fundamental'nykh i prikladnykh issledovaniy. 2002. № 4. S. 206—214.

© Боронина Л. В., Абуова Г. Б., Рыльцева Т. Ф.,  
Гиззатова Г. Л., Гончар Ю. Н., Батманов В. П., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Модели адсорбционных комплексов углеводородов с активными центрами кремнеземов и алюмосиликатов / Л. В. Боронина, Г. Б. Абуова, Т. Ф. Рыльцева, Г. Л. Гиззатова, Ю. Н. Гончар, В. П. Батманов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 122—129.

## **ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ**

УДК 697.34

**Л. В. Кудрявцев**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

Дан анализ целесообразности использования полипропиленовых труб и арматуры при капитальном ремонте систем отопления многоквартирных жилых зданий.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** капитальный ремонт, высокотемпературные системы отопления, жилые здания, полипропиленовые трубы.

The analysis of practicability of appliance of polypropylene pipes and fittings at overhaul of heat systems in apartment buildings is provided.

**Key words:** overhaul, high temperature heat system, residential building, polypropylene pipes.

При выполнении муниципальной программы «Проведение капитального ремонта многоквартирных домов на территории г. Волгограда с использованием средств Фонда содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства в 2012 году» управляющими компаниями по согласованию с департаментом ЖКХиТЭК г. Волгограда был принят вариант капитального ремонта систем отопления с заменой стальных труб на полипропиленовые. Это решение нельзя признать технически грамотным и достаточно обоснованным, поскольку по всем основным показателям — стоимость, надежность, гарантийный срок эксплуатации, ударная прочность, эксплуатационные характеристики — полипропиленовые трубы значительно проигрывают в высокотемпературных системах отопления стальным.

В большинстве 9- и 12-этажных жилых зданий работают однетрубные системы отопления с расчетными параметрами теплоносителя 105...70 °С.

Предельно допустимая температура для полипропиленовых труб  $\tau'_c = 90$  °С [1]. Оптимальными параметрами теплоносителя по рекомендациям DIN 8077/2007 [2] являются 80...60 °С и  $P = 0,39$  МПа, при которых обеспечивается гарантийный срок эксплуатации в течение 25 лет. Снижение расчетного перепада температур  $\Delta\tau' = 105 - 70 = 35$  °С до  $\Delta\tau' = 90 - 70 = 20$  °С или до  $\Delta\tau' = 80 - 60 = 20$  °С требует увеличение расчетного расхода теплоносителя в 1,75 раза и увеличивает гидравлическое сопротивление системы в  $(1,75)^2 = 3,1$  раза. Значительное увеличение гидравлического сопротивления

системы делает невозможным использование существующих гидроэлеваторов и приводит к необходимости установки смесительных насосов и регуляторов температуры в тепловых пунктах. Кроме того, уменьшение расчетных параметров теплоносителя приводит к уменьшению теплоотдачи нагревательных приборов из-за уменьшения коэффициента теплопередачи нагревательного прибора  $k_{np}$  и температурного напора  $(\tau_{np} - t_b)$ . Теплоотдача нагревательного прибора рассчитывается по формуле

$$Q = k_{np} (\tau_{np} - t_b) F_{np},$$

где  $k_{np}$  — коэффициент теплопередачи нагревательного прибора, Вт/м<sup>2</sup> °С;

$\tau_{np} = \frac{\tau_c + \tau_{20}}{2}$  — средняя температура теплоносителя в нагревательном приборе;  $(\tau_{np} - t_b)$  — температурный напор нагревательного прибора, °С;  $F_{np}$  — поверхность нагрева отопительного прибора, м<sup>2</sup>.

Коэффициент теплопередачи нагревательного прибора (радиатора) определяется по формуле

$$k_{np} = c(\tau'_{np} - t_b)^{0,25},$$

где  $c$  — постоянная величина.

Таким образом, при изменении расчетных параметров теплоносителя удельная теплоотдача отопительного прибора зависит только от произведения, Вт/м<sup>2</sup>:

$$k_{np} (\tau'_{np} - t_b).$$

Следовательно, удельная теплоотдача нагревательного прибора

$$Q_o = (\tau'_{np} - t_b)^{1,25}.$$

При расчетных параметра теплоносителя 105...70 °С удельная теплоотдача нагревательных приборов составит

$$Q'_o = (\tau'_{np} - t_b)^{1,25} = (69,5)^{1,25} = 200,67 \text{ Вт/м}^2.$$

При расчетных параметра теплоносителя 90...70 °С:

$$Q_o = (\tau'_{np} - t_b)^{1,25} = (62)^{1,25} = 173,98 \text{ Вт/м}^2.$$

При расчетных параметрах теплоносителя 80...60 °С:

$$Q_o = (\tau'_{np} - t_b)^{1,25} = (57)^{1,25} = 156,6 \text{ Вт/м}^2.$$

В однотрубных системах отопления величина  $\tau_{np}$  различна для нагревательных приборов, установленных в помещениях разных этажей, а поэтому увеличение поверхности нагрева радиаторов для различных приборов должно определяться расчетом.

В целом по системе отопления увеличение поверхности нагрева можно оценить в процентах по отношению

$$\frac{Q'_o - Q_o}{Q'_o} 100.$$

При параметрах теплоносителя 90...70 °С потребуется увеличение поверхности нагрева радиаторов на  $\frac{200,67 - 173,98}{200,67} 100 = 13,3\%$ , а при параметрах

80...60 °С —  $\frac{200,67 - 156,6}{200,67} 100 = 22\%$ .

Использование существующих радиаторов при понижении расчетных параметров теплоносителя приведет к понижению температуры внутреннего воздуха, которое можно оценить по относительному расходу тепла  $\bar{Q}_o$ .

Относительный расход тепла в системе отопления равен

$$\bar{Q}_o = \frac{Q_o}{Q'_o} = \frac{t_b - t_n}{t'_b - t_o},$$

где  $Q_o$  — расход тепла при различных расчетных температурах  $t_n$  и  $t_b$ ;  $Q'_o$  — расчетный расход тепла при  $t_o = -25$  °С и  $t'_b = +18$  °С;  $t_o$  — температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92,  $t_o = -25$  °С для г. Волгограда. Зная относительный расход тепла  $\bar{Q}_o$ , можно найти температуру внутреннего воздуха в жилых зданиях:

$$t_b = (t'_b - t_o) \bar{Q}_o - t_o.$$

При параметрах теплоносителя в системе отопления 90...70 °С:

$$\bar{Q}_o = \frac{173,98}{200,67} = 0,887;$$

$$t_b = (18 + 25)0,887 - 25 = 13,1 \text{ °С}.$$

При параметрах теплоносителя в системе отопления 80...60 °С:

$$\bar{Q}_o = \frac{156,6}{200,67} = 0,78;$$

$$t_b = (18 + 25)0,78 - 25 = 8,6 \text{ °С}.$$

Фактические значения  $t_b$  будут несколько выше, поскольку во многих квартирах установлены пластиковые окна, сократившие тепловые потери.

Полипропиленовые трубы марки PN20, эквивалентные по пропускной способности стальным, стоят в 1,7 раза дороже стальных, а более качественная труба PN25 стоит в 3 раза дороже. Кроме того, при замене стальных труб на полипропиленовые требуются значительные дополнительные расходы на проектные работы, экспертизу проекта, оборудование и монтаж теплового пункта с регулятором температуры и смесительными насосами.

Гарантийный срок эксплуатации стальных труб превышает 25 лет, и многолетний опыт эксплуатации это подтверждает. Гарантированный срок эксплуатации системы отопления, смонтированной из лучших полипропиленовых труб Ekorplastik PPR марки PN20, производится по изотермам прочности [2] с помощью расчетного напряжения  $\sigma_v$ .

Расчетное напряжение  $\sigma_v$ , МПа, находится по формуле

$$\sigma_v = \frac{P(D - \delta)}{2\delta} K,$$

где  $P$  — максимальное давление, МПа;  $D$  — наружный диаметр трубы, мм;  $\delta$  — толщина стенки трубы, мм;  $K$  — коэффициент безопасности, равный для систем отопления 2,5.

Для средних условий эксплуатации при  $P = 0,4$  МПа  $D = 40$  мм,  $\sigma = 6,7$  мм:

$$\sigma_v = \frac{0,4(40 - 6,7)}{2 \cdot 6,7} 2,5 = 2,485.$$

При максимальной температуре в системе  $t_c = 90$  °С гарантированный срок эксплуатации при работе в течение года составит 5 лет.

Максимальный срок эксплуатации при продолжительности отопительного периода в 178 суток составит

$$5 \frac{365}{178} = 10,3 \text{ года.}$$

По данным прил. 2 [3] гарантийный срок эксплуатации полипропиленовых труб «Рандом Сополимер» также составляет 10 лет при максимальной температуре  $t_c = 90$  °С и  $P = 0,39$  МПа.

Аварии в системах отопления из стальных труб происходят вследствие язвенной коррозии, характеризуются свищевыми повреждениями с незначительной утечкой теплоносителя. Аварийные ситуации в системах, смонтированных из полипропилена, при ударной деформации или повышении температуры выше 100 °С характеризуются фрагментным разрушением труб с утечкой, практически равной расходной характеристике стояка, что приводит к затоплению всех нижележащих квартир.

Коэффициент ударной вязкости, который характеризует ударную прочность, для полипропиленовой трубы равен 22 кДж/м<sup>2</sup> и на 1,5 порядка меньше, чем у стальной, причем этот коэффициент уменьшается по мере старения. После 5—6 лет эксплуатации даже незначительный удар может привести и серьезной аварии.

Таким образом, по всем показателям полипропиленовые трубы в высокотемпературных системах отопления проигрывают стальным. Кроме того, нарушаются требования пункта 6.1.4 СНиП 41-01—2003, согласно которому «срок службы отопительных приборов, оборудования и трубопроводов должен быть не менее 25 лет для жилых многоквартирных, общественных, административно-бытовых и производственных зданий» [4].

Единственным преимуществом полипропиленовых труб в высокотемпературных системах отопления является простота монтажа, который может производиться рабочими низкой квалификации. Однако отсутствие заготовительной базы и низкая квалификация работников подрядной организации не могут считаться достаточным основанием для принятия решения о замене стальных труб при капитальном ремонте жилых зданий на пропиленовые.

Учитывая все факторы, руководство ЖКХиТЭК г. Волгограда должно запретить использование полипропиленовых труб при капитальном ремонте систем отопления многоквартирных жилых зданий во избежание нежелательных последствий в ближайшие 5...7 лет.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 40-102—2000. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования. М. : ФГУП ЦПП, 2001. 58 с.
2. Инструкция по монтажу системы Ehoplastik PPR. 2010.
3. СП 40-101—96. Свод правил по проектированию и монтажу трубопроводов из полипропилена «Рандом сополимер». М. : ГУП ЦПП, 1997. 17 с.
4. СНиП 41-01—2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М. : ФГУП ЦПП, 2004. 54 с.
1. SP 40-102—2000. Proektirovanie i montazh truboprovodov sistem vodosnabzheniya i kanalizatsii iz polimernykh materialov. Obshchie trebovaniya. M. : FGUP TsPP, 2001. 58 s.
2. Instruktsiya po montazhu sistemy Ehoplastik PPR. 2010.
3. SP 40-101—96. Svod pravil po proektirovaniyu i montazhu truboprovodov iz polipropilena «Random sopolimer». M. : GUP TsPP, 1997. 17 s.
4. SNiP 41-01—2003. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie. M. : FGUP TsPP, 2004. 54 s.

© Кудрявцев Л. В., 2013

*Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Кудрявцев Л. В. Использование пластиковых труб при капитальном ремонте систем отопления многоквартирных жилых зданий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 130—134.*

УДК 536.24

**А. В. Попова, А. В. Ковылин, В. М. Фокин****ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ МЕТОД  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
МАТЕРИАЛОВ ИЗ СТЕКЛА**

Приведена принципиальная схема прибора ИТП-МГ4 «250», предназначенного для определения коэффициента теплопроводности и термического сопротивления твердых строительных материалов, а также материалов, предназначенных для ограждений зданий при стационарном тепловом режиме. Показано распределение температуры поверхности оконного стекла от времени нагрева.

**Ключевые слова:** теплофизические свойства, стекло, удельный тепловой поток, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, объемная теплоемкость, коэффициент теплоусвоения, термическое сопротивление, тепловая инерция.

The authors provide the basic scheme of the ITP-MG4 “250” device used for determination of coefficient of heat conductivity and thermal resistance of solid construction materials, as well as materials used for enclosures of buildings under stationary thermal condition. Temperature distribution of the surface of a window pane depending on heating time is shown.

**Key words:** thermophysical properties, glass, specific current stream, heat conduction coefficient, temperature conductivity coefficient, volume heating capacity, heat absorption coefficient, thermal resistance, thermal inertia.

Для определения теплофизических свойств (ТФС) строительных материалов используемых в качестве ограждений зданий, используется стандартный прибор — измеритель теплопроводности ИТП-МГ4 «250». Основные характеристики ИТП-МГ4 «250» приведены в табл. 1.

Таблица 1

*Основные характеристики ИТП-МГ4 «250»*

| Наименование характеристик                                                                                                  | ИТП-МГ4 «250»      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Диапазон определения коэффициента теплопроводности $\lambda$ при стационарном режиме, Вт/(м·К)                              | 0,02...1,5         |
| Диапазон измерения термического сопротивления $R$ , (м <sup>2</sup> ·К)/Вт                                                  | 0,01...1,5         |
| Относительная погрешность определения коэффициента теплопроводности и термического сопротивления при стационарном режиме, % | ± 5                |
| Размеры испытываемого образца, мм.                                                                                          | 250 × 250 × 5...50 |
| Время одного измерения, не более, мин.                                                                                      | 120                |
| Габаритные размеры электронного блока, мм.:                                                                                 | 175 × 90 × 30      |
| Габаритные размеры нагревательной установки, мм.:                                                                           | 300 × 380 × 300    |
| Масса прибора не более, кг.                                                                                                 | 16                 |

Заводской прибор — измеритель теплопроводности ИТП-МГ4 «250» (размер испытываемого образца 250 × 250 мм толщиной 5...50 мм) предназначен для определения коэффициента теплопроводности  $\lambda$  и термического

сопротивления  $R$  твердых строительных материалов, а также материалов, предназначенных для ограждений зданий при стационарном тепловом режиме по ГОСТ 7076.

Принцип работы прибора заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец толщиной  $H$ , мм, и измерении плотности стационарного теплового потока  $q$ , проходящего через исследуемый материал. Температуры нагревателя  $T_n$  и холодильника  $T_x$ , а также толщина исследуемого материала  $H$  вводятся в электронный блок прибора. Прибор позволяет определять теплопроводность и термическое сопротивление материалов при средней температуре образца  $+15$  до  $+42,5$  °С, обеспечивая автоматическое регулирование температур холодильника и нагревателя и их термостатирование в процессе испытаний.

Принципиальная схема установки приведена на рис. 1.

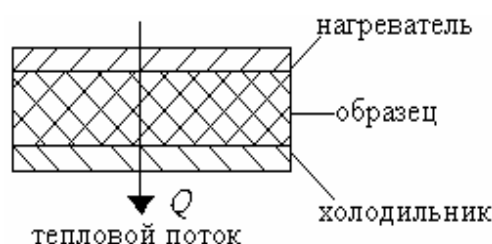


Рис. 1. Принципиальная схема прибора ИТП-МГ4 «250»

В дальнейшем, управляя нагревателем и холодильником, программное устройство прибора устанавливает на поверхностях образца заданные температуры  $T_n$ , °С и  $T_x$ , °С, и поддерживает их с точностью  $\pm 0,1$  °С до тех пор пока тепловой поток  $q$ , проходящий через испытываемый образец, не стабилизируется.

В дальнейшем наблюдение за тепловым потоком осуществляется автоматически, таймер в нижней строке индикатора отсчитывает время наблюдения: (5400 с), по истечении которого производится автоматическое вычисление определяемых значений коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·К) и термического сопротивления  $R$ , (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

На рис. 2 приведены фото экспериментальной установки.



Рис. 2. Фото экспериментальной установки по определению коэффициента теплопроводности  $\lambda$  и термического сопротивления  $R$



Вычисление коэффициента теплопроводности  $\lambda$  и термического сопротивления исследуемого образца  $R$  производится вычислительным устройством прибора по формулам:

$$\lambda = \frac{Hq}{T_n - T_x}, \text{ Вт/(м·К)}, \quad (1)$$

$$R = \frac{T_n - T_x}{q}, \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}, \quad (2)$$

где  $H$  — толщина образца, мм;  $q$  — плотность стационарного теплового потока, проходящего через испытываемый образец, Вт/м<sup>2</sup>;  $T_n$  — температура горячей грани испытываемого образца, °С;  $T_x$  — температура холодной грани испытываемого образца, °С.

Получаемая в процессе измерений информация автоматически архивируется и маркируется датой и временем измерения. Прибор имеет связь с ПК. Для определения комплекса ТФС материалов нами была предложена идея использования заводского прибора ИТП-МГ «250» и методики разработанной в патенте РФ на изобретение МПК G 01N 25/00 (2006.01) «Способ неразрушающего контроля комплекса теплофизических характеристик твердых строительных материалов» [1]. Согласно разработанной и апробированной методики, для определения комплекса ТФС материалов необходимо дополнительно в процессе эксперимента замерять температуру на наружной поверхности образца (размером 250 × 250 мм, толщиной 5...50 мм) со стороны нагревателя. В процессе экспериментального исследования выявляется температурная волна на поверхности испытываемого образца и определяется максимальная амплитуда колебаний температурной волны  $\vartheta_n$  при нагреве образца на наружной поверхности

$$\vartheta_n^{\max} = 0,5(T_n^{\max} - T_n^{\min}), \quad (3)$$

где  $T_n^{\max}$  — максимальная температура на поверхности образца;  $T_n^{\min}$  — минимальная температура на поверхности образца.

Используя плотность стационарного теплового потока  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>, проходящего через исследуемый образец, вычисляется коэффициент теплоусвоения материала образца:

$$B = q_n / \vartheta_n. \quad (4)$$

Используя коэффициент теплоусвоения  $B$  материала, время проведения опыта  $z$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$  рассчитывается объемная теплоемкость материала из соотношения

$$(cp) = (B^2 z) / (\lambda 2\pi). \quad (5)$$

Коэффициент температуропроводности материала определяется из выражения

$$a = \lambda / (cp), \text{ м}^2/\text{с}. \quad (6)$$

Следовательно, разработанная методика неразрушающего контроля позволяет определять весь комплекс ТФС материалов с использованием заводского прибора ИТП-МГ «250».

Для исследований ТФС оконного стекла с использованием измерителя теплопроводности ИТП-МГ4 «250» были выбраны образцы с габаритными размерами  $250 \times 250$  мм., а толщина образцов изменялась в пределах 5...50 мм. Площадь поверхности образцов  $F = 0,0625 \text{ м}^2$ . Для измерения температуры на поверхности образца использовались стандартные термопары градуировки ХК, диаметром 0,2 мм. Термопара устанавливалась на поверхности в центре образца, согласно методики [2, 3, 4]. Температура нагревателя изменялась в пределах  $+25...+45$  °С. Температура холодильника изменялась в пределах  $+5...+15$  °С. Средняя температура образцов изменялась  $+15...+40$  °С. Время проведения опыта  $z = 5400$  с.

На рис. 3 приведено распределение температуры поверхности образца со стороны нагревателя  $T_{\text{п}}$ , в зависимости от времени нагрева  $\tau$ , мин. Толщина образца составляет  $\delta = 0,012$  м, плотность стекла  $\rho = 2473 \text{ кг/м}^3$ .

При проведении опыта получены следующие значения: удельный тепловой поток  $q = 400,4 \text{ Вт/м}^2$ , коэффициент теплопроводности оконного стекла  $\lambda = 0,481 \text{ Вт/(м·К)}$ , время проведения опыта  $z = 5400$  с.

Используя приведенную методику и расчетные формулы (1)...(6), определяется весь комплекс ТФС методом неразрушающего контроля по тепловым измерениям на поверхности.

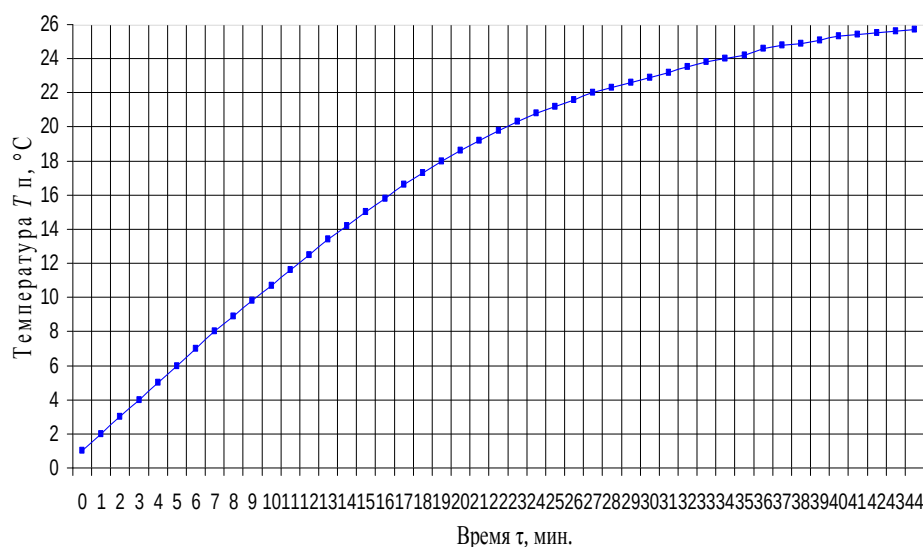


Рис. 3 Распределение температуры поверхности  $T_{\text{п}}$  оконного стекла в зависимости от времени нагрева  $\tau$ :

■ — температура поверхности стекла со стороны нагревателя, °C

Максимальная амплитуда колебаний температурной волны при нагреве образца на наружной поверхности стекла равна:

$$\vartheta_{\text{п}} = 0,5(T_{\text{п}}^{\text{max}} - T_{\text{п}}^{\text{min}}) = 0,5(25,7 - 1) = 12,35 \text{ °C},$$

где  $T_{\text{п}}^{\text{max}} = 25,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$  — максимальная температура поверхности стекла;

$T_{\text{п}}^{\text{min}} = 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  — минимальная температура поверхности стекла.

Коэффициент теплоусвоения стекла определяется по формуле

$$B = q_{\text{п}} / \vartheta_{\text{п}} = 400,4 / 12,35 = 32,42 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где  $q$  — удельный тепловой поток,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $\vartheta_{\text{п}}$  — максимальная амплитуда колебаний температурной волны на наружной поверхности стекла.

Объемная теплоемкость стекла определяется из выражения

$$(c_p) = (B^2 z) / (\lambda 2\pi) = (1051,1^2 \cdot 5400) / (0,481 \cdot 2 \cdot 3,14) = 1879 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

Коэффициент температуропроводности стекла составляет:

$$a = \lambda / (c_p) = 0,481 / 1879000 = 0,256 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Термическое сопротивление теплопроводности стекла определяется из выражения

$$R = \delta / \lambda = 0,012 / 0,481 = 0,025 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}.$$

Тепловая инерция стекла рассчитывается по формуле:

$$b = \lambda (c_p) = 0,481 \cdot 1879000 = 0,904 \cdot 10^6, \text{ Дж}^2/(\text{с} \cdot \text{м}^4 \cdot \text{К}^2) = \\ = 0,904 \cdot 10^3, \text{ кДж}^2/(\text{с} \cdot \text{м}^4 \cdot \text{К}^2).$$

Экспериментальные значения ТФС для оконного стекла, полученные методом неразрушающего контроля, с использованием прибора ИТП-МГ4 «250» приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

ТФС оконного стекла (плотность  $\rho = 2473 \text{ кг}/\text{м}^3$ )

| ТФС стекла                                                                         | ИТП-МГ4 «250»         |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Удельный тепловой поток $q$ , $\text{Вт}/\text{м}^2$                               | 400,4                 |
| Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$     | 0,481                 |
| Коэффициент температуропроводности $a$ , $\text{м}^2/\text{с}$                     | $0,256 \cdot 10^{-6}$ |
| Объемная теплоемкость $c_p$ , $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$             | 1879                  |
| Коэффициент теплоусвоения $B$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$            | 32,42                 |
| Термическое сопротивление $R$ , $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$            | 0,025                 |
| Тепловая инерция $b$ , $\text{кДж}^2/(\text{с} \cdot \text{м}^4 \cdot \text{К}^2)$ | $0,904 \cdot 10^3$    |

#### Выводы

1. Разработан энергоэффективный и экологически безопасный метод расчета теплофизических свойств строительных материалов из стекла для ограждений зданий, а также методика и экспериментальная установка для определения ТФС по тепловым измерениям на поверхности.

2. Разработанный метод определения теплофизических свойств твердых строительных и теплоизоляционных материалов для ограждений зданий по измерениям теплового потока и колебания температуры на поверхности материала, методом неразрушающего контроля с использованием прибора ИТП-МГ4 «250», позволяет определять весь комплекс ТФС: коэффициент теплопроводности  $\lambda$ ; объемную теплоемкость ( $c_p$ ); коэффициент температуропроводности  $a$ ; коэффициент теплоусвоения  $B$ ; тепловую инерцию  $b$ .

3. Проведенные эксперименты, методом неразрушающего теплового контроля, подтверждают достаточную точность полученных ТФС оконного стекла. Полученные значения ТФС оконного стекла для ограждений зданий с использованием электронного измерителя теплопроводности ИТП-МГ4 «250» согласуются с опубликованными в справочной и технической литературе значениями этих коэффициентов, что подтверждает точность метода неразрушающего контроля. Расхождение рассчитанных значений ТФС оконного стекла для ограждений зданий со справочными не превышают 10 %.

4. Предлагаемая методика выгодно отличается от известных методов: энергоэффективностью, быстродействием, небольшой погрешностью, обладают новизной и оригинальностью. Кроме того, методика позволяет легко автоматизировать теплофизический эксперимент, упрощается реализация на базе микропроцессорной техники, и поэтому является перспективным для использования в информационно-измерительных системах неразрушающего контроля ТФС материалов и технической теплофизики.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин В. М., Ковылин А. В. Способ неразрушающего контроля комплекса теплофизических характеристик твердых строительных материалов: патент на изобретение № 2421711.
2. Фокин В. М., Ковылин А. В. Определение теплофизических свойств ограждающих конструкций зданий методом неразрушающего контроля с использованием электронного измерителя плотности тепловых потоков ИТП—МГ 4.03 «Поток» // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика : матер. 66-й Всероссийской науч.-техн. конф. по итогам НИР университета за 2008 г. Самара : СГАСУ, 2009. С. 273—275.
3. Фокин В. М., Ковылин А. В. Теоретические основы определения теплопроводности, объемной теплоемкости и температуропроводности материалов по тепловым измерениям на поверхности методом неразрушающего контроля // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2009. Вып. 14(33). С. 123—127.
4. Фокин В. М., Ковылин А. В. Определение теплотехнических свойств оконного стекла для ограждений зданий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 21(40). С. 124—127.
1. Fokin V. M., Kovylin A. V. Sposob nerazrushayu-shchego kontrolya kompleksa teplofizicheskikh kharakteristik tverdykh stroitel'nykh materialov: patent na izobretenie № 2421711.
2. Fokin V. M., Kovylin A. V. Opredelenie teplofizicheskikh svoystv ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy metodom nerazrushayushchego kontrolya s ispol'zovaniem elektronnoho izmeritelya plotnosti teplovykh potokov ITP—MG 4.03 «Potok» // Aktual'nye problemy v stroitel'stve i arkhitekture. Obrazovanie. Nauka. Praktika : mater. 66-y Vserossiyskoy nauch.-tekhn. konf. po itogam NIR universiteta za 2008 g. Samara : SGASU, 2009. S. 273—275.
3. Fokin V. M., Kovylin A. V. Teoreticheskie osnovy opredeleniya teploprovodnosti, ob'emnoy teploemkosti i temperaturoprovodnosti materialov po teplovym izmereniyam na poverkhnosti metodom nerazrushayushchego kontrolya // Vestnik Volgogr. gos. arkhит.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkhит. 2009. Vyp. 14(33). S. 123—127.
4. Fokin V. M., Kovylin A. V. Opredelenie teplotekhnicheskikh svoystv okonnogo stekla dlya ograzhdeniy zdaniy // Vestnik Volgogr. gos. arkhит.-stroit. un-ta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2011. Vyp. 21(40). S. 124—127.

© Попова А. В., Ковылин А. В., Фокин В. М., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Попова А. В., Ковылин А. В., Фокин В. М. Энергоэффективный и экологически безопасный метод экспериментального определения теплофизических свойств материалов из стекла // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 135—140.

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

УДК 625.768.5:338.312

**С. В. Алексиков, А. Н. Будрудинова**

**ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ ВЛАЖНОСТИ И ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ  
ПОД УКРЕПЛЕННЫМИ ОБОЧИНАМИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Приведена методика обоснования расчетной влажности и прочности грунтов под укрепленными обочинами автомобильных дорог.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** обочина, автомобильная дорога, расчет, конструкция, укрепление.

The method of basis for calculated humidity and soil strength under the strengthened roadsides is given in the article.

**К e y w o r d s:** roadside, highway, calculation, construction, strengthening.

Прочность и ровность проезжей части, аварийность движения, скорость автомобилей зависят от состояния и ширины укрепленных обочин. Многочисленные исследования и статистика показывают, что 16...20 % ДТП происходит из-за неудовлетворительного состояния обочин.

Наиболее распространенными дефектами являются выбоины, колеи, превышение кромки проезжей части над поверхностью обочины, скол кромки проезжей части, недостаточные поперечные уклоны (рис.1, 2).

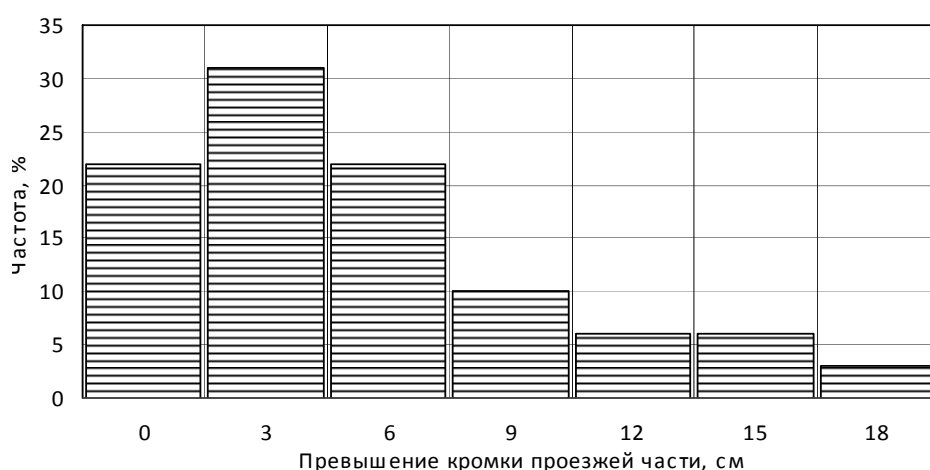


Рис. 1. Гистограмма превышения кромки проезжей части над обочиной на дорогах Волгоградской области

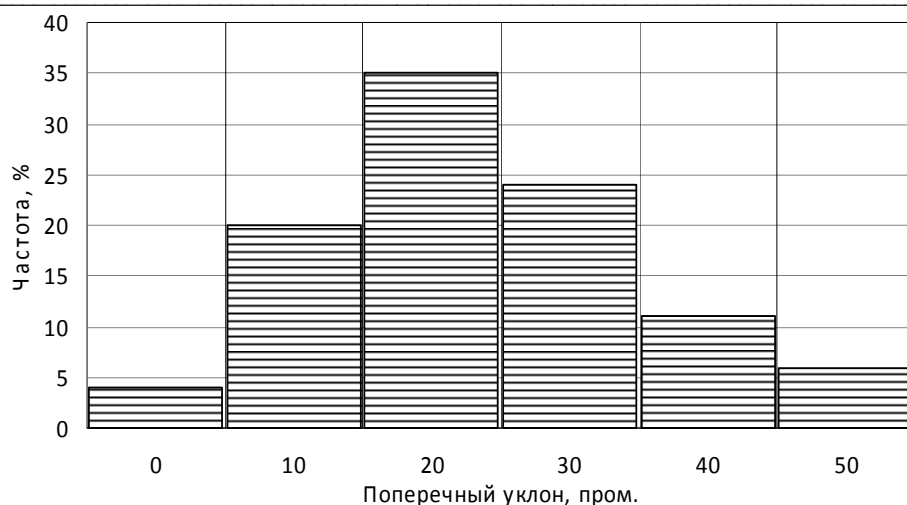


Рис. 2. Гистограмма поперечного уклона обочин на дорогах Волгоградской области

Неудовлетворительное состояние обочин обусловлено: плохим содержанием дорог; высокими (сверхнормативными) транспортными нагрузками грузовых автомобилей, остановившихся на обочине; отсутствием краевых и остановочных полос; использованием обочин для движения транспорта на участках, перегруженных движением (рис. 3).



Рис. 3. Использование обочин для движения автотранспорта

В условиях дефицита финансирования ремонт дорог в большинстве случаев ограничиваются только укладкой новых слоев усиления проезжей части толщиной 5...7 см. Подсыпка укрепленных обочин каменным материалом не производится, ограничиваются только профилированием поверхности. При этом не учитывается, что поверхность обочин деформируется в результате ее использования для проезда автотранспорта, размыва поверхностными водами, периодического профилирования автогрейдером (рис. 4).



Рис. 4. Превышение кромки проезжей части над обочиной: слева — федеральная дорога Р-228; справа — дорога Волгоград — Астрахань

В результате этого превышение кромки проезжей части над поверхностью обочины достигает 15...18 см (см. рис. 1), что часто является причиной снижения скорости автомобилей до 6...8 %, ДТП с опрокидыванием транспортных средств.

Выполненный мониторинг позволяет сделать вывод о необходимости более внимательного отношения дорожников к строительству, ремонту и содержанию обочин. Высокие транспортные нагрузки, частое использование обочин для стоянки и движения автомобилей, появление новых строительных материалов требуют совершенствования методики проектирования укреплений обочин в части уточнения расчетной влажности и, соответственно, прочности грунтового основания.

На основе статистической обработки данных В. М. Сиденко, А. М. Каменева, О. Т. Батракова, Ю. А. Покутнева, результатов обследования автодорог юга РФ установлено комплексное влияние относительной влажности ( $W$ ) и плотности ( $K_y$ ) глинистых грунтов на их прочностные характеристики (табл. 1).

Модуль упругости грунта:

$$E = \frac{CK_y^{1,5}}{W^a}. \quad (1)$$

Сцепление в грунте:

$$c = \frac{CK_y^{1,5}}{W^a}. \quad (2)$$

Угол внутреннего трения грунта:

$$\varphi = C + aK_y + bW. \quad (3)$$

Т а б л и ц а 1

| Прочностная характеристика грунтов | Тип грунта                         | Стандартная ошибка | Коэффициент множественной корреляции | Значение коэффициентов уравнений |          |          |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------|----------|
|                                    |                                    |                    |                                      | <i>C</i>                         | <i>a</i> | <i>b</i> |
| Модуль упругости                   | Суглинки и глины                   | 0,021              | 0,98                                 | 2,879                            | 3,158    | 0        |
|                                    | Супеси                             | 0,021              | 0,98                                 | 4,234                            | 0,234    | 0        |
| Угол внутреннего трения            | Суглинки и глины, супеси пылеватые | 0,055              | 0,97                                 | 0,099                            | 3,431    | 0        |
|                                    | Супеси                             | 0,018              | 0,97                                 | 0,117                            | 0,926    | 0        |
| Сцепление в грунте                 | Суглинки и глины, супеси пылеватые | 0,328              | 0,98                                 | 40,029                           | 19,045   | –59,303  |
|                                    | Супеси                             | 0,082              | 0,98                                 | 10,014                           | 34,654   | –14,835  |

Авторами разработана методика обоснования расчетной влажности грунтов под укрепленными обочинами, основанная на методе агрометеостанций (АМС) проф. В. М. Сиденко [1].

Расчетная влажность грунтового основания обочины  $W_p^o$  для региональных условий Нижнего Поволжья определяется в зависимости от типа местности по условиям увлажнения, конструкции дорожной одежды и укрепления обочины, заданного уровня надежности:

$$W_p^o = (0,83 \cdot \beta \cdot \gamma \cdot W_p^{on} + \Delta)(1 + tC_{vt}), \quad (4)$$

где  $W_p^o$  — максимальная влажность почво-грунтов открытого поля;  $\beta$  — коэффициент, учитывающий тип местности по условиям увлажнения, равен 1 для 1-го типа, 1,01...1,03 для 2-го типа, 1,04...1,07 для 3-го типа;  $\gamma$  — коэффициент, равный 1 для пористых граничных слоев дорожной одежды (песок, щебень, ПГС, гравий и т. п.), непосредственно укладываемых на земляное полотно, и 0,85...0,95 для плотных грунтов (укрепленные грунты);  $\Delta$  — поправка, определяется разницей влажности грунтового основания обочины [2] и дорожной одежды [3], принимается согласно табл. 2;  $t$  — коэффициент нормированного отклонения;  $C_{vt}$  — коэффициент вариации влажности грунтов земляного полотна.

Коэффициент вариации влажности грунта насыпи  $C_{vt}$  определяется выражением

$$C_{vt} = 0,83 \cdot \beta \cdot \gamma \cdot W_p^{on} - 0,2. \quad (5)$$



Т а б л и ц а 2

| Дорожно-климатическая зона         | Тип местности по условиям увлажнения | Поправка на увеличение расчетной влажности грунтов под обочинами, укрепленными различными материалами |      |      |                                         |      |      |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-----------------------------------------|------|------|
|                                    |                                      | А/б                                                                                                   | Ц/б  | ПГС  | Щебень при плотности, г/см <sup>3</sup> |      |      |
|                                    |                                      |                                                                                                       |      |      | 1,8                                     | 2    | 2,2  |
| Грунт — супесь легкая непылеватая  |                                      |                                                                                                       |      |      |                                         |      |      |
| IV                                 | 1                                    | 0,07                                                                                                  | 0,07 | 0,07 | 0,12                                    | 0,07 | 0,07 |
|                                    | 2                                    | 0,08                                                                                                  | 0,08 | 0,08 | 0,13                                    | 0,08 | 0,08 |
|                                    | 3                                    | 0,08                                                                                                  | 0,08 | 0,08 | 0,13                                    | 0,08 | 0,08 |
| V                                  | 1                                    | 0,08                                                                                                  | 0,08 | 0,08 | 0,08                                    | 0,08 | 0,08 |
|                                    | 2                                    | 0,05                                                                                                  | 0,05 | 0,05 | 0,05                                    | 0,1  | 0,1  |
|                                    | 3                                    | 0,05                                                                                                  | 0,1  | 0,1  | 0,05                                    | 0,1  | 0,1  |
| Грунт — супесь пылеватая, суглинки |                                      |                                                                                                       |      |      |                                         |      |      |
| IV                                 | 1                                    | 0                                                                                                     | 0    | 0,1  | 0,15                                    | 0    | 0    |
|                                    | 2                                    | 0,01                                                                                                  | 0,06 | 0,06 | 0,16                                    | 0,06 | 0,06 |
|                                    | 3                                    | 0,01                                                                                                  | 0,06 | 0,06 | 0,16                                    | 0,06 | 0,06 |
| V                                  | 1                                    | 0,03                                                                                                  | 0,03 | 0,08 | 0,13                                    | 0,08 | 0,03 |
|                                    | 2                                    | 0,05                                                                                                  | 0,05 | 0,1  | 0,1                                     | 0,1  | 0,1  |
|                                    | 3                                    | 0,05                                                                                                  | 0,15 | 0,1  | 0,1                                     | 0,1  | 0,1  |

Примечание: таблица составлена на основании обработки данных [2, 3].

В ОДН 218.3.039—03 рекомендуется назначать расчетную влажность грунтового основания под укрепленными обочинами без учета проектного уровня надежности дорожной одежды. Представляется целесообразным при проектировании укрепления обочин обеспечить равнопрочность конструкций дорожной одежды, краевой и остановочной полосы обочины. Вследствие этого при обосновании расчетной влажности грунтов обочин значение коэффициента нормированного отклонения ( $t$ ) следует назначать согласно ОДН 218.046—01, для надежности заданной ( $K_n$ ) при проектировании дорожной одежды (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

| Заданная надежность $K_n$ | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 0,98 |
|---------------------------|------|------|------|------|
| $t$                       | 1,06 | 1,32 | 1,71 | 2,19 |

Предложенная методика позволяет обосновать, с заданным уровнем надежности, региональную расчетную влажность и прочностные характеристики грунтов обочины земляного полотна по данным агрометеослужбы с учетом типа грунта, местности по условиям увлажнения, материалов конструкции дорожной одежды и укрепления обочины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автомобильные дороги (Совершенствование методов проектирования и строительства) / В. М. Сиденко, О. Т. Батраков, М. И. Волков и др. Киев : Будивельник, 1973. 278 с.
2. ОДН 218.3.039—03. Укрепление обочин автомобильных дорог. М. : ГП Информавтотор, 2003.
3. ОДН 218.046—01. Проектирование нежестких дорожных одежд. М. : Минтранс РФ, 2001.
1. Avtomobil'nye dorogi (Sovershenstvovanie metodov proektirovaniya i stroitel'stva) / V. M. Sidenko, O. T. Batrakov, M. I. Volkov i dr. Kiev : Budivel'nik, 1973. 278 s.
2. ODN 218.3.039—03. Ukreplenie obochin avtomobil'nykh dorog. M. : GP Informavtodor, 2003.
3. ODN 218.046—01. Proektirovanie nezhestkikh dorozhnykh odezhd. M. : Mintrans RF, 2001.

© Алексиков С. В., Будрудинова А. Н., 2013

*Поступила в редакцию  
в январе 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Алексиков С. В., Будрудинова А. Н. Обоснование расчетной влажности и прочности грунтов под укрепленными обочинами автомобильных дорог // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 141—146.*

УДК 634:956:632:075.5

**В. Н. Анопин, Ю. И. Васильев, Г. А. Рулев**

## **ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ В СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ПРИДОРΟЖНЫХ СНЕГОЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

Представлены материалы, предназначенные для проектирования снегозащитных лесных полос. Предложена уточненная методика расчета параметров снегозащитных придорожных лесных насаждений.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** защита от снежных заносов, придорожные насаждения, снегоперенос, конструкции лесных полос.

The materials intended for the design of snow protective forest stand are presented. The specified calculation method for parameters of snow protective roadside forest stands is offered.

**К е y w o r d s:** protection against snow drifts, roadside plantings, snow transport, constructions of forest stands.

Полосные лесные насаждения — наиболее надежные и экономичные средства защиты от снежных заносов автомобильных дорог. Они имеют значительно больший срок службы, чем деревянные заборы, переносные щиты и другие временные снегозащитные сооружения. Кроме того, лесные насаждения снижают силу воздействия бокового ветра на транспортные средства, препятствуют выдуванию из земляного полотна мелкозема, способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур на прилегающих землях, дают возможность заготавливать определенное количество ликвидной древесины.

Для защиты автомобильных дорог от снежных заносов проектируемые защитные лесные насаждения должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) их параметры и конструкция должны обеспечивать возможность задержания всего объема приносимого к полотну дороги снега;
- 2) расстояние от ближайшего ряда деревьев или кустарников до дороги должно превышать ширину образующегося снежного шлейфа;
- 3) видовой состав лесонасаждений должен соответствовать почвенно-климатическим условиям произрастания и подбираться с учетом снегозащитных свойств деревьев и кустарников, их декоративности и хозяйственной ценности;
- 4) минимальный отвод земель под насаждения, минимальный объем последующих уходов, минимальные затраты на создание и содержание в надлежащем состоянии придорожных лесных полос.

Видовой состав деревьев и кустарников для снегозащитных лесных полос подбирают в зависимости от лесорастительных условий каждого конкретного участка лесокультурной площади. Породы, используемые для живых изгородей, должны хорошо переносить периодическую стрижку.

Из лиственных пород для создания придорожных защитных лесонасаждений в сухостепной зоне Нижнего Поволжья рекомендованы: ясень ланцетный, вяз обыкновенный, вяз приземистый, робиния лжеакация, скумпия, лещина обыкновенная, алыча, боярышник, смородина золотая, карагана древовидная,

ирга, тамарикс; из хвойных (на почвах легкого гранулометрического состава): сосна обыкновенная и сосна крымская. При создании непроходимых для скота колючих изгородей используют лох узколистный, шиповник и боярышник, а в юго-западной части региона — гледичию обыкновенную.

Типовые схемы снегозадерживающих насаждений участков автомобильной дороги с различной снегосборной площадью приведены в [1, 2].

На основе типовых схем снегозащитных насаждений выбирают рабочие схемы лесных полос для каждого конкретного участка продольного профиля трассы дороги. В рабочей схеме определяют число рядов, ширину междурядий и расстояния между растениями в рядах, видовой состав древесных и кустарниковых пород, их размещение по рядам.

Согласно районированию территории РФ по сложности защиты от снеготаносов автомобильных дорог [2] Волгоградская область относится к районам со средней трудностью снегоборьбы; продолжительность снежного периода 100...160 суток, объем снеготранспорта до 100...150 м<sup>3</sup>/м.

Исходными данными для проектирования придорожных лесных полос являются размер снегосборной площади, интенсивность снеготранспорта и аккумулярующие характеристики лесных полос.

В лесных полосах плотной конструкции при ажурности, близкой к нулю, ( $\phi < 10\%$ ) коэффициент аккумуляции близок к единице, практически весь переносимый снег (95 %) выпадает из двухфазного потока. В широких (более 50 м) непродуваемых лесных полосах снег аккумулируется не по всему поперечному профилю, а преимущественно в приполевой части шириной 30...40 м [3]. При очень больших и средних объемах переносимого снега в них может иметь место значительный снеготолк древоостоя.

Наиболее эффективны комбинированные снегозащитные лесонасаждения, состоящие из удаленных друг от друга лесополос разной плотности, позволяющих распределить аккумулируемый снег на каждую из них и в межполосном пространстве (интервалах).

Ширина полосы отвода под насаждения, их конструктивные параметры и породный состав должны определяться конкретными природно-климатическими факторами: лесорастительными условиями, количеством выпадающего снега, направлениями и скоростями метелистых ветров, шероховатостью поверхности и рельефом прилегающей к дороге территории.

В комбинированном снегозащитном лесонасаждении придорожные лесные полосы должны находиться друг от друга на расстоянии, превышающем ширину снежных шлейфов. Расчет их параметров осуществляется в следующей последовательности:

1. На основе данных метеорологических станций вычисляют возможный объем приносимого снега с территории перед снегозащитным объектом

$$Q_{\Pi} = \frac{\theta i L_{\text{сп}} \delta_{\text{в}}}{1000 \delta_{\text{с}}}, \quad (1)$$

где  $\theta$  — коэффициент снеготранспорта, равный в рассматриваемом регионе 0,7...0,8;  $i$  — величина слоя твердых осадков за зимний период, мм;  $L_{\text{сп}}$  — расстояние снеготранспорта, переносимое для Европейской части России, равное 1000 м;  $\delta_{\text{с}}$ ,  $\delta_{\text{в}}$  — плотность снега и воды.

2. При наличии на снегосборной площади сети полезащитных или стоко-регулирующих лесных полос величина коэффициента снегопереноса должна быть скорректирована с помощью зависимости

$$\theta_{\text{лп}} = 0,0106\theta(L_{\text{пл}} / H - 13), \quad (2)$$

где  $\theta_{\text{лп}}$  — коэффициент снегоноса при наличии лесных полос на снегосборной площади;  $L_{\text{пл}}$  — ширина межполосных пространств;  $H$  — высота лесных полос.

3. Объем снегопереноса при наличии сети лесных полос на снегосборной площади вычисляют из соотношения

$$Q_{\text{плп}} = \frac{Q_{\text{лп}} \theta i L_{\text{сп}} \delta_{\text{в}} B}{1000 \delta_{\text{с}}}. \quad (3)$$

4. Количество аккумулированного снега определяется как величиной  $Q_{\text{п}}$ , так и аккумулирующей способностью лесных полос. Оно может быть рассчитано по формуле

$$Q'_{\text{а}} = K'_{\text{а}} Q_{\text{п}}, \quad (4)$$

где  $K'_{\text{а}}$  — коэффициент аккумуляции снега лесной полосой.

Значения  $K'_{\text{а}}$  рассчитывают с помощью соотношения

$$K'_{\text{а}} = [1 - \exp(4\varphi - 4)], \quad (5)$$

где  $\varphi$  — ажурность лесных полос.

Объем неаккумулированного в лесной полосе снега

$$Q_{\text{на}} = \frac{\theta i L_{\text{сп}} \delta_{\text{в}} B (1 - K'_{\text{а}})}{1000 \delta_{\text{с}}}. \quad (6)$$

Для задержания этого объема снега нужны дополнительные лесные полосы.

5. Следующая лесная полоса аккумулирует снега

$$Q''_{\text{а}} = Q_{\text{на}} K''_{\text{а}} = \frac{\theta i L_{\text{сп}} \delta_{\text{в}} B (1 - K'_{\text{а}}) K''_{\text{а}}}{1000 \delta_{\text{с}}}, \quad (7)$$

где  $K''_{\text{а}}$  — коэффициент для второй лесополосы, рассчитываемый по (5).

Неаккумулированный второй лесной полосой объем снега можно рассчитать по формуле

$$Q''_{\text{на}} = \frac{\theta i L_{\text{сп}} \delta_{\text{в}} B (1 - K'_{\text{а}}) (1 - K''_{\text{а}})}{1000 \delta_{\text{с}}}. \quad (8)$$

Очевидно, число лесных полос должно обеспечивать у последней из них  $Q_{\text{на}}$ , равный или близкий к нулю.

6. Приведенные зависимости используются в случаях, когда межполосные расстояния ( $L_{\text{мп}}$ ) равны или больше протяженности снежного шлейфа ( $L_3$ ) с заветренной стороны лесных полос ( $L_{\text{мп}} \geq L_3$ ). При  $L_{\text{мп}} < L_3$  они не пригодны. В этом случае суммарный объем аккумулирующегося снега от первой лесной полосы равен

$$Q_s = B \left\{ \frac{h'_{рн}}{2} (L'_н + B'_л) + \frac{h'_{рз}}{2} (L'_м + B'_л) + \frac{h'_м L'_м}{2} + \frac{h'_м}{2} (L'_{мп} + L'_м) \left[ 1 + \frac{(L'_3 + L'_{мп})}{(L'_3 + L'_м)} \right] \right\}, \quad (9)$$

где  $B$  — ширина лесной полосы;  $h'_{рн}$ ,  $h'_{рз}$  — высота шлейфа снега на наветренной и заветренной опушках первой лесной полосы;  $L'_н$ ,  $B'_л$  — протяженность наветренного шлейфа и ширина первой лесной полосы;  $L'_м$  — расстояние до линии с максимальной высотой отложения снега;  $h'_м$  — максимальная высота снежного шлейфа;  $L'_{мп}$ ,  $L'_3$  — ширина межполосного пространства и протяженность заветренного шлейфа у первой лесной полосы.

Параметры  $L_н$ ,  $L_м$ ,  $L_3$  рассчитываются по формулам:

$$L_н = 0,03(100 - \varphi) H_3; \quad (10)$$

$$L_м = 0,04\varphi H_3; \quad (11)$$

$$L_3 = 4\varphi H_3 = 0,05 H_3 \varphi. \quad (12)$$

Величину  $h'_{рн}$ ,  $h'_м$  вычисляют исходя из соотношений:

$$h'_{рн} = \frac{h'_р L_н}{(L'_н + B'_л)}; \quad (13)$$

$$h'_м = \frac{h'_р (L'_н + B'_л + L'_м)}{(L'_н + B'_л)}. \quad (14)$$

7. Ширина  $B'_л$ , ажурность  $\varphi_1$  и рабочая высота снегоотложения  $h'_р$  у первой лесной полосы выбирается с учетом интенсивности снегопереноса и соотношения планируемых объемов снегоотложений в ней и на прилегающем пространстве (рис.). Расчет ведется с помощью соотношения

$$\frac{\theta i L_{сп} \delta_b K'_a}{1000 \delta_c} = h'_р \left[ \frac{(L'_н)^2 + (2L'_н + B'_л) B'_л + (2L'_н + L'_м + 2B'_л) L'_м + (L'_н + B'_л + L'_м)(L'_3 + L'_м)}{2(L'_н + L'_л)} \right]. \quad (15)$$

Подбирают такую величину  $B'_л$ , чтобы при защитной высоте лесной полосы, составляющей в регионе 4...8 м,  $h'_р$  не превышала 1...3 м.

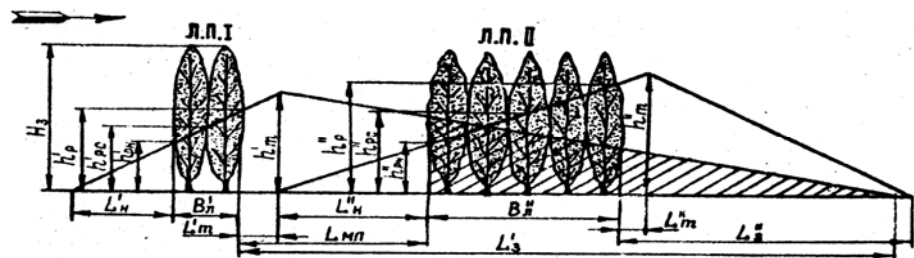


Схема формирования шлейфов снега в лесных полосах и на прилегающем к ним пространстве

8. Аналогичным образом рассчитывают параметры второй лесной полосы снегозащитного насаждения. При этом объем приносимого к ней ветровым потоком снега определяют по формуле:

$$Q''_{\text{пр}} = \frac{\theta i L_{\text{сп}} \delta_b B (1 - K'_a)}{1000 \delta_c} + \frac{h'_p + (L'_n + B'_l + L'_m)(L'_3 - L'_{\text{мп}})B}{2(L'_n + L'_l)(L'_3 - L'_m)}. \quad (16)$$

Если вторая лесная полоса проектируется непродуваемой конструкции, то коэффициент аккумуляции для нее  $K''_a = 1$  и количество аккумулялированного снега равно

$$Q''_a = K''_a Q''_{\text{пр}} = Q''_{\text{пр}}. \quad (17)$$

Суммарный объем снега, аккумулялированного второй лесной полосой

$$Q_s = \frac{B h''_p}{1000 \delta_c} + [(L''_n + B''_l)(1 + L''_m + L''_3) + L''_m(L''_3 - L''_m)]. \quad (18)$$

9. Во всем снегозащитном лесонасаждении отложится снега  $Q_{\text{п}}$ , причем с его наветренной стороны  $Q'_{\text{п}}$ , в межполосном пространстве  $Q_{\text{мл}} + Q''_n$ , с заветренной стороны  $Q''_3$ , непосредственно в лесных полосах  $Q'_l + Q''_l$ .

Для облегчения расчетов можно использовать разработанные во Всероссийском НИИ агролесомелиорации для различных конструкций лесных полос номограммы, представленные в приложениях [4]. Для их построения были выведены и в дальнейшем использованы следующие формулы:

$$Q_n = \frac{h_p \eta B}{\psi}; Q_l = \frac{h_p \gamma B}{\psi}; Q_{\text{мп}} = \frac{h_p (i + \sigma y f) B}{\psi}; Q_{\text{мл}} = \frac{h_p (i + \pi) B}{\psi}, \quad (19)$$

где  $\eta, \gamma, I, \sigma, y, f, \pi, \psi$  — показатели, находимые из приложений [4];  $B$  — величина фронта снеготранспорта, обычно принимаемая в расчетах равной 1 м.

Объем снеготложения с наветренной стороны первой лесной полосы снегозащитного насаждения в ней самой и в межполосном пространстве находится из соотношения

$$Q_{s1} = \frac{h_{p1} B (\eta_1 + \gamma_1 + i_1 + y_1 + f_1 + \sigma_1)}{\psi_1}. \quad (20)$$

Объем снеготложения во второй лесной полосе и в шлейфе за ней равен:

$$Q_{s2} = \frac{h_{p2} B (\eta_2 + \gamma_2 + i_2 + \pi_2)}{\psi_2}. \quad (21)$$

Суммарный объем снега, аккумуляливаемого снегозащитным сооружением, составляет

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2}. \quad (22)$$

Аналогичным образом могут быть рассчитаны параметры трех- и более полосного снегозащитного лесонасаждения.

При слишком большом значении  $h_p''$ , для уменьшения ширины полосы отвода под лесонасаждения на расстоянии 20...30 м от первой полосы рекомендуется проектирование дополнительной лесной полосы ажурной конструкции с просветами (порядка 60...75 %). За ней на таком же расстоянии проектируется плотная лесная полоса. Расчет аккумулируемого в последующих лесных полосах снега выполняется так же, как для первой и второй лесных полос двухполосного снегозащитного насаждения.

Проектируя снегозащитные насаждения, необходимо соблюдать, чтобы высота снегоотложений во всех лесных полосах была примерно одинаковой и не превышала предела, регламентирующего уровень их заносимости. При этом ширина межполосного пространства  $L_{мп}$  должна иметь минимальное значение, обеспечивающее возможность аккумуляции необходимого объема снега, поскольку от нее зависит отводимая под автомобильную дорогу площадь. При  $Q_p$  более 75 м<sup>3</sup>/пм, но менее 200 м<sup>3</sup>/пм  $L_{мп}$  можно брать равными 20...30 м, при  $Q_p > 200$  м<sup>3</sup>/пм — 30...40 м.

Предварительные результаты анализа расчетов, выполненных для автомобильных дорог Волгоград—Москва и Волгоград—Сызрань, показывают, что в сухостепной зоне Нижнего Поволжья большая часть придорожных снегозащитных насаждений должна состоять из одной и значительно реже двух и более лесных полос, расположенных вдоль каждой стороны транспортного объекта магистрали.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВСН 33-87. Указания по производству изысканий и проектированию лесонасаждений вдоль автомобильных дорог / М-во автомобильных дорог РСФСР. М. : Транспорт, 1988. 95 с.
2. Методические рекомендации по озеленению автомобильных дорог / Федеральная дорожная служба России. М., 1998. 41 с.
3. Макарычев Н. Т. Защитные лесные насаждения вдоль путей наземного транспорта / под ред. А. Л. Иванова и К. Н. Кулика // Агроресомелиорация. Изд. 5-е, перераб. и доп. Волгоград : ВНИАЛМИ, 2006. С. 476—502.
4. Методическое руководство по размещению насаждений на пастбищах, животноводческих комплексах и фермах / Госагропром СССР ; ВНИИ агролесомелиорации. Волгоград, 1999. 36 с.
1. VSN 33-87. Ukazaniya po proizvodstvu izyskaniy i proektirovaniyu lesonasazhdeniy vdol' avtomobil'nykh dorog / M-vo avtomobil'nykh dorog RSFSR. M. : Transport, 1988. 95 s.
2. Metodicheskie rekomendatsii po ozeleneniyu avtomobil'nykh dorog / Federal'naya dorozhnaya sluzhba Rossii. M., 1998. 41 s.
3. Makarychev N. T. Zashchitnye lesnye nasazhdeniya vdol' putey nazemnogo transporta / pod red. A. L. Ivanova i K. N. Kulika // Agrolesomeliorsiya. Izd. 5-e, pererab. i dop. Volgograd : VNIALMI, 2006. S. 476—502.
4. Metodicheskoe rukovodstvo po razmeshcheniyu nasazhdeniy na pastbishchakh, zhivotnovodcheskikh kompleksakh i fermakh / Gosagroprom SSSR ; VNII agrolesomeliorsii. Volgograd, 1999. 36 s.

© Анопин В. Н., Васильев Ю. И., Рулев Г. А., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Анопин В. Н., Васильев Ю. И., Рулев Г. А. Особенности методики расчета параметров в сухостепной зоне придорожных снегозащитных лесных насаждений // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 147—152.



УДК 625.712. 14

**С. В. Волченко**

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГОРОДСКИХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

Представлены методы повышения пропускной способности в городах. Даны результаты введения координированного регулирования движения на одном из наиболее загруженных направлений. Для повышения эффективности функционирования такого регулирования скорость движения по «зеленой волне» необходимо выбирать исходя из установившейся фактической скорости потока на каждом перегоне.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** пропускная способность городских дорог, улично-дорожная сеть, скорость транспортного потока, координированное регулирование, «зеленая волна».

Methods of capacity increase in cities are presented in the article. The results of introduction of coordinate traffic regulation in one of the most loaded directions are provided. To increase the efficiency of functioning of such speed regulation on «a green wave» it is necessary to choose taking into account the steady real speed of a flow on each stage.

**К е y w o r d s:** capacity of city roads, street and road network, speed of a transport flow, coordinate regulation, «green wave».

Образование плотных и связанных транспортных потоков в городах — неизбежный процесс в условиях автомобилизации и увеличения объема автомобильных перевозок. Автомобильный парк в городах растет значительно быстрее, чем численность населения. На определенном этапе развития города возникает перенасыщение уличной сети транспортными средствами. Городские улицы России, сформировавшиеся в то время, когда уровень автомобилизации был 30...80 автомобилей на 1000 жителей, не удовлетворяют современным требованиям. Перегрузка городских магистралей в часы пик приводит к появлению заторов транспортных потоков во многих городах России и мира.

Пропускная способность зависит от большого числа факторов: дорожных условий (ширины проезжей части, продольного уклона, радиуса кривых в плане, расстояния видимости и др.), характеристик транспортного потока (интенсивности, состава, плотности потока автомобилей), наличия средств регулирования, погодных-климатических условий, возможности маневрирования автомобилей по ширине проезжей части, психофизиологических особенностей водителей, конструкции автомобилей и др. [1].

Существующие способы снижения уровня загрузки улично-дорожной сети (УДС) классифицируются по степени снижения уровня загрузки по объекту воздействия (табл. 1) [2].

Способы, регулирующие количество автомобилей на наиболее загруженных элементах УДС, относятся к ограничивающим движение и могут применяться при достижении уровня автомобилизации 400 автомобилей на 1000 жителей. Способы, оказывающие воздействие на инфраструктуру, относящиеся к строительству и реконструкции УДС, в условиях дефицита финансирования и территории для транспортных сооружений, весьма проблематичны. В связи с чем особо актуальным становится проведение организационных мероприятий по повышению пропускной способности, что обеспечивает повышение эффективности использования уже существующих элементов УДС без значительных финансовых затрат.

Т а б л и ц а 1

Существующие способы снижения уровня загрузки УДС

| Степень снижения загрузки УДС | Объекты воздействия                         |                                                          |                                                         |                                                         |                                                                         |                                                          |                                                      |
|-------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                               | Количество транспортных средств             |                                                          | Инфраструктура                                          |                                                         |                                                                         | Организация                                              |                                                      |
|                               | Легковой и грузовой транспорт               | Пассажирский транспорт                                   | Дороги                                                  | Светофоры                                               | Парковки                                                                | Службы                                                   | Человек                                              |
| Низкая                        | Движение только с загруженным автомобилем   | Выделение специализированных полос движения              | Строительство пешеходных и велосипедных дорожек         | Ревёрсивное движение                                    | Разрешение стоянки или остановки с одной стороны улицы                  | Оперативное реагирование ДПС на возникшее ДТП            | Пропаганда отказа от использования автомобиля        |
| Средняя                       | Движение по четным и нечетным числам месяца | Определение оптимального количества транспортных средств | Строительство подземных (наземных) пешеходных переходов | Правый поворот на запрещающий сигнал светофора          | Запрет остановок и стоянки на остановочных пунктах                      | Операционная уборка улиц и дорог от осадков              | Повышение привлекательности пассажирского транспорта |
| Высокая                       | Платный въезд в центр                       | Организация маршрутов по незагруженным улицам            | Строительство развязок в разных уровнях                 | Отмена желтого сигнала светофора                        | Строительство парковок                                                  | Операционное регулирование заторов службами              | Создание предприятий в спальных районах              |
| Очень высокая                 | Ограничение на въезд в центр                | Рациональная маршрутная сеть                             | Строительство кольцевых объездов дорог                  | Светофорное регулирование с учетом транспортных потоков | Запрет остановок и стоянок на участках с низкой пропускной способностью | Строгий контроль ДПС за соблюдением правил и ограничений | Изменение режимов работы крупных предприятий         |

Разработку мероприятий по повышению пропускной способности необходимо производить на основе оценки скоростного режима транспортных потоков. Это позволит определить и в дальнейшем снизить влияние дорожных условий на пропускную способность УДС.

Организационные мероприятия по повышению пропускной способности путем регулирования скоростного режима включают в себя:

1. Мероприятия по снижению уровня загрузки в зоне перекрестка:
  - корректировка параметров светофорного регулирования;
  - совершенствование схемы одд на перекрестке.
2. Мероприятия по оптимизации длины перегона:
  - введение эффективного координированного регулирования движения по принципу «зеленая волна» (ЗВ);
  - перекрытие перекрестков;
  - устройство многоуровневых пересечений.

Одним из наиболее эффективных методов повышения пропускной способности УДС является координированное регулирование (КР). Использование данного метода позволяет резко уменьшить экономические, экологические и аварийные потери за счет снижения скорости и остановок транспорта у регулируемых перекрестков [3].

Методика расчета координированного регулирования [4, 5] предусматривает в качестве расчетной скорости движения по ЗВ принимать увеличенную на 5...8 км/ч 85%-ю скорость движения потока. Эта скорость определяется методом натурного наблюдения, которое проводится по возможности посередине перегона, где влияние перекрестков минимальное.

Сторонники другой методики [6—8] предлагают определять среднюю скорость движения на каждом перегоне, путем проведения замеров среднего времени проезда перегонов. При этом отмечено, что средняя скорость определяется рядом следующих условий: количеством полос движения [7, 8]; ровностью покрытия [7]; интенсивностью и составом потока [7, 8]; наличием спуска и подъемов [7]; длиной перегона и др. [8].

С целью оптимизации режимов работы магистралей в режиме движения ЗВ в 2006—2013 гг. выполнены исследования скоростного режима транспортных потоков на магистральных перегонах различной длины и ширины проезжей части УДС г. Волгограда. По результатам наблюдений установлено, что скорость движения по ЗВ необходимо устанавливать с учетом сложившихся дорожных условий, которые формируются при одновременном влиянии нескольких факторов: уровня загрузки регулируемых пересечений ( $Z_t$ ,  $Z_p$ ), количества полос движения ( $n$ ), длины перегона ( $L_n$ ) и установившейся скорости транспортного потока  $V_{yc}$ .

$$V_{зв} = V_{cp} = f(V_{yc}, Z_t, Z_p, n, L_n). \quad (1)$$

Для выяснения влияния регулируемых перекрестков на скорость транспортного потока было изучено взаимодействие транспортного потока с городскими магистралями в зоне разгона и торможения. Установлено, что скорость транспортного потока в зоне перекрестка меняется в зависимости от уровня загрузки перекрестков, количества полос движения и прохождения перекрестков с остановкой и без нее (рис.1).

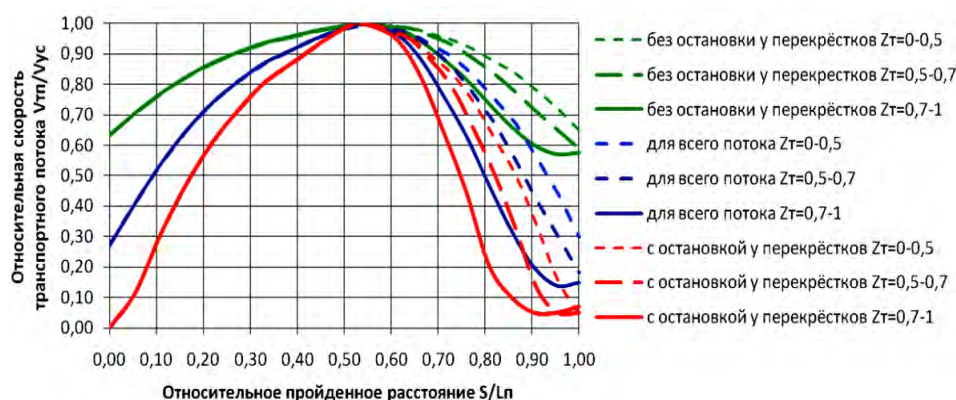


Рис. 1. Изменения скорости транспортного потока на участке с тремя полосами движения при уровне загрузки в зоне разгона  $Z_p = 0,7 \dots 1$  при различном уровне загрузки в зоне торможения  $Z_t$

На перегонах длиной до 950 м при обеспечении беспрепятственного проезда движение носит пилообразный характер: зона разгона сменяется зоной торможения и наоборот (см. рис. 1). Среднюю скорость при движении по ЗВ на таких перегонах необходимо определять по табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Средняя скорость движения потока для перегонов с 1-м типом ГИСТП*

| Количество полос движения | Уровень загрузки перекрестка в зоне торможения $Z_t$ | Уровень загрузки перекрестка в зоне разгона $Z_p$ | Средняя скорость движения $V_{срi}$ |
|---------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 2                         | 0...0,7                                              | 0...0,5                                           | $0,87V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,5...0,7                                         | $0,86V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,7...1,0                                         | $0,85V_{yc}$                        |
|                           | 0,7...1                                              | 0...0,5                                           | $0,86V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,5...0,7                                         | $0,85V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,7...1                                           | $0,84V_{yc}$                        |
| 3                         | 0...0,7                                              | 0...0,5                                           | $0,88V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,5...0,7                                         | $0,86V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,7...1                                           | $0,84V_{yc}$                        |
|                           | 0,7...1                                              | 0...0,5                                           | $0,87V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,5...0,7                                         | $0,85V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,7...1                                           | $0,82V_{yc}$                        |
| 4                         | 0...0,7                                              | 0...0,5                                           | $0,89V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,5...0,7                                         | $0,87V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,7...1                                           | $0,84V_{yc}$                        |
|                           | 0,7...1,0                                            | 0...0,5                                           | $0,87V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,5...0,7                                         | $0,86V_{yc}$                        |
|                           |                                                      | 0,7...1                                           | $0,83V_{yc}$                        |

Установившаяся скорость транспортного потока  $V_{yci}$  зависит от длины перегона  $L_{пи}$  и уровня загрузки его движением  $z_i$ :

$$V_{yci} = 10,89L_{пи}^{0,21} \cdot z_i^{-0,37}. \quad (2)$$

Коэффициент множественной корреляции — 0,81.

Комплексное влияние дорожных условий на установившуюся скорость транспортного потока  $V_{yci}$  при наличии на дорожном покрытии деформаций описывается зависимостью

$$V_{yci} = 35,4 L_{\pi i}^{0,02} \cdot z_i^{-0,55} \cdot S^{-0,11}, \quad (3)$$

где  $S$  — площадь деформированной поверхности дорожного покрытия, %.

Коэффициент множественной корреляции — 0,80.

В качестве примера рассмотрим возможность проектирования координированного движения по пр. им. Жукова г. Волгограда. Введение ЗВ на данном участке возможно при различных режимах движения: при скорости движения 50 км/ч [4, 5] и при средней скорости движения на перегонах в пределах 30...40 км/ч [6—8] (рис. 2).

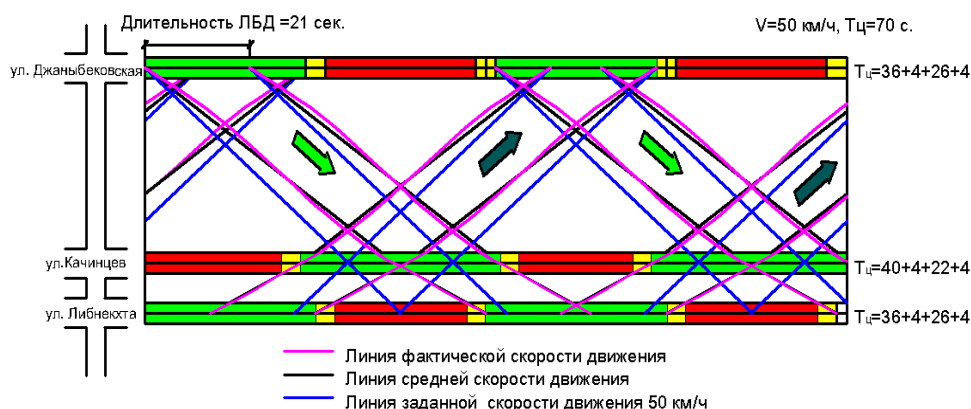


Рис. 2. График координированного регулирования движения по пр. Жукова г. Волгограда в прямом и обратном направлении движения при  $V_{\text{зв}} = 50$  км/ч и  $V_{\text{зв}} = V_{\text{ср}}$

В результате анализа графика координированного регулирования движения (см. рис. 2) установлено, что для обеспечения безостановочного движения необходимо скорость по ЗВ определять как среднюю скорость движения на отдельном перегоне, поскольку другая навязанная скорость не гарантирует попадание транспортного потока на зеленый сигнал светофора [3, 6—8].

При введении ЗВ только в одном наиболее загруженном направлении движения, например в период утреннего часа пик или вечернего часа пик, возможно пополнение потока, попадающего в ЗВ за счет поворачивающих потоков, движущихся с примыкающих улиц и дорог. Для этого необходимо увеличить длительность зеленого такта и обеспечить его включение с некоторым опережением.

При проектировании координированного регулирования по пр. Жукова г. Волгограда в одном направлении движения в период вечернего часа пик возможно увеличение потока, движущегося по ЗВ, на 316 приведенных единиц (согласно исследованиям интенсивности движения [9]) за счет потоков 1 и 2, движущегося с ул. Джаныбековская (рис. 3). При построении линий средней скорости для потоков 1 и 2 установлено, что для безостановочного проезда перекрестков необходимо длительность зеленого такта на пересечении с ул. Либнехта увеличить на 10 секунд.

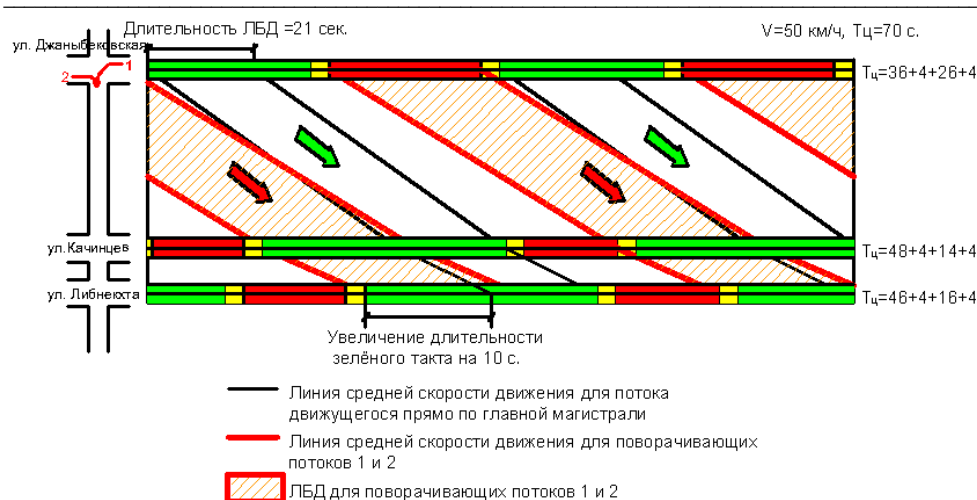


Рис. 3. График координированного регулирования движения по пр. Жукова г. Волгограда на одном из наиболее загруженных направлений при  $V_{зв} = V_{ср}$

Выполненные исследования режимов движения транспортных потоков позволяют решить следующие две задачи:

- 1) определение скорости движения по ЗВ;
- 2) оптимизация функционирования координированного регулирования при действии ЗВ на одном из направлений движения.

Основная идея совершенствующей методики в определении средней скорости движения на каждом перегоне расчетным методом. Это позволит избежать проведения натурных наблюдений скоростей транспортных потоков, что особенно важно при разработке проектов организации дорожного движения и комплексных транспортных схем городов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексиков С. В., Волченко С. В. Повышение пропускной способности УДС путем регулирования скоростного режима транспортных потоков. Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. 33 с.
2. Пыталев И. А., Пыталева О. А. Анализ и систематизация факторов, оказывающих влияние на уровень загрузки улично-дорожной сети. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sworld.com.ua/index.php/en/transportation-411/transport-and-logistics-411/11437-411-0967> (дата обращения: март 2013 г.).
3. Методы оценки эффективности координированного регулирования дорожного движения / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Д. В. Навой, Д. В. Мозалевский. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.waksman.ru/Russian/Konference/2010/V.pdf> (дата обращения: март 2013 г.).
4. Руководство по регулированию дорожного движения в городах. М. : Стройиздат, 1974. 97 с.
5. Кременец Ю. А., Печерский М. П., Афанасьев М. Б. Технические средства организации дорожного движения : учебник для вузов. М. : ИКЦ «Академкнига», 2005. 279 с.
6. Врубель Ю. А. Организации дорожного движения. Минск : Фонд безопасности дорожного движения, 1996. 326 с.
7. Аземша С. А., Марковцев В. А., Рожанский Д. В. Обеспечение безопасности дорожного движения и перевозок. Гомель : БелГУТ, 2011. 259 с.
8. Петров В. В. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах : учебное пособие. Омск : Изд-во СибАДИ, 2007. 104 с.
9. Алексиков С. В., Волченко С. В. Оптимизация длины перегона городских дорог регулируемого движения : научно-практические рекомендации. Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. 51 с.

1. Aleksikov S. V., Volchenko S. V. Povyshenie propusknoy sposobnosti UDC putem regulirovaniya skorostnogo rezhima transportnykh potokov. Volgograd : VolgASU, 2012. 33 s.
2. Pytalev I. A., Pytaleva O. A. Analiz i sistematizatsiya faktorov, okazyvayushchikh vliyaniye na uroven' zagruzki ulichno-dorozhnoy seti. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.sworld.com.ua/index.php/en/transportation-411/transport-and-logistics-411/11437-411-0967> (data obrashcheniya: mart 2013 g.).
3. Metody otsenki effektivnosti koordinirovannogo regulirovaniya dorozhnogo dvizheniya / Yu. A. Vrubel', D. V. Kapskiy, D. V. Navoy, D. V. Mozalevskiy. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.waksman.ru/Russian/Konference/2010/V.pdf> (data obrashcheniya: mart 2013 g.).
4. Rukovodstvo po regulirovaniyu dorozhnogo dvizheniya v gorodakh. M. : Stroyizdat, 1974. 97 s.
5. Kremenets Yu. A., Pecherskiy M. P., Afanas'ev M. B. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya : uchebnyk dlya vuzov. M. : IKTs «Akademkniga», 2005. 279 s.
6. Vrubel' Yu. A. Organizatsii dorozhnogo dvizheniya. Minsk : Fond bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya, 1996. 326 s.
7. Azemsha S. A., Markovtsev V. A., Rozhanskiy D. V. Obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya i perevozok. Gomel' : BelGUT, 2011. 259 s.
8. Petrov V. V. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodakh : uchebnoe posobie. Omsk: Izd-vo SibADI, 2007. 104 s.
9. Aleksikov S. V., Volchenko S. V. Optimizatsiya dliny pereгона gorodskikh dorog reguliruemogo dvizheniya : nauchno-prakticheskie rekomendatsii. Volgograd : VolgASU, 2011. 51 s.

© Волченко С. В., 2013

*Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Волченко С. В. Повышение пропускной способности городских дорог на основе оценки скоростного режима транспортных потоков // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С.153—159.*

УДК 625. 855.3

**С. И. Романов, А. Ю. Стадник, С. В. Мельников**

### **МЕТОДОЛОГИЯ БЫСТРОЙ ДИАГНОСТИКИ ШЕРОХОВАТОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ БЕЗВОДНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА ДАННОГО СОСТАВА**

Для оценки шероховатости асфальтобетонных покрытий различных типов использован косвенный мгновенный электроемкостный метод измерений. Результаты этих измерений математически связаны уравнением гиперболы с показателями известного прямого метода песчаного пятна.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** асфальтобетон, электроемкость, шероховатость.

The indirect instant electric capacity measurement method is used for the assessment of the roughness of asphalt concrete coverings of different types. The results of these measurements are mathematically connected by the hyperbole equation with the indexes of a known direct sand-spot method.

**K e y w o r d s:** asphalt concrete, electric capacity, roughness.

Среднее расстояние между поверхностью дорожного покрытия и плоскостью, расположенной на этой поверхности, равновеликой следу расчетного автомобиля, является шероховатостью, измеренной на данном месте. В технической литературе [1] различают макро- и микрошероховатость. Шероховатость, создаваемую скелетными минеральными зёрнами, называют макрошероховатостью. Собственную шероховатость зёрен — микрошероховатостью.

Принято три параметра, характеризующие макрошероховатость: средняя высота выступов, средняя глубина впадин и коэффициент шага шероховатости. Из них наиболее распространенным и простым для измерений является показатель средней глубины впадин, измеряемый методом песчаного пятна [2], который был модифицирован заменой песка на мелкие стеклянные шарики [3]. Наряду с ними предложен метод измерений щупом штангенциркуля [4] для определения средней глубины впадин по 35 показателям в отверстиях, равноудаленных между собой в жесткой пластине, равновеликой по площади следу колеса расчетного автомобиля. Отмеченные методы [2—4] весьма длительны, трудоемки и не характеризуются высокой точностью.

Большие площади асфальтобетонных покрытий требуют многочисленных измерений шероховатости с их последующей статистической обработкой для обеспечения достаточной достоверности результатов. При этом рекомендуем использовать экспресс-метод электроемкостных, практически мгновенных косвенных измерений общей шероховатости, включающей макро- и микрошероховатость. Для таких измерений предлагаем использовать сертифицированный, компактный, недорогостоящий прибор ВИМС-2.21 с планарным датчиком, выпускаемый отечественной приборостроительной промышленностью (НПП «ИНТЕРПРИБОР»). Целесообразность и новизна такого оперативного метода диагностики шероховатости различных асфальтобетонных дорожных покрытий подтверждена положительным решением о выдаче патента на изобретение.

Диагностика шероховатости выполнена на различных дорожных покрытиях Волгоградской области протяженностью 26 км. Приняты продольные створы для измерений на расстоянии от кромки 1...3 м; шаг в продольном направлении дороги 50...100 м. Впервые установлена единая закономерная



математическая взаимосвязь, представленная гиперболой, между показателями экспресс-метода  $C$  и средней глубиной впадин шероховатости  $H_{\text{ср}}$ , измеренных методом песчаного пятна на покрытиях из горячих асфальтобетонных смесей типов ЩМА-20, А, Б, В, Г, литой с втапливанием щебня:

$$H_{\text{ср}} = a + b/C, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  — определенные коэффициенты для различных типов асфальтобетона.

Индексы детерминации  $r^2$ , характеризующие долю влияния  $C$  на  $H_{\text{ср}}$  для отмеченных типов асфальтобетонов, находятся в диапазоне 0,81...0,88. Достаточно сильная теснота связи между показателями  $C$  и  $H_{\text{ср}}$  позволяет использовать косвенный экспресс-метод определения шероховатости покрытия вместо метода песчаного пятна в соответствии с установленным уравнением (1). При изменении запроектированного состава асфальтобетона или месторождений минеральных материалов, входящих в состав данного асфальтобетона диагностируемого покрытия, следует уточнить коэффициенты  $a$  и  $b$  по 20...30 парным измерениям  $C$  и  $H_{\text{ср}}$  с применением известной программы для компьютера Table Curve 2D.

Шероховатость асфальтобетонного покрытия зависит от типа асфальтобетона. При обследовании шероховатости различных асфальтобетонных покрытий Волгоградской области установлено: покрытие из асфальтобетона типа В относится по классификации [5] к гладким (Гл) покрытиям, требующим повышения шероховатости, поскольку средняя глубина впадин находится в интервале 0,15...0,27 мм; к мелкошероховатым (Мшер) относятся покрытия из асфальтобетонов типов А, Б, Г, ЩМА, характеризуемые средней глубиной впадин 0,48...1,5 мм. Литой асфальтобетон с втопленным щебнем должен дополнительно характеризоваться достаточной шероховатостью при обоснованном минимальном коэффициенте ее вариации.

Для дорожных покрытий из различных типов асфальтобетонов наиболее высокая однородность шероховатости свойственна типу Б, у которого коэффициент вариации минимален. Наибольший коэффициент вариации зарегистрирован на покрытии из литого асфальтобетона с втапливанием щебня на мосту через Волгу. Причина повышенной изменчивости шероховатости заключается в недоброкачественном выполнении технологии втапливания щебня. Минимизация коэффициента вариации важнейших показателей качества дорожного покрытия, в том числе достаточной шероховатости при строительстве, способствует повышению надежности, срока службы, безопасности движения.

Чем меньше коэффициент вариации, тем меньше изменчивость показателя шероховатости и однороднее состояние покрытия, позволяющее водителю чувствовать себя увереннее при движении машины по дороге. На величину коэффициента вариации шероховатости влияют следующие факторы: соблюдение стандартного (ГОСТ 9128—2009), нормативного коэффициента вариации прочности данной марки асфальтобетона на АБЗ, использованного для строительства данного покрытия; степень уплотнения асфальтобетона; зерновая и температурная сегрегация асфальтобетонной смеси, происходящая при выгрузке из накопительного бункера, а также при транспортировке смеси. Наряду с отмеченными факторами при диагностике шероховатости

покрытия необходимо указывать продолжительность его эксплуатации, так как со временем происходит износ, сопровождающийся заметным снижением коэффициента вариации шероховатости  $K_v$  и  $H_{cp}$ .

Во время строительства дорожного покрытия целесообразно регистрировать показатель однородности шероховатости через 50...100 м на уплотненном остывшем покрытии с помощью экспресс-метода. При нарушении однородности шероховатости следует оперативно выявлять причины с целью обеспечения наименьшего коэффициента вариации. Аналогичная регистрация шероховатости возможна и для сдаваемого в эксплуатацию покрытия данной дороги. Высокая стабильность состава асфальтобетона в дорожном покрытии согласуется с минимальной величиной дисперсии или коэффициента вариации шероховатости, быструю регистрацию которой рекомендуем осуществлять экспресс-методом с последующей обработкой результатов измерений методами математической статистики. Минимизация коэффициента вариации может стать стимулирующим фактором для производителей в процессе строительства.

На стадии эксплуатации происходит износ асфальтобетонного покрытия, интенсивность которого достаточно точно регистрируется в большей мере на полосах наката, отстоящих на определенном расстоянии от кромок покрытия. Измерения шероховатости предложенным экспресс-методом показали заметное ее снижение на полосах наката для покрытий, построенных в 2004—2011 гг. Дорожные асфальтобетонные покрытия из асфальтобетонных типов А, Б, Г, ЩМА-20 обеспечивают шероховатость, соответствующую мелкошероховатым покрытиям, у которых средняя глубина впадин находится в диапазоне 0,48...1,32 мм [6]. Закономерно возрастает шероховатость при увеличении содержания щебня в асфальтобетоне, а во время эксплуатации за счет износа уменьшается в некоторой мере коэффициент вариации шероховатости покрытия.

Диагностику средних глубин впадин шероховатости сухих асфальтобетонных покрытий любой протяженности, построенных из принятых проектных составов асфальтобетона, выполняют в две стадии:

1. Определяют коэффициенты  $a$  и  $b$  в (1) на основе не менее 20 парных измерений  $H_{cp}$  и  $C$  в продольном направлении покрытия с шагом 50...100 м, используя программу Table Curve 2D. Полученное уравнение предназначено для дальнейшей градуировки показателей  $C$  в величинах  $H_{cp}$  диагностируемого участка покрытия.

2. Измеряют только показатели  $C$  без натурных измерений  $H_{cp}$ , величины которой определяют из уравнения, полученного на первой стадии.

Например, для дорожного покрытия протяженностью 5,6 км из асфальтобетона проектного состава типа В на основе 33 парных измерений  $C$  и  $H_{cp}$  в продольном направлении с шагом 50 м на участке 1650 м получено уравнение  $H_{cp} = -0,7087 + 18,6681/C$ .

На оставшемся участке  $(5,6 - 1,65) = 3,95$  км выполнено 40 мгновенных автоматических измерений  $C$ , по которым на основе уравнения найдена величина  $H_{cp} = 0,19$  мм без натурных измерений методом песчаного пятна.

Уравнения взаимосвязи (табл.1) определяют с применением компьютерной программы Table Curve 2D, предназначенной для построения теоретических моделей на основе эмпирически полученных данных  $H_{cp}$  и  $C$ .

Т а б л и ц а 1

*Результаты измерений и расчетов на первой стадии по компьютеру*

| Тип асфальтобетона        | Уравнение взаимосвязи между $H_{ср}$ и $C$ | Индекс детерминации $r^2$ |
|---------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|
| А                         | $H_{ср} = -3,6951 + 89,01788 / C$          | 0,88                      |
| Б                         | $H_{ср} = -0,7616 + 26,1583 / C$           | 0,88                      |
| В                         | $H_{ср} = -0,7087 + 18,6681 / C$           | 0,87                      |
| Г                         | $H_{ср} = -0,6119 + 20,5361 / C$           | 0,81                      |
| ЩМА-20                    | $H_{ср} = -3,2781 + 87,3813 / C$           | 0,85                      |
| Литой с втопленным щебнем | $H_{ср} = -1,16625 + 26,6883 / C$          | 0,68                      |

Определенные величины средних глубин впадин шероховатости  $H_{ср}$  и коэффициентов вариации  $K_v$  для различных типов асфальтобетонов в дорожных покрытиях приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Показатели диагностики шероховатости различных асфальтобетонных покрытий Волгоградской области*

| Тип асфальтобетона          | Длина участка дороги, м | Шаг измерений, м | $H_{ср}$ , мм | Коэф. вариации $K_v$ | Срок эксплуатации, годы |
|-----------------------------|-------------------------|------------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| А                           | 1000                    | 50               | 0,93          | 0,273                | 1                       |
| Б                           | 950                     | 50               | 0,54          | 0,087                | 5                       |
| Б                           | 1500                    | 50               | 0,53          | 0,081                | 6                       |
| В                           | 1650                    | 50               | 0,19          | 0,160                | 2                       |
| В                           | 5600                    | 100              | 0,19          | 0,144                | 3                       |
| Г                           | 850                     | 50               | 0,94          | 0,144                | 5                       |
| Г                           | 5600                    | 100              | 0,87          | 0,084                | 6                       |
| ЩМА-20                      | 1500                    | 50               | 1,03          | 0,130                | 2                       |
| ЩМА-20                      | 5000                    | 100              | 1,01          | 0,107                | 3                       |
| Тот же на мосту через Волгу | 600                     | 50               | 1,02          | 0,120                | 2                       |
| Литой с втопленным щебнем   | 600                     | 50               | 0,86          | 0,410                | 2                       |
| Литой с втопленным щебнем   | 1200                    | 50               | 0,80          | 0,377                | 1                       |

Изменение состава асфальтобетона диагностируемого дорожного покрытия приводит к необходимости уточнения коэффициентов уравнения гиперболы на основе дополнительного выполнения парных измерений повторной первой стадии. Экспериментально показано [7] влияние на электроемкость изменения месторождения каменного материала, из которого получен щебень и отсев для асфальтобетона диагностируемого покрытия. Поэтому возврат к первой стадии диагностики становится необходимым при изменении состава асфальтобетона и месторождения минерального материала для обеспечения требуемой достоверности коэффициентов в уравнении гиперболы.

При строительстве асфальтобетонного дорожного покрытия обычно используют предварительно запроектированный состав асфальтобетона для данной дороги. Тогда достаточно выполнить один раз первую стадию диагностики и в дальнейшем пользоваться второй стадией для определения шероховатости данной дороги.

В расчете на 100 км диагностируемого участка покрытия, построенного из асфальтобетона постоянного проектного состава, для определения средней глубины впадин шероховатости и коэффициента ее вариации потребуется 1000 измерений. Из них достаточно выполнить 30 парных измерений  $C$  и  $H_{cp}$  для определения уравнения  $H_{cp} = f(C)$ . Затем 970 необходимых мгновенных автоматических измерений следует выполнить одним электроемкостным методом. Учитывая 60-кратное ускорение автоматических косвенных измерений по сравнению с измерениями методом песчаного пятна, обеспечивается 30-дневная экономия времени и соответствующих трудовых затрат на выполнение диагностики шероховатости данного покрытия.

Двухстадийная методология и дополнительные результаты (см. табл. 2) диагностики шероховатости обследованных асфальтобетонных покрытий Волгоградской области дают представление о качественном состоянии поверхности различных покрытий. Обследованное асфальтобетонное покрытие дороги Березовская—Деминский—Ярыженский протяженностью 5,6 км нуждается в поверхностной обработке или других известных способах увеличения шероховатости, так как характеризуется показателем средней глубины впадин 0,19 мм, а допускается [5] не менее 0,30 мм.

Диагностику шероховатости следует выполнять во время строительства покрытия по контрольным картам «среднее — размах» с целью своевременного оперативного контроля технологических процессов, а также через каждые три года эксплуатации покрытий дорог Волгоградской области для обоснованного восстановления шероховатости покрытий, находящихся в критическом состоянии с точки зрения безопасности движения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд / под ред. А. Я. Тулаева. М., 1985. 224 с.
2. Замахаев М. С. Исследование коэффициента поперечного сцепления пневматической шины на дорожных покрытиях // Тр. МАДИ. 1949. Вып. 2. С. 3—20.
3. Способ контроля шероховатости поверхности дорожного покрытия : пат. 2275450 Рос. Федерация. № 2004128502 ; заявл. 27.09.04 ; опубл. 27.04.06, Бюл. № 12.
4. Способ контроля шероховатости поверхности дорожного покрытия : пат. 2370457 Рос. Федерация. № 20071437227 ; заявл. 26.11.07 ; опубл. 20.10.09, Бюл. № 29.
5. ВСН 38-90. Ведомственные строительные нормы // Технические указания по устройству дорожных покрытий с шероховатой поверхностью. М., 1990. С. 1—3.
6. Романов С. И., Стадник А. Ю. Показатели шероховатости асфальтобетонных дорожных покрытий // Строительные материалы. 2010. № 10. С. 30—31.
7. Мельников С. В., Романов С. И., Стадник А. Ю. Определение плотности высушенных минеральных материалов косвенным экспресс-методом при производстве горячих асфальтобетонных смесей // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 26(45). С. 108—112.
1. Operatsionnyy kontrol' kachestva zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd / pod red. A. Ya. Tulaeva. M., 1985. 224 s.
2. Zamakhaev M. S. Issledovanie koeffitsienta poperechnogo stsepleniya pnevmaticheskoy shiny na dorozhnykh pokrytiyakh // Tr. MADI. 1949. Vyp. 2. S. 3—20.
3. Sposob kontrolya sherokhovatosti poverkhnosti dorozhnogo pokrytiya : pat. 2275450 Ros. Federatsiya. № 2004128502 ; zayavl. 27.09.04 ; opubl. 27.04.06, Byul. № 12.

4. Sposob kontrolya sherokhovatosti poverkhnosti dorozhnogo pokrytiya : pat. 2370457 Ros. Federatsiya. № 20071437227 ; zayavl. 26.11.07 ; opubl. 20.10.09, Byul. № 29.
5. VSN 38-90. Vedomstvennye stroitel'nye normy // Tekhnicheskie ukazaniya po ustroystvu dorozhnykh pokrytiy s sherokhovatoy poverkhnost'yu. M., 1990. S. 1—3.
6. Romanov S. I., Stadnik A. Yu. Pokazateli sherokhovatosti asfal'tobetonnykh dorozhnykh pokrytiy // Stroitel'nye materialy. 2010. № 10. S. 30—31.
7. Mel'nikov S. V., Romanov S. I., Stadnik A. Yu. Opredelenie plotnosti vysushennykh mineral'nykh materialov kosvennym ekspress-metodom pri proizvodstve goryachikh asfal'tobetonnykh smesey // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkhitekt. 2012. Vyp. 26(45). S. 108—112.

© Романов С. И., Стадник А. Ю., Мельников С. В., 2013

*Поступила в редакцию  
в январе 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Романов С. И., Стадник А. Ю., Мельников С. В. Методология быстрой диагностики шероховатости дорожного покрытия из безводного асфальтобетона данного состава // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 160—165.*

УДК 625.748:656.13.086

**Е. Ю. Серова, Н. В. Сапожкова, В. В. Мельников**

### **ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРИДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА БЕЗОПАСНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ**

Рассмотрены вопросы влияния дорожных условий, включающих и состояние элементов придорожной инфраструктуры, на удобство и безопасность управления автомобилем. Определены подходы организации придорожной инфраструктуры, системы автомобильно-дорожного сервиса, направленные на снижение аварийности по причине утомляемости водителя.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** придорожная инфраструктура, автомобильно-дорожный сервис, безопасность дорожного движения.

Issues of influence of the road conditions, including the condition of elements of roadside infrastructure, on comfort and safety of driving are considered. The approaches of the organization of roadside infrastructure, the system of automobile and road service directed to the decrease of a number of accidents because of fatigability of a driver are defined.

**K e y w o r d s:** roadside infrastructure, automobile and road service, road traffic safety.

Автомобильный транспорт занимает лидирующее место среди других видов транспорта (воздушного, трубопроводного, водного, железнодорожного) по количеству аварий, чрезвычайных ситуаций, трагических последствий и материальному ущербу. По данным Госавтоинспекции, за прошедший 2012 г. на дорогах России произошло 203 597 дорожно-транспортных происшествий (ДТП), что на 1,9 % больше по сравнению с предыдущим годом. В них погибли 27 991 человек, а 258 618 человек получили ранения. Одной из главных причин высокой аварийности стало неудовлетворительное состояние дорог. Из-за этого в России случается практически каждое шестое дорожно-транспортное происшествие. На разбитых дорогах в 2012 г. произошло 42 772 аварии, в которых погибли 6950 человек и пострадали 54 468 человек. Неудовлетворительные дорожные условия в ряде регионов Российской Федерации обусловлены плохим состоянием дорожного покрытия, неразвитостью дорожной сети и придорожной инфраструктуры [1].

Очень часто в авариях виноваты сами водители. По их вине за прошедший год произошло 177 504 ДТП, что на 3,9 % больше, чем годом ранее. Надежность водителя в значительной степени определяется его работоспособностью. При осуществлении межрегиональных, международных перевозок на большие расстояния зачастую причиной совершения дорожно-транспортных происшествий становится переутомление водителя, долгое время находящегося за рулем. Длительные поездки, особенно в ночное время суток, приводят к усталости и снижению внимания, замедленной реакции водителя на изменяющуюся дорожную обстановку.

Утомление водителя проявляется в снижении безопасности движения, оно оказывает негативное влияние на все основные функции восприятия и другие психофизиологические качества водителя. Из-за утомления ухудшаются характеристики зрительного восприятия: увеличиваются его пороги, снижаются контрастная чувствительность, точность оценки расстояний до объектов и скорости их движения, что повышает риск ДТП.

Значительная часть ДТП возникает из-за усталости водителей (США — около 22 %, Италии — 9 % серьезных происшествий). Отмечен рост ДТП именно по этой причине и на дорогах России, особенно в летний период, что связано с увеличением объема перевозок.

Характерным и особенно опасным симптомом утомления является сонливость, иногда приводящая к засыпанию за рулем. В США по этой причине происходит 4 % ДТП со смертельным исходом, во Франции — 20,6 % ДТП со смертельным исходом и 14,9 % с ранениями, в Японии — 61,3 % столкновений транспортных средств, 33,1 % наездов на препятствие, 5,8 % наездов на пешеходов. На автомобильных дорогах России 1,7...2,4 % ДТП случаются в результате засыпания водителей на прямолинейных участках дорог большой протяженности.

Сонливость водителя может появиться не только при утомлении, но и в монотонной обстановке. Однообразный ландшафт окружающей местности, движение с постоянной скоростью, монотонный шум двигателя вызывают заторможенное состояние, которое иногда называют дорожным гипнозом, ступором или сонным опьянением. При этом возникают сонливость, вялость, апатия, появляются отвлеченные мысли и представления, не имеющие никакого отношения к управлению автомобилем, резко снижается готовность к действиям при неожиданном изменении дорожной обстановки. Согласно статистическим данным заторможенному состоянию в сильной степени подвержены 23 % водителей, в легкой степени — 74 % и лишь 3 % водителей такого состояния не испытывают.

Исследования отечественных и зарубежных ученых подтверждают, что длительные поездки без остановки на отдых могут ухудшать состояние водителя, его способность эффективно управлять автомобилем и приводят к повышению риска вовлечения в дорожно-транспортное происшествие: непрерывная продолжительность работы водителя более 5 часов повышает риск в 1,3 раза, более 8 часов в 1,8 раза [2]. Данные Института питания в Париже показывают, что повышенная нервная усталость водителей чаще всего является следствием неправильного режима питания, режима рабочего времени или времени отдыха. Врачи на Западе рекомендуют водителям через каждые два часа делать остановки для кратковременного отдыха, приема пищи и утоления жажды.

Тенденция развития транспортной политики в области безопасности движения такова, что остановки во время движения и отдых водителей становятся обязательными в целях снижения уровня аварийности. В ряде стран Западной Европы в обязанности полиции входит строгий контроль периодичности и продолжительности остановок грузового транспорта и автобусов.

В РФ режим труда и отдыха водителей регламентируется «Положением о рабочем времени и времени отдыха водителей автомобилей», утвержденным приказом Министерства транспорта РФ от 20 августа 2004 г. № 15 «Об утверждении положения об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха водителей», согласно которому время управления автомобилем в течение периода ежедневной работы не может превышать 9 часов. На междугородных перевозках после первых 3 часов непрерывного управления автомобилем водителю предоставляется специальный перерыв для отдыха продолжительностью не менее 15 минут, в дальнейшем перерывы такой продолжительности предусматриваются не более чем через каждые 2 часа [3].

Однако в результате проведенных социологических исследований половина опрошенных водителей (46,6 %) нарушают суточную норму часовой нагрузки управления автомобилем, а 71,5 % не соблюдают необходимые перерывы для кратковременного отдыха, предусмотренные законом. По данным проводимых наблюдений, сооружаемые на трассе площадки отдыха нередко пустуют (рис. 1).



Рис. 1. Площадка отдыха. Иловлинский район, 41—42 км автомагистрали М-6 «Каспий»

Причина может заключаться в том, что существующие площадки отдыха и другие объекты автомобильно-дорожного сервиса не достаточно обустроены и не привлекают внимание проезжающих по дороге, так как в полной мере используются места кратковременного отдыха с выразительным ландшафтом, наличием питьевой воды, благоустроенной санитарной зоной, пунктом питания или торговой точкой, возможностью помыть автомобиль.

Спустя несколько часов непрерывного управления автомобилем большинство водителей желает остановиться и сделать перерыв на обед, небольшой отдых, чтобы отвлечься от монотонной поездки. Места отдыха и придорожного сервиса должны предоставить водителям эту возможность, поэтому переоценить их значение очень трудно. В связи с тем, что врачи рекомендуют водителям каждые 2 часа делать остановки для короткого перерыва, «критический» интервал пути, на котором должно быть размещено предприятие обслуживания (общепит), 100 км.

Управление автомобилем более 9 часов в день увеличивает риск попасть в ДТП в 1,5 раза, а риск ДТП с травматизмом примерно в 3 раза [2]. Следовательно, водителям, осуществляющим дальние поездки, нужен полноценный ночной отдых в придорожных гостиницах, мотелях.

Однако результаты опроса водителей на дорогах Волгоградской области свидетельствуют о том, что значительная их часть пользуется услугами частных лиц, знакомых или родственников — 26 %, т. е. практически каждый четвертый, а 16,5 % не пользуются ничем, предпочитают в качестве места для ночлега использовать свой автомобиль. В целом 42,5 % участников транспортного процесса оказываются не охваченными услугами придорожного гостиничного сервиса,



что свидетельствует о недостаточном развитии сети придорожных мест длительного отдыха. В то время как требования к сервисной дорожной инфраструктуре, в том числе и к местам длительного отдыха, записаны в государственных стандартах. Обязательные условия размещения мотелей на автомобильных дорогах: освещенная территория, наличие предприятий придорожного общепита, предоставление санитарно-гигиенических услуг, наличие мусоросборников, охраняемые стоянки, связь. Это минимум для комфорта длительного отдыха владельцев и пользователей автомобилей [4].

Рациональное размещение вдоль дороги элементов системы обслуживания движения возможно лишь в том случае, если одновременно удовлетворяются требования удобства и безопасности движения, дорожной архитектуры и экономические требования (как при строительстве, так и при эксплуатации сооружений). Для удовлетворения этих требований необходимо определение оптимальных размеров объектов и предприятий автомобильно-дорожного сервиса. Так учитывая, что вместимость стоянок для автомобилей, площадок кратковременного отдыха зависит от часовой интенсивности, скорости движения, интервала между объектами и продолжительности пребывания автомобилей на стоянке, оптимальное количество мест может быть определено по формуле [5]

$$q = \frac{eN_{\text{ч}}x_{\text{ср}}f}{0,8v_p}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{ч}}$  — интенсивность движения транспорта, авт./ч;  $x_{\text{ср}}$  — средний интервал между местами кратковременного отдыха;  $f$  — продолжительность пребывания автомобиля на стоянке;  $\bar{v}_p$  — расчетная скорость движения, км/ч.

А предельно допустимое количество мест продолжительного отдыха на участке автомобильной дороги может быть определено из выражения

$$n = 138,6 - 0,0000465N^2 + 0,0108N - 27,55e^2 - 1,60\bar{v}, \quad (2)$$

где  $N$  — интенсивность движения транспорта, авт./сут.;  $e$  — доля автомобилей транспортного потока, использующая места продолжительного отдыха;  $\bar{v}$  — средняя скорость движения на маршруте, км/ч.

В целях повышения безопасности управления автомобилем система придорожного обслуживания водителей и пассажиров должна способствовать соблюдению режима труда и отдыха водителей, снижению утомляемости, а при необходимости в случае ДТП и других чрезвычайных ситуаций обеспечивать предоставление медицинской помощи. Кроме того, необходимо повысить уровень качества культурно-бытового придорожного обслуживания участников движения, с учетом современных требований, специфики работы водителя, мнений самих потребителей услуг. Современная организация системы автомобильно-дорожного сервиса должна быть направлена:

на создание сервисных комплексов, включающих СТОА, АЗС, кафе, гостиницу (мотель), с соблюдением норм, отвечающих санитарным и потребительским требованиям;

предоставление широкого спектра придорожных услуг в доступном ценовом диапазоне;

внедрение технологии DRIVE-THRU, повсеместно применяемую зарубежом (рис. 2), которая предусматривает получение продуктов питания, не выходя из автомобиля, и позволяет сэкономить время в пути;

совершенствование организации и информационного обеспечения участников движения в местах расположения предприятий и объектов дорожного сервиса;

организацию, в целях безопасности рядом с гостиницами, охраняемых стоянок с числом парковочных мест, соответствующих числу номеров в гостинице.



Рис. 2. Кафе быстрого обслуживания с использованием технологии DRIVE-THRU. США, штат Нью-Джерси

Таким образом, совершенствование системы благоустройства автомобильных дорог, включая вопросы повышения уровня организации системы придорожного обслуживания, позволит повысить уровень безопасности движения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бряков П.* Плохие дороги и невнимательные водители — главные причины ДТП в России. 2013. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://34auto.ru/text/newsline\\_auto/614669.html](http://34auto.ru/text/newsline_auto/614669.html) (дата обращения: май 2013 г.).
2. *Эльвик Р., Мюсен А. Б., Ваа Т.* Справочник по безопасности дорожного движения : пер. с норв. / под ред. В. В. Сильянова. М. : МАДИ (ГТУ), 2001. 754 с.
3. Об утверждении положения об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха водителей автомобилей : приказ М-ва трансп. Рос. Федерации от 20 авг. 2004 г. № 15 // Бюллетень трудового и социального законодательства Российской Федерации. 2004. № 11. С. 30—34.
4. *Можарето И.* Зона отчуждения // За рулем. 2010. № 9. С. 206—209.
5. *Орнатский Н. П.* Благоустройство автомобильных дорог. М. : Транспорт, 1986. 136 с.
1. *Bryakov P.* Plokhie dorogi i nevnimatel'nye voditeli — glavnye prichiny DTP v Rossii. 2013. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: [http://34auto.ru/text/newsline\\_auto/614669.html](http://34auto.ru/text/newsline_auto/614669.html) (data obrashcheniya: may 2013 g.).
2. *El'vik R., Myusen A. B., Vaa T.* Spravochnik po bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya : per. s norv. / pod red. V. V. Sil'yanova. M. : MADI (GTU), 2001. 754 s.

3. Ob utverzhdenii polozheniya ob osobennostyakh rezhima rabochego vremeni i vremeni ot-dykha voditeley avtomobiley : prikaz M-va transp. Ros. Federatsii ot 20 avg. 2004 g. № 15 // Byulleten' trudovogo i sotsial'nogo zakonodatel'stva Rossiyskoy Federatsii. 2004. № 11. S. 30—34.
4. *Mozhareto I.* Zona otchuzhdeniya // *Za rulem.* 2010. № 9. S. 206—209.
5. *Ornatskiy N. P.* Blagoustroystvo avtomobil'nykh dorog. M. : Transport, 1986. 136 s.

© Серова Е. Ю., Сапожкова Н. В., Мельников В. В., 2013

*Поступила в редакцию  
в мае 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Серова Е. Ю., Сапожкова Н. В., Мельников В. В.* Влияние состояния придорожной инфраструктуры на безопасность управления автомобилем // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 166—171.

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

УДК 628.511.1:666.965

**В. Н. Азаров, О. С. Власова, Н. Ю. Клименти**

### **АНАЛИЗ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА РАБОЧИХ ЗОН ЦЕХОВ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА**

Получено аналитическое выражение, учитывающее зависимость между концентрацией частиц в области рабочей зоны от скорости оседания частиц, времени осаждения, диаметра и коэффициента формы.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** пыль, производство силикатного кирпича, оседание частиц, скорость оседания, коэффициент формы.

The authors received the analytical aspect that takes into account the dependence of the particle concentration in working zone on speed of particle deposition, deposition time, diameter and form coefficient.

**K e y w o r d s:** dust, production of lime brick, particle deposition, deposition speed, form coefficient.

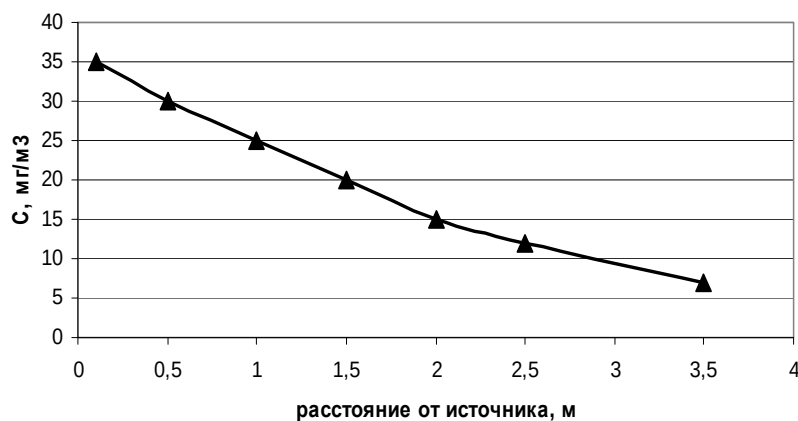
Технологический процесс производства силикатного кирпича сложен и состоит из следующих основных этапов: получение извести в шахтных печах, перегрузки известняка в бункер, транспортировки на грохот для сортировки и загрузки в бункера, перегрузки и транспортировки кварцевого песка, смешивания компонентов, увлажнения, обработки паром и прессовки [1].

Повышенное выделение пыли наблюдается практически на всех технологических переходах и превышает предельно допустимую концентрацию в несколько раз [2].

Производственная пыль является наиболее распространенным вредным фактором производственной среды. При этом следует отметить, что пыль, выделяющаяся при производстве силикатного кирпича, отличается сложным многокомпонентным составом и своими физико-химическими свойствами, что усугубляет опасное воздействие на организм человека.

Для оценки запыленности воздуха рабочей зоны применен метод проф. В. Н. Азарова и Е. И. Богуславского [2], в соответствии с которым определяются концентрация пыли в воздухе рабочей зоны и плотность пылеоседания. Концентрация пыли была определена по стандартной методике [3], плотность пылеоседания по методике [4].

На рис. 1 показана зависимость концентрации пыли извести в воздухе рабочей зоны на различных расстояниях от источника пылевыведения (бункера молотой извести).

Рис. 1. Изменение осредненной по смене величины концентрации пыли извести, мг/м<sup>3</sup>

Изменение концентрации пыли извести на удалении  $X$  от технологического оборудования описывается выражением

$$c = 38,68e^{-0,47x}. \quad (1)$$

На рис. 2 показана зависимость плотности пылеоседания от расстояния от источника пылевыделений (бункера молотой извести).

Рис. 2. Изменение плотности пылеоседания  $G_0$  на удалении  $X$  от технологического оборудования

Изменение плотности пылеоседания  $G_0$  на удалении  $X$  от технологического оборудования описывается выражением

$$G = 171e^{-0,41x}. \quad (2)$$

Концентрация частиц в воздухе рабочей зоны по высоте цеха может быть описана следующим выражением [5]:

$$C = C_0 e^{-V_s \cdot t/h}, \quad (3)$$

где  $C_0$  — начальная концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup>;  $V_s$  — скорость оседания шарообразных частиц;  $t$  — время оседания частиц, с;  $h$  — высота помещения, м.

Для определения стационарной скорости оседания  $V_s$ , м/с, шарообразных частиц, как правило, используется известная формула Стокса [6]:

$$V_s = \frac{g \rho_{\text{ч}} (d_{95})^2}{18\nu}, \quad (4)$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести;  $\rho_{\text{ч}}$  — плотность частиц;  $d_{95}$  — диаметр частиц, составляющих 95 % от массы всей смеси и имеющих меньший диаметр;  $\nu$  — динамическая вязкость среды, Па·с.

Формула (4) не применима для определения скорости оседания нешарообразных частиц, так как их форма имеет огромное влияние на величину силы сопротивления, а значит и на скорость оседания частицы.

Кроме того, применение формулы (2) корректно только в условиях стоковского сопротивления, т. е. при условии

$$\text{Re}_{\text{ч}} = \frac{g \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot \rho_{\text{ч}} (d_{95})^3}{18\nu^2} < 0,1, \quad (5)$$

где  $\rho_{\text{ср}}$  — плотность среды, в которой происходит осаждение.

Задачу определения скорости оседания пыли можно свести к определению ее скорости витания [7].

Основное условие, необходимое для нахождения частицы во взвешенном состоянии, а следовательно, для определения скорости витания, является равенство силы тяжести и аэродинамической силы [7]:

$$mg = \xi \cdot f \cdot \rho_{\text{с}} \frac{|U| \cdot U}{2}, \quad (6)$$

где  $m$  — масса частицы, кг;  $\xi$  — коэффициент сопротивления частицы;  $f$  — площадь миделевого сечения, м<sup>2</sup>;  $\rho_{\text{с}}$  — плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  $U$  — скорость оседания частицы, м/с.

Площадь миделевого сечения падающей частицы определяли через произведение площади миделевого сечения шарообразной частицы, эквивалентного диаметра (диаметра шара с объемом, равным объему рассматриваемой частички), на коэффициент формы  $K_{\text{ф}}$  [6].

$$K_{\text{ф}} = \frac{(d_s)^2}{(d_v)^2}, \quad (7)$$

где  $d_s$  — стоковский диаметр (т. е. диаметр шара с той же скоростью оседания), мм;  $d_v$  — эквивалентный диаметр (т. е. диаметр шара с объемом, равным объему частицы), мм.

Таким образом из выражения (4) находим

$$U^2 = \frac{4d \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot g}{3\xi \cdot \rho_{\text{с}} \cdot K_{\text{ф}}}, \quad (8)$$

где  $\rho_{\text{ч}}$  — плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент сопротивления частицы  $\xi$  можно определить по формуле Г. Л. Барбуха и А. А. Шрайбера [8]:

$$\xi = A \operatorname{Re}^n, \quad (9)$$

где  $A, n$  — коэффициенты, для случая  $\operatorname{Re} < 1$  —  $A = 25,6, n = 1$ ; для случая  $1 \leq \operatorname{Re} < 2$  —  $A = 26,3, n = 0,8$ .

С учетом коэффициента Рейнольдса

$$\operatorname{Re} = \frac{U \cdot d_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{ч}}}{\nu}, \quad (10)$$

где  $\nu$  — динамическая вязкость среды, Па·с.

Формула (8) примет вид

$$U = 0,052 \frac{\rho_{\text{ч}} \cdot g \cdot d_{\text{ч}}^2}{\nu K_{\phi}}. \quad (11)$$

Введем коэффициент

$$B = 0,052 \frac{\rho_{\text{ч}} g}{\nu}. \quad (12)$$

Тогда (11) можно переписать в виде

$$U = \frac{B d_{\text{ч}}^2}{K_{\phi}}. \quad (13)$$

Известна [8] следующая зависимость времени оседания от диаметра:

$$t = K d_{\text{ч}}^{-P}, \quad (14)$$

где  $K$  и  $P$  — коэффициенты, полученные экспериментальным путем.

Основываясь на выражениях (3), (13) и (14), изменение концентрации частиц в воздухе рабочей зоны цеха по высоте может быть описана следующим выражением:

$$C = C_0 e^{-\frac{B \cdot d_{\text{ч}}^2 \cdot K \cdot d_{\text{ч}}^{-P}}{K_{\phi} h}}. \quad (15)$$

Обозначив произведение коэффициентов  $B \cdot K$  коэффициентом  $M$  и проведя некоторые преобразования, получим

$$C = C_0 e^{-\frac{M d_{\text{ч}}^{2-P}}{K_{\phi} h}}. \quad (16)$$

На рис. 3 показана зависимость концентрации пыли от высоты помещения в воздухе рабочей зоны с источником пылевыведения (бункера молотой извести).

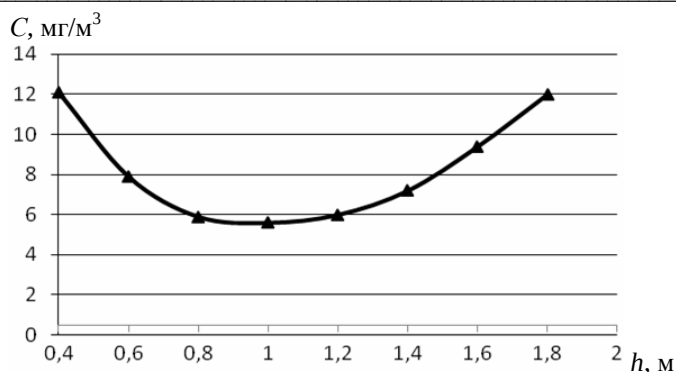


Рис. 3. Изменение осредненной величины концентрации пыли по высоте цеха, мг/м³

Изменение концентрации пыли по высоте цеха описывается выражением

$$Y = 13,19x^2 - 28,37x + 20,73. \quad (17)$$

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зейфман М. И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов. М. : Стройиздат, 1990. 184 с.
  2. Азаров В. Н. О концентрации и дисперсном составе пыли в воздухе рабочих и обслуживаемых зон предприятий стройиндустрии // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : материалы II Междунар. науч. конф., 15—19 сент. 2003 г., Волгоград. Волгоград : ВолгГАСУ, 2003. С. 27—31.
  3. Методика определения концентрации пыли в промышленных выбросах (Эмиссия) / НИИОГАЗ. М., 1970.
  4. Азаров В. Н. Методика определения интенсивности пылевыведений от технологического оборудования. Волгоград, 2002. 8 с. Деп. в ВИНТИ 15.07.2002, № 1332.
  5. Балтеренас П. С. Обеспыливание воздуха на предприятиях строительных материалов. М. : Стройиздат, 1990.
  6. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. М. : АН СССР, 1955.
  7. Азаров В. Н., Голованчиков А. Б., Кузнецова Н. С. О расчете скоростей витания некоторых пылящих материалов в строительстве // Научно-практическая конференция «Проблемы охраны производственной и окружающей среды». Волгоград, 2001. С. 119—124.
  8. Совершенствование методов расчета рассеивания пылевых выбросов на предприятиях стройиндустрии / В. Н. Азаров, Н. В. Мензелинцев, И. В. Кабаева, А. Г. Шестаков // Проблемы региональной экологии. М. : Маджента, 2006. Вып. 6. С. 45—50
1. Zeyfman M. I. Izgotovlenie silikatnogo kirpicha i silikatnykh yacheistyykh materialov. M. : Stroyizdat, 1990. 184 s.
  2. Azarov V. N. O kontsentratsii i dispersnom sostave pyli v vozdukh rabochikh i obsluzhivaemykh zon predpriyatiy stroyindustrii // Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhayushchey sredy : materialy II Mezhdunar. nauch. konf., 15—19 sent. 2003 g., Volgograd. Volgograd : VolgGASU, 2003. S. 27—31.
  3. Metodika opredeleniya kontsentratsii pyli v promyshlennykh vybrosakh (Emissiya) / NIIOGAZ. M., 1970.
  4. Azarov V. N. Metodika opredeleniya intensivnosti pylevydeleniy ot tekhnologicheskogo oborudovaniya. Volgograd, 2002. 8 s. Dep. v VINITI 15.07.2002, № 1332.
  5. Balterenas P. S. Obespylivanie vozdukha na predpriyatiyakh stroitel'nykh materialov. M. : Stroyizdat, 1990.
  6. Fuks N. A. Mekhanika aerozoley. M. : AN SSSR, 1955.
  7. Azarov V. N., Golovanchikov A. B., Kuznetsova N. S. O raschete skorostey vitaniya nekotorykh pylyashchikh materialov v stroitel'stve // Nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Problemy okhrany proizvodstvennoy i okruzhayushchey sredy». Volgograd, 2001. S. 119—124.



8. Sovershenstvovanie metodov rascheta rasseivaniya pylevykh vybrosov na predpriyatiyakh stroyindustrii / V. N. Azarov, N. V. Menzelintseva, I. V. Kabaeva, A. G. Shestakov // Problemy regional'noy ekologii. M. : Madzhenta, 2006. Vyp. 6. S. 45—50

© Азаров В. Н., Власова О. С., Клименти Н. Ю., 2013

*Поступила в редакцию  
в январе 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Азаров В. Н., Власова О. С., Клименти Н. Ю. Анализ запыленности воздуха рабочих зон цехов завода по производству силикатного кирпича // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 172—177.*

УДК 614.894.3

*Н. В. Мензелинцева, Г. В. Воронкова, К. Г. Марышев, Е. О. Фомина, И. В. Стефаненко*

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРПУСА ПОЛУМАСКИ РЕСПИРАТОРА ТИПА «СНЕЖОК ГП-В»**

Разработана математическая модель корпуса полумаски респиратора типа «Снежок ГП-В». Методом конечных элементов проведен расчет напряжений, возникающих в корпусе.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** респиратор, корпус полумаски, метод конечных элементов.

The mathematical model of a case of respirator half-mask of “Snezhok GP-V” type is developed. Calculation of resistance that occurs in a case is carried out by the finite element method.

**К е у w o r d s:** respirator, half-mask case, finite element method.

В условиях превышения ПДК токсичных веществ в воздухе рабочей зоны, когда инженерно-технические и санитарно-гигиенические мероприятия не позволяют достичь нормативных требований, обязательным для профилактики профзаболеваний является применение средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД).

Во многих случаях промышленные противогазы и респираторы воспринимаются работниками как дополнительная нагрузка и помеха, создающая ощущение дискомфорта. Это объясняется тем, что пользователь оценивает респираторы не только по защитной эффективности, но также по эргономическим и физиологическим показателям (сопротивление дыханию, масса, ограничение поля зрения, отсутствие раздражений кожи, наминов, болевых ощущений).

Установлена взаимосвязь между защитной эффективностью и давлением, которое оказывает респиратор типа «Снежок ГП-В» на лицо человека [1]. Для предотвращения проникания вредных веществ в подмасочное пространство через неплотности по полосе обтюрации необходимо, чтобы сила, действующая со стороны оголовья на корпус полумаски респиратора, составляла 4...10 Н. Нижняя граница интервала определяет давление, при котором не происходит проникания аэродисперсных частиц по полосе обтюрации, а верхняя величина определяет предельное давление, выше которого возникают ощущения дискомфорта и намины. Однако уже при силе более 12 Н равномерность прилегания респиратора по полосе обтюрации нарушается, максимальное давление фиксируется в области переносицы и подбородка [1].

Для разработки конструкции респиратора, обеспечивающего не только равномерное распределение, но и минимизацию локальных давлений по полосе обтюрации, необходимо знать характер распределения локальных нагрузок по корпусу и механизм их передачи на обтюратор.

В настоящее время одним из самых распространенных методов для исследования напряженно-деформированного состояния конструкций является метод конечных элементов (МКЭ) [2].

Корпус респиратора можно представить как пространственную раму, конечными элементами которой являются стержни. Узловые соединения между элементами приняты жесткими, по контуру — шарнирными. В нашем случае используется МКЭ в форме метода перемещений, который легко поддается алгоритмизации и достаточно прост в понимании и расчете.

После того как для элементов составлены локальные матрицы жесткости, составляются зависимости, связывающие узловые силы с узловыми перемещениями. Для элемента  $i-j$  зависимость между узловыми величинами можно записать в виде

$$\begin{Bmatrix} f_i \\ \dots \\ f_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{ii} & \dots & k_{ij} \\ \dots & \dots & \dots \\ k_{ji} & \dots & k_{jj} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_i \\ \dots \\ \delta_j \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

где  $f_i, f_j, \delta_i, \delta_j$  — векторы концевых сил и перемещений стержня  $i-j$  соответственно, состоящие из шести компонентов каждый;  $k_{ii}, k_{ij}, k_{ji}, k_{jj}$  — блоки матрицы жесткости  $i-j$  размером  $6 \times 6$ .

$$\{f_j\} = [k_{ii}] \cdot \{\delta_i\} + [k_{ij}] \cdot \{\delta_j\}. \quad (2)$$

Вырежем  $i$ -й узел из конструкции (рис. 1).

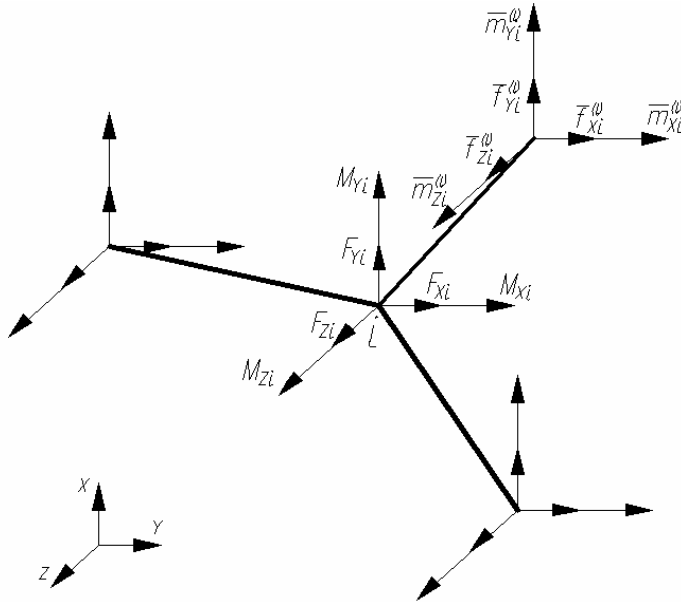


Рис. 1. Расчетная схема  $i$ -го узла

Уравнения равновесия  $i$ -го узла

$$\begin{cases} \sum x = \sum_{l=1}^L \bar{f}_{xi}^{(l)} + F_{xi} = 0; \sum y = \sum_{l=1}^L \bar{f}_{yi}^{(l)} + F_{yi} = 0; \sum z = \sum_{l=1}^L \bar{f}_{zi}^{(l)} + F_{zi} = 0; \\ \sum M_x = \sum_{l=1}^L \bar{m}_{xi}^{(l)} + M_{xi} = 0; \sum M_y = \sum_{l=1}^L \bar{m}_{yi}^{(l)} + M_{yi} = 0; \\ \sum M_z = \sum_{l=1}^L \bar{m}_{zi}^{(l)} + M_{zi} = 0. \end{cases} \quad (3)$$



Конечный элемент универсальный стержень изображен на рис. 2. Стержень имеет местную правую декартову систему координат  $X_1, Y_1, Z_1$ , относительно которой определяются усилия и задается местная нагрузка. Ось  $X_1$  направлена по продольной оси стержня от начала к концу. Оси  $Y_1$  и  $Z_1$  являются главными центральными осями инерции. Ось  $Z_1$  всегда направлена в верхнее полупространство. Полагается, что у произвольно ориентированных стержней ось  $Y_1$  параллельна горизонтальной плоскости  $XOY$  глобальной системы координат, а у вертикальных стержней — параллельна оси  $Y$  глобальной системы координат и направлена в противоположную сторону.

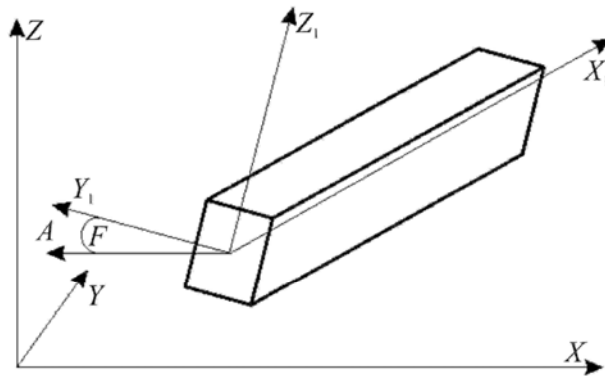


Рис. 2. Конечный элемент универсальный стержень

Существуют различные возможности прикрепления стержня к узлам схемы: при помощи абсолютно жестких вставок вдоль местных осей; при помощи снятия связи по любому направлению (снятие линейной связи обеспечивает проскальзывание; снятие угловой связи — свободный поворот, т. е. цилиндрический шарнир).

Матрица жесткости строится для гибкой части стержня. Привязки нагрузок задаются также относительно упругой части стержня.

При наложении опорных связей выбираются направления, по которым требуется запретить перемещения узлов, —  $X, Y, Z, UX, UY, UZ$ .

Для решения задачи необходимы следующие параметры жесткости элемента: модуль упругости ( $E$ ), геометрические размеры поперечного сечения элемента, удельный вес материала.

Нагрузки на респиратор принимались в соответствии со следующими правилами: положительное значение силы соответствует действию против оси; положительное значение момента соответствует вращению по часовой стрелке, если смотреть с конца оси; положительное направление заданного смещения соответствует действию по направлению оси; положительный заданный поворот соответствует вращению против часовой стрелки, если смотреть с конца оси.

Приняты следующие параметры расчета: тип оптимизации профиля матрицы жесткости — алгоритм фактор-деревьев; точность разложения матрицы — семь знаков после запятой.

На рис. 3 представлена пространственная 3D-модель расчетной схемы, показан вид сверху. На рис. 4 показана нумерация узлов и элементов соответственно.

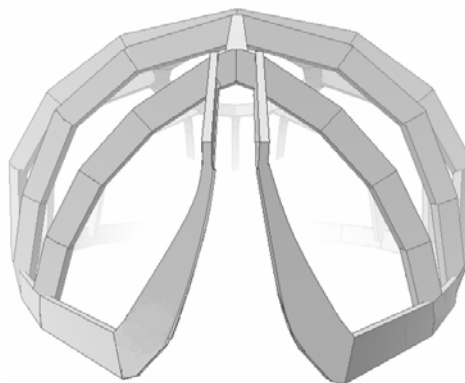


Рис. 3. 3D-модель расчетной схемы

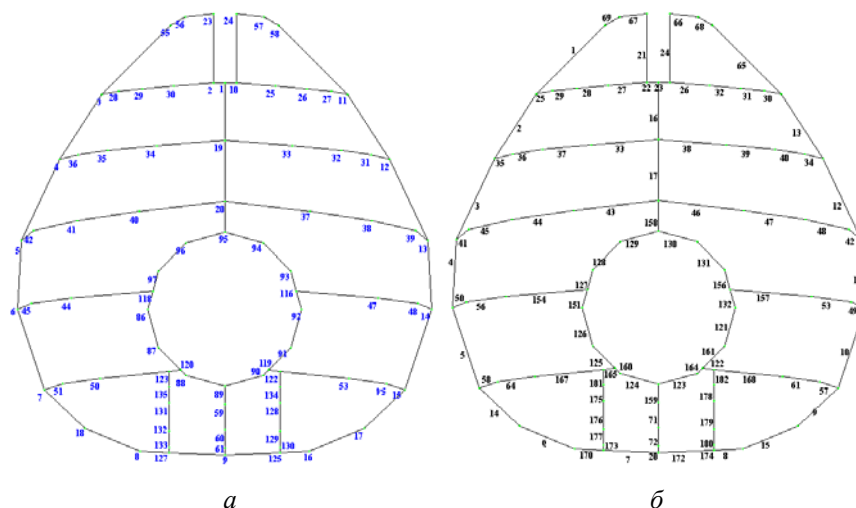


Рис. 4. Нумерация узлов (а) и элементов схемы (б)

Результаты расчета для некоторых элементов представлены в табл., нагрузка принималась в общем виде  $F$ , следовательно, результаты расчета тоже приведены в долях силы  $F$ .

#### Результаты расчета

| N/M | Элементы |        |        |        |        |        |         |         |
|-----|----------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
|     | 1-1      | 1-2    | 2-1    | 2-2    | 3-1    | 3-2    | 4-1     | 4.2     |
|     | 58       | 58     | 11     | 11     | 12     | 12     | 13      | 13      |
|     | 11       | 11     | 12     | 12     | 13     | 13     | 14      | 14      |
| N   | -0,887   | -0,887 | -0,348 | -0,348 | 0      | 0      | 0       | 0       |
| M   | -0,0002  | -0,002 | 0,0016 | 0,0016 | 0,0002 | 0,0002 | 0,00039 | 0,00039 |

Примечание: единицы измерения усилий  $F$ ; единицы измерения моментов  $F_M^*$

На рис. 5 показана деформация респиратора под нагрузкой. Тонкими линиями показана исходная схема, толстыми — схема после нагружения. На боковой проекции хорошо виден отрыв респиратора от поверхности примыкания.

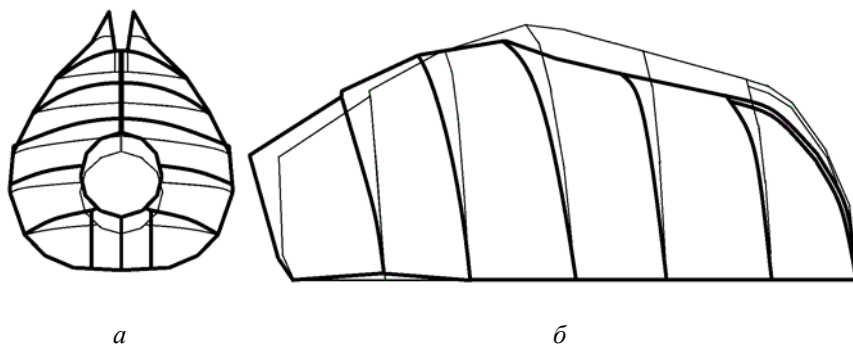


Рис. 5. Схема респиратора: *а* — вид в анфас; *б* — вид в профиль

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Математическое моделирование конструкции облегченного респиратора типа «Снежок» / А. А. Эннан, Е. Е. Белинский, Л. В. Климов, В. И. Байденко // Защита окружающей среды, здоровье, безопасность в сварочном производстве. Одесса : Астропринт, 2002. С. 432—439.

2. Масленников А. М. Расчет строительных конструкций методом конечных элементов. Л. : ЛИСИ, 1977. 78 с.

1. Matematicheskoe modelirovanie konstruktсии oblegchennogo respiratora tipa «Snezhok» / A. A. Ennan, E. E. Belinskiy, L. V. Klimov, V. I. Baydenko // Zashchita okruzhayushchey sredy, zdorov'e, bezopasnost' v svarochnom proizvodstve. Odessa : Astroprint, 2002. S. 432—439.

2. Maslennikov A. M. Raschet stroitel'nykh konstruktсий metodom konechnykh elementov. L. : LISI, 1977. 78 s.

© Мензелинцева Н. В., Воронкова Г. В., Марышев К. Г.,  
Фомина Е. О., Стефаненко И. В., 2013

Поступила в редакцию  
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Математическое моделирование корпуса полумаски респиратора типа «Снежок ГП-В» / Н. В. Мензелинцева, Г. В. Воронкова, К. Г. Марышев, Е. О. Фомина, И. В. Стефаненко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 178—183.

УДК 628.К

***Н. В. Мензелинцева, Е. О. Фомина, К. Г. Марышев, И. В. Стефаненко***

### **КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ ФИЛЬТРУЮЩИХ РЕСПИРАТОРОВ**

Проведена комплексная оценка свойств трех видов респираторов, коэффициенты весо-мости определены на основе ранговой экспертной оценки.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** средства индивидуальной защиты, экспертная оценка, коэффициент весо-мости.

The complex assessment of properties of three types of respirators is carried out. Weight coefficients are defined on the basis of a ranking expert assessment.

**K e y w o r d s:** means of individual protection, expert assessment, weight coefficient.

Использование средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) является одним из основных мероприятий по охране труда, направленных на предупреждение профзаболеваний. К ним относят респираторы, противогазы, изолирующие шланговые и автономные дыхательные аппараты.

В настоящее время разработано и выпускается в промышленных масштабах значительное количество респираторов различных конструкций. Респираторы могут представлять собой полумаски, лицевая часть которых одновременно является фильтрующим элементом (например, «Лепесток», «Кама», У-2К, «Снежок», РП-КМ), или конструкции в виде полумаски с клапанами для дыхания и фильтрующими элементами со сменными фильтрами и сорбентами (например, «Астра-2», Ф-62Ш, РПГ-67, РУ-60м).

К респираторам предъявляют целый комплекс требований как по надежности защиты, так и по комфортности применения. Практический опыт показывает, что рабочие зачастую не используют средства индивидуальной защиты, поскольку они могут затруднять дыхание, уменьшать зону обзора и т. п.

Для выявления наиболее лучшей модели респиратора целесообразно провести комплексную оценку свойств. Преимущество комплексной оценки заключается в получении одной числовой итоговой оценки вместо нескольких по единичным показателям.

Для сравнения были приняты три модели респираторов: респиратор противогазовый РПГ-67 [1], респиратор противогазовый РУ-60м [2], респиратор типа «Снежок ГП-В» [3].

Противогазовый респиратор РПГ-67 предназначен для защиты органов дыхания от вредных паров и газов, присутствующих в воздухе рабочих зон производственных помещений в концентрациях, не превышающих ПДК более чем в 15 раз. Он представляет собой резиновую полумаску с оголовьем, клапаном выдоха, двумя пластмассовыми манжетами с клапанами вдоха, двумя сменными поглощающими патронами и трикотажным обтюратором [1].

Противогазовый респиратор типа РУ-60м предназначен для защиты органов дыхания от вредных паров и газов, присутствующих в воздухе рабочей зоны производственных помещений в концентрациях, не превышающих ПДК более чем в 15 раз. Он представляет собой резиновую полумаску с оголовьем, клапаном выдоха, двумя пластмассовыми манжетами с клапанами вдоха, двумя сменными поглощающими патронами и трикотажным обтюратором [2].



Респиратор типа «Снежок ГП-В» состоит из каркаса, узла клапана выдоха, сменных противопылевого и противогазовых фильтрующих элементов, головного гарнитура. Формирование обтюлятора и плотное прилегание респиратора к лицу по полосе обтюрации обеспечиваются путем стягивания противопылевого фильтрующего элемента с помощью эластичного шнура [3].

С целью выявления весомости основных требований, которые предъявляют к средствам индивидуальной защиты работники, разработчики СИЗОД и работодатели, была проведена ранговая экспертная оценка. В качестве экспертов были приглашены три оператора, обслуживающие технологическое оборудование на предприятиях строительной отрасли, два разработчика и два работодателя.

Анкета содержала две графы. В первой графе были перечислены показатели свойств:  $X_1$  — сопротивление дыханию на вдохе, Па;  $X_2$  — время защитного действия по кислотным газам, мин;  $X_3$  — ограничение площади поля зрения, %;  $X_4$  — масса респиратора, г;  $X_5$  — эстетические показатели;  $X_6$  — цена, руб.;  $X_7$  — простота конструкции;  $X_8$  — число смен до замены фильтрующего элемента.

Во второй графе против каждого показателя эксперты ставили ранговую оценку его весомости. Наиболее значимый, по мнению эксперта, показатель оценивался рангом  $R = 1$ , а наименьший  $R = 8$ . Если эксперт считал несколько показателей равнозначными, то оценивал их одинаковыми рангами так, чтобы сумма рангов оставалась постоянной для каждого эксперта. Если в анкете это условие не соблюдалось, то в нее вносились соответствующие изменения [4].

Полученные по всем анкетам ранговые оценки приведены в табл. 1. Расчет проведен по методике [4].

Т а б л и ц а 1

Экспертная ранговая оценка показателей свойств

| № | Величина                       | Ранговая оценка показателя качества |       |       |       |       |       |       |       | Сумма |
|---|--------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   |                                | $X_1$                               | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $X_7$ | $X_8$ |       |
| 1 | Эксперт 1                      | 1                                   | 2,5   | 5     | 5     | 7     | 2,5   | 8     | 5     | 36    |
| 2 | Эксперт 2                      | 1                                   | 2     | 7     | 6     | 3     | 5     | 4     | 8     | 36    |
| 3 | Эксперт 3                      | 6,5                                 | 1     | 6,5   | 4,5   | 2     | 4,5   | 3     | 8     | 36    |
| 4 | Эксперт 4                      | 3                                   | 1,5   | 5     | 6     | 4     | 7     | 1,5   | 5     | 36    |
| 5 | Эксперт 5                      | 1                                   | 2     | 6     | 4     | 3     | 7     | 8     | 5     | 36    |
| 6 | Эксперт 6                      | 2                                   | 1     | 6     | 5     | 4     | 8     | 3     | 7     | 36    |
| 7 | Эксперт 7                      | 2                                   | 1     | 7     | 4     | 8     | 6     | 5     | 3     | 36    |
| 8 | Коэффициент весомости $\gamma$ | 0,17                                | 0,31  | 0,07  | 0,09  | 0,011 | 0,07  | 0,011 | 0,07  | 1     |
| 9 | Коэффициент вариации, %        | 77,5                                | 35,7  | 12,8  | 12,8  | 46,3  | 30,3  | 50,4  | 29,1  | —     |

Коэффициент согласия (конкордации) экспертов определяли по методике [4],  $w = 0,495$ . Значимость коэффициента определили по критерию  $\chi$ , поскольку расчетное значение  $\chi^2 = 24,3$ , что больше табличного значения критерия  $\chi_{0,05}^2 = 14,1$ . Имеем значимую, но невысокую согласованность экспертов.

Такая согласованность была заложена в самом эксперименте, поскольку привлекались эксперты из различных групп, для которых уровень приоритета показателей различен, так для работающего важна степень защиты и степень комфорта, а для работодателя немаловажна цена респиратора.

Значения коэффициентов весомости, рассчитанные по методике [4], приведены в табл. 1. Анализ данных табл. 1 показывает, что наиболее значимы показатели  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_6, X_8$ , которые приняты для дальнейшего анализа.

Проведено испытание свойств респираторов в сопоставимых условиях при улавливании кислых газов [5]. Для проведения комплексной оценки необходимо перейти к относительным показателям свойств. С этой целью найдены отношения экспериментальных величин к нормативным [1—3]. Полученные значения приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Комплексная оценка свойств респираторов*

| Модель | Показатели                       |       |       |       |       |       |               |       |       |       |       |       |             |          |
|--------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|----------|
|        | единичные                        |       |       |       |       |       | относительные |       |       |       |       |       | комплексные |          |
|        | $X_1$                            | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $X_1$         | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $K_i$       | $K_{Gi}$ |
| 1      | 30                               | 162   | 18    | 45    | 280   | 14    | 1             | 0,92  | 0,9   | 0,9   | 1     | 0,6   | 0,93        | 0,92     |
| 2      | 85,5                             | 72    | 80    | 370   | 150   | 25    | 0,9           | 0,8   | 1     | 1     | 1     | 0,9   | 0,88        | 0,89     |
| 3      | 78,8                             | 64    | 80    | 370   | 170   | 28    | 0,85          | 0,88  | 1     | 1     | 1     | 1     | 0,91        | 0,92     |
|        | Коэффициент весомости $\gamma_i$ |       |       |       |       |       | 0,17          | 0,31  | 0,07  | 0,09  | 0,07  | 0,07  |             |          |

Примечание: модель 1 — «Снежок ГП-В», модель 2 — РУ-60м, модель 3 — РПГ-67.

В качестве комплексной оценки использовали среднюю арифметическую комплексную оценку и комбинированную комплексную оценку, которые рассчитывались по формулам (1), (2) соответственно

$$K_i = \frac{\sum_{i=1}^m z_i \gamma_i}{\sum_{i=1}^m \gamma_i}; \quad (1)$$

$$K_{Gi} = \sqrt{K_i z_{ix}}, \quad (2)$$

где  $z_i$  — показатель свойств;  $\gamma_i$  — коэффициент весомости;  $z_x$  — наихудший из показателей свойств.

Полученные показатели приведены в табл. 2. Анализируя их, приходим к выводу, что по свойствам лучшей моделью является респиратор типа «Снежок ГП-В». Респиратор типа РПГ-67 совпадает с респиратором типа «Снежок ГП-В» по комбинированной комплексной оценке, но уступает по среднеарифметической комплексной оценке.

Следует отметить, что результаты комплексной оценки следует рассматривать как дополнение к анализу показателей отдельных свойств, только в этом случае будет сделан правильный выбор СИЗОД.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 12.4.004—74. Респираторы фильтрующие противогазовые РПГ-67. Технические условия. М., 1974.
- ГОСТ 17269—71. Респираторы фильтрующие противогазовые РУ-60 м. Технические условия. М., 1971.

3. ТУ У 33.1-01530125-025—2009. Респиратор «Снежок ГП» (газопылезащитный). М., 2009.
4. Хенсен Б. Л. Контроль качества. Теория и применение. М., 1968.
5. Методы оценки эффективности и качества средств индивидуальной защиты работающих на производстве / С. М. Городинский, А. П. Купчина, С. Л. Каминский и др. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. 224 с.
1. GOST 12.4.004—74. Respiratory fil'truyushchie protivogazovye RPG-67. Tekhnicheskie usloviya. М., 1974.
2. GOST 17269—71. Respiratory fil'truyushchie protivogazovye RU-60 m. Tekhnicheskie usloviya. М., 1971.
3. ТУ У 33.1-01530125-025—2009. Респиратор «Снежок ГП» (газопылезащитный). М., 2009.
4. Khensen B. L. Kontrol' kachestva. Teoriya i primeneniye. М., 1968.
5. Metody otsenki effektivnosti i kachestva sredstv individual'noy zashchity rabotayushchikh na proizvodstve / S. M. Gorodinskiy, A. P. Kupchina, S. L. Kaminskiy i dr. М. : Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1984. 224 s.

© Мензелинцева Н. В., Фомина Е. О., Марышев К. Г., Стефаненко И. В., 2013

*Поступила в редакцию  
в январе 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Комплексная оценка свойств фильтрующих респираторов / Н. В. Мензелинцева, Е. О. Фомина, К. Г. Марышев, И. В. Стефаненко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 184—187.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА**

УДК 621.928.93

**Д. П. Боровков, И. В. Бурба, Д. В. Азаров**

### **ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРА ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАКРУТКИ ПЕРВИЧНОГО ПОТОКА В ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯХ НА ВСТРЕЧНЫХ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ**

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований эффективности улавливания пылеуловителя на встречных закрученных потоках. Определены оптимальные значения параметра интенсивности закрутки потока верхнего ввода пылеуловителя серии ВИП.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** пылеуловитель, встречно закрученные потоки, эффективность пылеулавливания, аэродинамическое сопротивление.

The results of theoretical and experimental research of efficiency of dust collector separation on counter swirl flows are presented. Optimum values of intensity parameter of a flow swirl of the upper input of VIP series dust collector are defined.

**K e y w o r d s:** dust collector, counter swirl flow, dust separation efficiency, aerodynamic resistance.

В последние годы на предприятиях строительной индустрии в качестве пылеулавливающих средств сухой очистки получили широкое распространение вихревые пылеуловители на встречных закрученных потоках (ВЗП) [1]. Внедрение вихревых пылеуловителей обусловлено рядом преимуществ по сравнению с циклонными: более высокая степень улавливания мелкодисперсной пыли; меньшая чувствительность фракционной эффективности к колебаниям расхода газа и концентрации пыли в нем; меньшая степень абразивного износа аппарата; большая удельная производительность; возможность более эффективной очистки горячих газов и регулирования процесса пылеулавливания изменением соотношений расходов газа через потоки, а в некоторых случаях менее высокие затраты.

Вышеперечисленное делает задачу изучения и оптимизации пылеуловителей на встречных закрученных потоках актуальной. Однако подавляющее большинство исследований посвящено оптимизации аэродинамического режима работы пылеуловителей ВЗП. В настоящий момент достаточно подробно изучено влияние на процесс пылеулавливания таких важных характеристики, как доля расхода подаваемого на нижний ввод пылеуловителя, расход газа, подаваемого на очистку, концентрация твердой фазы в пылегазовом потоке, соотношение концентраций первичного и вторичного потоков и т. д. [2, 3]. Результаты же исследований конструктивных характеристик аппаратов ВЗП определяются существенно меньшим объемом и в основном сводятся к разработке и исследованиям различных компоновочных схем для систем аспирации и обеспыливающей вентиляции.

В ходе анализа типовых размеров различных серий пылеуловителей ВЗП и ВИП установлено, что за основу при их проектировании брались типовые пылеуловители циклонного типа. Однако в виду существенных отличий, обусловленных наличием вторичного закрученного потока, процесс пылеулавливания может происходить в неоптимальном режиме.

Для выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность работы аппаратов ВЗП, проведены теоретические расчеты.

В качестве исходного уравнения для определения радиальной составляющей траектории частицы используется уравнение движения твердой фазы, полученное Е. П. Медниковым [4]

$$\frac{d^2 r}{dt^2} + B \frac{dr}{dt} - \omega^2 r = Bv_r, \quad (1)$$

$$\text{где } B = \frac{0,75 \cdot A \cdot v^{(2-n)} \cdot \rho_r \cdot f_d}{\delta^{(1+n)} \rho_q}.$$

Воспользовавшись методикой решения линейных неоднородных уравнений второго порядка, получим собственные временные частоты

$$p_1 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4\omega^2}}{2}; \quad p_2 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4\omega^2}}{2}.$$

Передаточная функция при этом имеет вид:

$$W(p) = \frac{1}{p^2 + Bp + \omega^2}. \quad (2)$$

А произвольная функция от временной независимой переменной равна

$$f(t) = Bv_r. \quad (3)$$

С учетом того, что в начальный момент времени начальный радиус частицы равен  $r_0$ , получим

$$\begin{aligned} r(t) = & -B \left[ \int_0^t \exp\left(\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4\omega^2}}{2} t\right) - \exp\left(\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4\omega^2}}{2} t\right) dt \right] Bv_r + \\ & + r_0 \left[ \frac{\exp\left(\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4\omega^2}}{2} t\right) - \exp\left(\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4\omega^2}}{2} t\right)}{-2\sqrt{B^2 - 4\omega^2}} - \right. \\ & \left. - \frac{\exp\left(\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4\omega^2}}{2} t\right) - \exp\left(\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4\omega^2}}{2} t\right)}{-2\sqrt{B^2 - 4\omega^2}} \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Вводя новые безразмерные величины в (1) имеем:

$$\frac{d^2 r^*}{d(t^*)^2} + b \frac{dr^*}{dt^*} - (\omega^*)^2 r^* = bv_r^*, \quad (5)$$

$$\text{где } r^* = \frac{r}{R_H}; \quad b = R_{BH} \sqrt{\frac{18\rho_r \cdot v \cdot \pi \cdot R_H}{L \cdot \rho \cdot d^2}}; \quad \omega^* = \omega R_{BH} \sqrt{\frac{\pi \cdot \rho \cdot d^2 \cdot R_H}{L \cdot 18 \cdot \rho_r \cdot v}}; \quad B = \frac{18v \cdot \rho_r}{\delta^2 \rho_q};$$

$$v_r^* = \frac{v_r \cdot R_{BH} \sqrt{\pi \cdot \rho \cdot d^2}}{\sqrt{L \cdot R_H \cdot 18 \rho_r \cdot v}}; \quad t^* = \frac{t}{R_{BH}} \sqrt{\frac{L \cdot 18 \rho_r \cdot v}{R_H \cdot \pi \cdot \rho \cdot d^2}}.$$

Решением (5) является сумма частного и общего решений:

$$r^* = C_1 e^{\lambda_1 t^*} + C_2 e^{\lambda_2 t^*} - \frac{bv_r^*}{(\omega^*)^2}, \quad (6)$$

$$\text{где } C_1 = \frac{\frac{bv_r^*}{(\omega^*)^2} + r^*(0)}{\left(1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)}; \quad C_2 = \frac{\frac{bv_r^*}{(\omega^*)^2} + r^*(0)}{\left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)}; \quad \lambda_{1,2} = \frac{-b}{2} \pm \sqrt{\frac{b^2}{4} + (\omega^*)^2} \quad \text{— корни}$$

характеристического уравнения.

Численные решения полученного уравнения показывают, что основную роль в процессе движения частицы играет центробежная сила, пропорциональная квадрату окружной скорости. Таким образом, параметр интенсивности закрутки потока несомненно является важнейшим фактором с точки зрения эффективности работы пылеуловителя. Кроме того, важнейшую роль играет время нахождения частицы в сепарационной камере, которое применительно к аппарату ВЗП ограничено не столько ее высотой, сколько расстоянием между нижним вводом и торцом выпускного патрубка.

Для проверки выводов, полученных теоретическим путем, проведены экспериментальные исследования, целью которых являлась оптимизация интенсивности закрутки потока, создаваемая верхним тангенциальным вводом пылеуловителя ВЗП и относительного заглубления аксиального выходного патрубка в сепарационную камеру. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

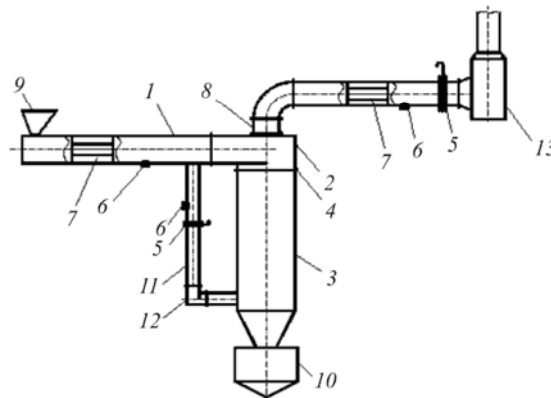


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — входной воздуховод; 2 — сменный верхний тангенциальный ввод; 3 — пылеуловитель ВЗП; 4 — фланцевое соединение; 5 — регулировочный шибер; 6 — замерный штуцер; 7 — лопастной успокоитель потока; 8 — патрубок очищенного газа; 9 — узел приготовления пылевоздушной смеси; 10 — бункер уловленной пыли; 11 — вторичный ввод потока; 12 — тангенциальный закручиватель вторичного ввода; 13 — вентилятор

При проведении экспериментальных исследований в качестве параметров оптимизации приняты эффективность пылеулавливания и аэродинамическое сопротивление. При проведении исследований методами планирования эксперимента в качестве определяющих факторов были выбраны:  $Re_{cp}$  — среднерасходное число Рейнольдса в сепарационной камере;  $\Phi_r^*$  — формпараметр закрутки, создаваемый сменным верхним тангенциальным вводом;  $h/D$  — заглубление выходного аксиального патрубка в сепарационную камеру, отнесенное к диаметру аппарата;  $L_n/L_{общ}$  — отношение расхода поступающего на нижний ввод к общему подаваемому в пылеуловитель.

Для получения функций отклика в виде уравнения второго порядка на втором этапе исследований был реализован центральный композиционный ортогональный план второго порядка. В результате аппроксимации экспериментальных данных полиномом второй степени с учетом значимости вычисленных коэффициентов, определенных при помощи критерия Стьюдента на уровне значимости  $\alpha = 0,05$ , принятом для технических экспериментов, получены уравнения регрессии. Они характеризуют зависимость эффективности улавливания и коэффициента местного сопротивления от формпараметра закрутки, заглубления выходного патрубка и отношения расхода поступающего на нижний ввод к общему подаваемому в пылеуловитель. Для режима работы пылеуловителя, характеризующегося значением  $Re_{cp} = 50\,000$ , уравнения имеют вид

$$\eta = 23,30 + 14,23\Phi_r^8 - 1,68\frac{h}{D} + 189,25\frac{L_n}{L_{общ}} - 1,01(\Phi_r^8)^2 - 0,10\left(\frac{h}{D}\right)^2 - 321,33\left(\frac{L_n}{L_{общ}}\right)^2 - 0,13\Phi_r^8\frac{h}{D}\frac{L_n}{L_{общ}}; \quad (7)$$

$$\xi = 235,13 - 64,17\Phi_r^8 + 27,23\frac{L_n}{L_{общ}} + 8,45(\Phi_r^8)^2 - 50,0\left(\frac{L_n}{L_{общ}}\right)^2 + 10\Phi_r^8\frac{h}{D}\frac{L_n}{L_{общ}}. \quad (8)$$

При работе пылеуловителя с расходами ниже и выше (соответственно  $Re_{cp} = 38\,000$  и  $Re_{cp} = 62\,000$ ) наблюдается существенное снижение эффективности улавливания, что позволяет считать значение  $Re_{cp} = 50\,000$  оптимальным для аппаратов серии ВИП, что хорошо согласуется с результатами других исследователей [2, 3, 4].

На рис. 2 приведена зависимость эффективности пылеулавливания аппарата ВИП от геометрического параметра эффективности закрутки верхнего ввода. Как следует из приведенных результатов, эффективность улавливания существенно возрастает при увеличении интенсивности закрутки потока в верхнем вводе во всем диапазоне варьирования экспериментальных факторов. На практике повышение величины  $\Phi_r^*$  до величин выше 5,5 не желательно в виду существенного повышения аэродинамического сопротивления пылеуловителя, о чем свидетельствуют данные, приведенные на рис. 3. Так, например, при увеличении интенсивности закрутки с  $\Phi_r^* = 5$  до  $\Phi_r^* = 6$

происходит увеличение коэффициента местного сопротивления пылеуловителя на величину 48...52 % в зависимости от режима работы. Совместный анализ экспериментальных данных по эффективности пылеулавливания и аэродинамическому сопротивлению позволяет считать оптимальным значения интенсивности закрутки верхнего ввода аппаратов ВИП, лежащие в пределах  $\Phi_r^* = 5,2 \dots 5,4$ .

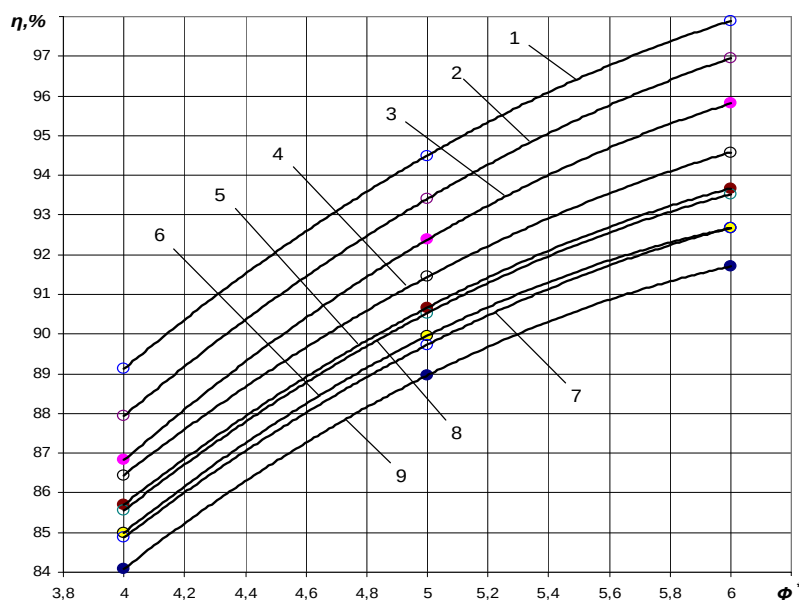


Рис. 2. Зависимость эффективности пылеулавливания аппарата ВИП от геометрического параметра эффективности закрутки верхнего ввода  $\eta$  ( $\Phi_r^*$ ) при  $Re_{cp} = 50\,000$ : 1 —  $L_H/L_{общ} = 0,3$ ,  $h/d = 1,4$ ; 2 —  $L_H/L_{общ} = 0,3$ ,  $h/d = 1,8$ ; 3 —  $L_H/L_{общ} = 0,3$ ,  $h/d = 2,2$ ; 4 —  $L_H/L_{общ} = 0,2$ ,  $h/d = 1,4$ ; 5 —  $L_H/L_{общ} = 0,2$ ,  $h/d = 1,8$ ; 6 —  $L_H/L_{общ} = 0,2$ ,  $h/d = 2,2$ ; 7 —  $L_H/L_{общ} = 0,4$ ,  $h/d = 1,4$ ; 8 —  $L_H/L_{общ} = 0,4$ ,  $h/d = 1,8$ ; 9 —  $L_H/L_{общ} = 0,4$ ,  $h/d = 2,2$

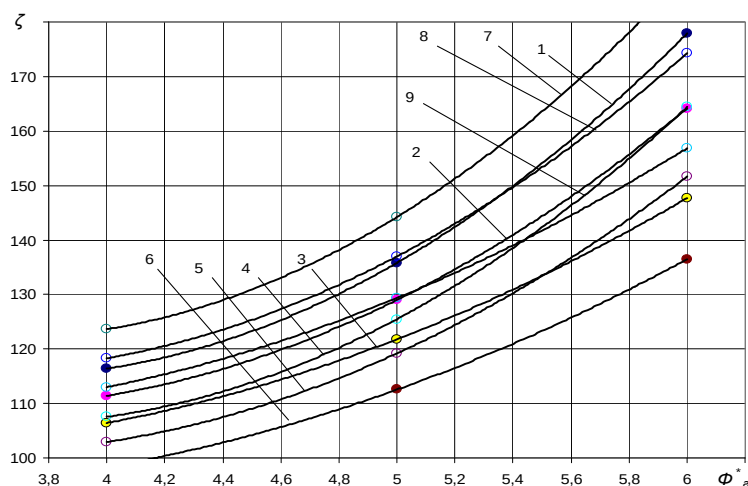


Рис. 3. Зависимость коэффициента местного сопротивления аппарата ВИП от геометрического параметра эффективности закрутки верхнего ввода  $\zeta$  ( $\Phi_r^*$ ): 1 —  $Re = 50\,000$ ,  $L_H/L_{общ} = 0,3$ ; 2 —  $Re = 50\,000$ ,  $L_H/L_{общ} = 0,2$ ; 3 —  $Re = 50\,000$ ,  $L_H/L_{общ} = 0,4$ ; 4 —  $Re = 60\,000$ ,  $L_H/L_{общ} = 0,3$ ; 5 —  $Re = 60\,000$ ,  $L_H/L_{общ} = 0,2$ ; 6 —  $Re = 60\,000$ ,  $L_H/L_{общ} = 0,4$ ; 7 —  $Re = 40\,000$ ,  $L_H/L_{общ} = 0,3$ ; 8 —  $Re = 40\,000$ ,  $L_H/L_{общ} = 0,2$ ; 9 —  $Re = 40\,000$ ,  $L_H/L_{общ} = 0,4$



#### Выводы:

1. Теоретически установлено, что наиболее существенное влияние на эффективность улавливания пылеуловителей на встречных закрученных потоках оказывает интенсивность закрутки потока, создаваемая верхним тангенциальным вводом.

2. Проведены экспериментальные исследования по оптимизации конструктивных параметров верхнего ввода пылеуловителя типа ВИП.

3. Экспериментально установлено повышение эффективности пылеулавливания аппарата ВИП при увеличении параметра закрутки потока верхнего ввода.

4. Анализ экспериментальных данных по эффективности пылеулавливания и аэродинамическому сопротивлению позволяет считать оптимальными значения интенсивности закрутки верхнего ввода аппаратов ВИП, лежащие в пределах  $\Phi_{\Gamma}^* = 5,2 \dots 5,4$ .

#### Условные обозначения:

$L$  — расход аспирационного газа, м<sup>3</sup>/час;  $w$  — тангенциальная скорость пылевой частицы, м/с;  $v$  — тангенциальная скорость газового потока, м/с;  $r$  — радиальная координата, м;  $\Phi^*$  — интегральный параметр закрутки потока;  $\Phi_{\Gamma}^*$  — интегральный параметр закрутки потока, создаваемый закручивателем;  $\xi$  — коэффициент местного сопротивления;  $\omega$  — угловая скорость движения частицы, 1/с;  $\nu$  — кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;  $n$  — показатель, зависящий от числа Рейнольдса;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ч}}$  — плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;  $\delta$  — эквивалентный диаметр частицы, м;  $v_r$  — радиальная составляющая скорости движения воздуха в окрестности частицы, м/с;  $f_d$  — динамический коэффициент формы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азаров В. Н. Пылеуловители со встречными закрученными потоками. Опыт внедрения. Волгоград, 2003.
2. Азаров В. Н., Сергина Н. М. Системы пылеулавливания с инерционными аппаратами в производстве строительных материалов // Строительные материалы. 2003. № 8. С.14—15.
3. Артюхин А. С., Баев А. В. О методиках расчета эффективности аппаратов со встречными закрученными потоками // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Естественные науки. Волгоград, 2007. Вып. 6(23). С. 121—127.
4. Медников Е. П. Вихревые пылеуловители // Промышленная и санитарная очистка газов. Сер. ХМ-14. М. : ЦИНТИхимнефтемаш, 1975. 44 с.
1. Azarov V. N. Pyleuloviteli so vstrechnymi zakruchennymi potokami. Opyt vnedreniya. Volgograd, 2003.
2. Azarov V. N., Sergina N. M. Sistemy pyleulavlivaniya s inertsionnymi apparatami v proizvodstve stroitel'nykh materialov // Stroitel'nye materialy. 2003. № 8. S.14—15.
3. Artyukhin A. S., Baev A. V. O metodikakh rascheta effektivnosti apparatov so vstrechnymi zakruchennymi potokami // Vestnik VolgGASU. Ser.: Estestvennye nauki. Volgograd, 2007. Vyp. 6(23). S. 121—127.
4. Mednikov E. P. Vikhrevye pyleuloviteli // Promyshlennaya i sanitarnaya ochistka gazov. Ser. KhM-14. M. : TsINTIkhimneftemash, 1975. 44 s.

© Боровков Д. П., Бурба И. В., Азаров Д. В., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

#### Ссылка для цитирования:

Боровков Д. П., Бурба И. В., Азаров Д. В. Об оптимизации параметра интенсивности закрутки первичного потока в пылеуловителях на встречных закрученных потоках // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 188—193.

УДК 621.928.93

**И. В. Бурба, Д. П. Боровков, Д. В. Азаров**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ  
КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕРХНЕГО ВВОДА ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ  
НА ВСТРЕЧНЫХ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ**

Приведены результаты экспериментальных исследований эффективности улавливания и аэродинамического сопротивления пылеуловителя на встречных закрученных потоках. Получены уравнения регрессии, адекватно описывающие результаты экспериментальных исследований. Определены оптимальные характеристики верхнего ввода пылеуловителя серии ВИП.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** пылеуловитель, встречно закрученные потоки, эффективность пылеулавливания, аэродинамическое сопротивление.

The results of experimental research of dust separation efficiency and aerodynamic resistance of a dust collector on counter swirl flows are given in the article. The regression equations which sufficiently describe the results of experimental research are received. Optimum characteristics of the upper input of VIP series dust collector are defined.

**К e y w o r d s:** dust collector, counter swirl flow, dust separation efficiency, aerodynamic resistance.

В последние годы в России и за рубежом среди средств сухой очистки получили распространение такие аппараты инерционного типа улавливания, как вихревые пылеуловители на встречных закрученных потоках (ВЗП). Основным отличием ВЗП от пылеуловителей циклонного типа является наличие дополнительного нижнего ввода закрученного потока в сепарационную камеру. Внедрение вихревых пылеуловителей обусловлено рядом преимуществ по сравнению с циклонными: более высокая степень улавливания мелкодисперсной пыли; меньшая чувствительность фракционной эффективности к колебаниям расхода газа и концентрации пыли в нем; меньшая степень абразивного износа аппарата; большая удельная производительность; возможность более эффективной очистки горячих газов и регулирования процесса пылеулавливания изменением соотношений расходов газа через потоки, а в некоторых случаях менее высокие затраты [1]. Учитывая вышесказанное, задача оптимизации конструктивных характеристик подобных пылеуловителей, в особенности их закручивающих элементов, представляется актуальной.

При проведении экспериментальных исследований в качестве параметров оптимизации приняты эффективность пылеулавливания и аэродинамическое сопротивление. При проведении исследований методами планирования эксперимента в качестве определяющих факторов были выбраны:

$\Phi_r^*$  — формпараметр закрутки, создаваемый сменным верхним тангенциальным вводом;

$h/D$  — заглубление выходного аксиального патрубка в сепарационную камеру, отнесенное к диаметру аппарата;

$L_n/L_{\text{общ}}$  — отношение расхода, поступающего на нижний ввод к общему подаваемому в пылеуловитель.

Формпараметр закрутки ( $\Phi_r^*$  геометрический параметр) представляет собой интегральный параметр интенсивности закрутки потока, вычисленный исходя из характерных конструктивных размеров, что обуславливает удобство его использования [2].

Для получения математической модели области оптимума в виде уравнения второго порядка на втором этапе исследований был реализован центральный композиционный ортогональный план второго порядка. В результате аппроксимации экспериментальных данных полиномом второй степени с учетом значимости вычисленных коэффициентов, определенных при помощи критерия Стьюдента, на уровне значимости  $\alpha = 0,05$ , принятом для технических экспериментов [3], получены следующие уравнения регрессии:

$$\eta = 23,30 + 14,23\Phi_r^8 - 1,68\frac{h}{D} + 189,25\frac{L_n}{L_{\text{общ}}} - 1,01(\Phi_r^8)^2 - 0,10\left(\frac{h}{D}\right)^2 -$$

$$- 321,33\left(\frac{L_n}{L_{\text{общ}}}\right)^2 - 0,13\Phi_r^8\frac{h}{D}\frac{L_n}{L_{\text{общ}}};$$

$$\xi = 235,13 - 64,17\Phi_r^8 + 27,23\frac{L_n}{L_{\text{общ}}} + 8,45(\Phi_r^8)^2 - 50,0\left(\frac{L_n}{L_{\text{общ}}}\right)^2 + 10\Phi_r^8\frac{h}{D}\frac{L_n}{L_{\text{общ}}}.$$

На рис. 1 приведена зависимость эффективности пылеулавливания аппарата ВИП от геометрического параметра эффективности закрутки верхнего ввода. Как следует из приведенных результатов, эффективность улавливания существенно возрастает при увеличении интенсивности закрутки потока в верхнем вводе во всем диапазоне варьирования экспериментальных факторов.

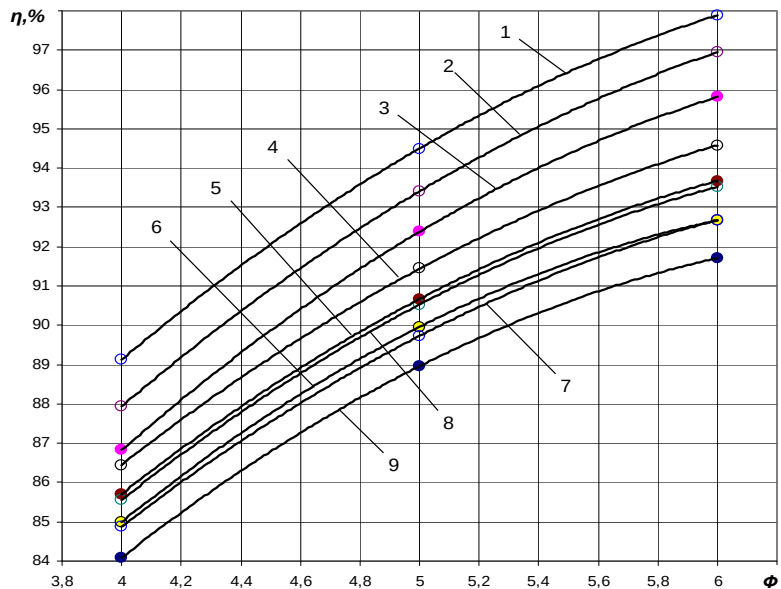


Рис. 1. Зависимость эффективности пылеулавливания аппарата ВИП от геометрического параметра эффективности закрутки верхнего ввода  $\eta$  ( $\Phi_r^*$ ) при  $Re_{cp} = 50000$ :  
 1 —  $L_n/L_{\text{общ}} = 0,3$ ,  $h/d = 1,4$ ; 2 —  $L_n/L_{\text{общ}} = 0,3$ ,  $h/d = 1,8$ ; 3 —  $L_n/L_{\text{общ}} = 0,3$ ,  $h/d = 2,2$ ; 4 —  $L_n/L_{\text{общ}} = 0,2$ ,  $h/d = 1,4$ ; 5 —  $L_n/L_{\text{общ}} = 0,2$ ,  $h/d = 1,8$ ; 6 —  $L_n/L_{\text{общ}} = 0,2$ ,  $h/d = 2,2$ ; 7 —  $L_n/L_{\text{общ}} = 0,4$ ,  $h/d = 1,4$ ; 8 —  $L_n/L_{\text{общ}} = 0,4$ ,  $h/d = 1,8$ ; 9 —  $L_n/L_{\text{общ}} = 0,4$ ,  $h/d = 2,2$

На практике повышение величины  $\Phi_r^*$  до величин выше 5,5 нежелательно в виду существенного повышения аэродинамического сопротивления пылеуловителя, о чем свидетельствуют данные, приведенные на рис. 2. Так, например, при увеличении интенсивности закрутки с  $\Phi_r^* = 5$  до  $\Phi_r^* = 6$  происходит увеличение коэффициента местного сопротивления пылеуловителя на величину 48...52 % в зависимости от режима работы. Совместный анализ экспериментальных данных по эффективности пылеулавливания и аэродинамическому сопротивлению позволяет считать оптимальными значения интенсивности закрутки верхнего ввода аппаратов ВИП, лежащие в пределах  $\Phi_r^* = 5,2...5,4$ .

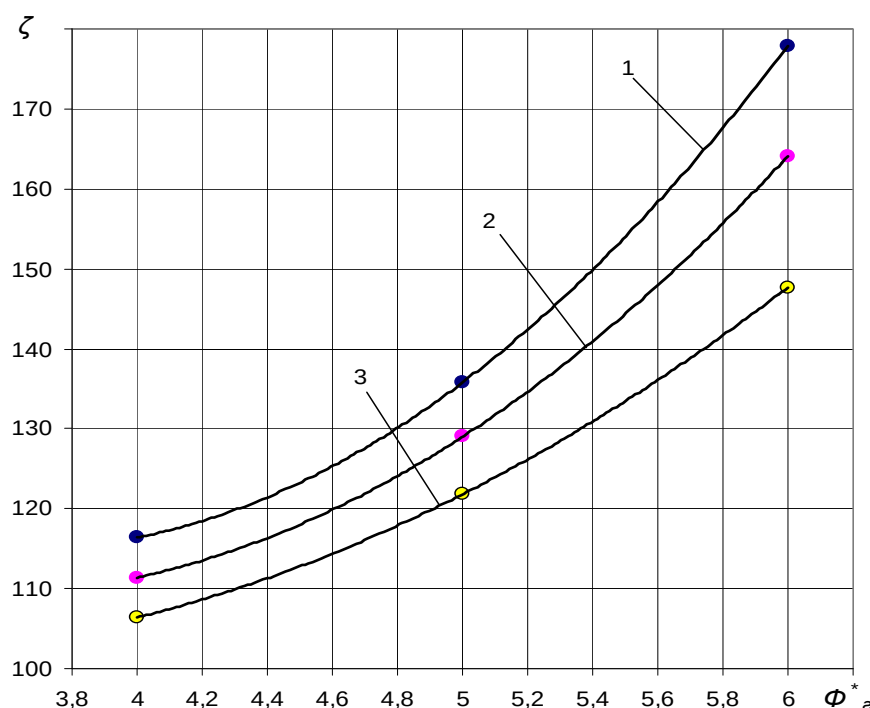


Рис. 2. Зависимость коэффициента местного сопротивления аппарата ВИП от геометрического параметра эффективности закрутки верхнего ввода  $\zeta(\Phi_r^*)$ : 1 —  $L_n/L_{общ} = 0,3$ ; 2 —  $L_n/L_{общ} = 0,2$ ; 3 —  $L_n/L_{общ} = 0,4$

На рис. 3 приведена зависимость эффективности пылеулавливания аппарата ВИП от отношения расхода нижнего ввода к общему, подаваемому на очистку. Максимальная эффективность улавливания достигается в диапазоне значений  $L_n/L_{общ} = 0,28...0,32$  во всем диапазоне варьирования экспериментальных факторов. Следует отметить, что данные значения интенсивности закрутки больше аналогичных значений пылеуловителей циклонного типа. Этот факт, вероятно, объясняется отличной кинематической картиной в сепарационной камере аппаратов типа ВЗП и ВИП, обусловленной наличием вторичного закрученного потока.

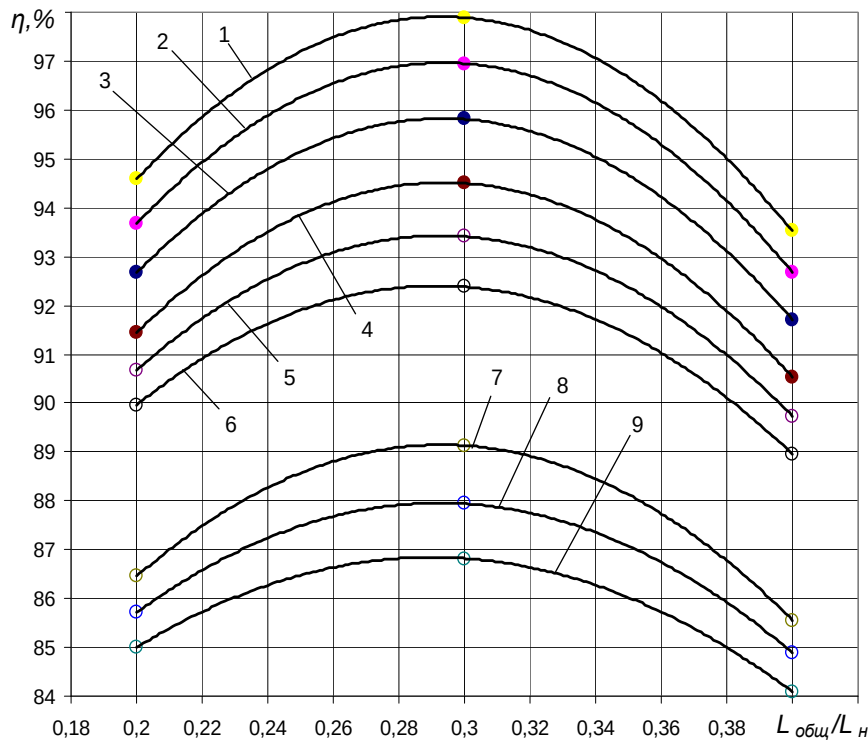


Рис. 3. Зависимость эффективности пылеулавливания аппарата ВИП от отношения расхода нижнего ввода к общему, подаваемому на очистку  $\eta(L_n/L_{\text{общ}})$ : 1 —  $\Phi_r^* = 6$ ,  $h/d = 1,4$ ; 2 —  $\Phi_r^* = 6$ ,  $h/d = 1,8$ ; 3 —  $\Phi_r^* = 6$ ,  $h/d = 2,2$ ; 4 —  $\Phi_r^* = 5$ ,  $h/d = 1,4$ ; 5 —  $\Phi_r^* = 5$ ,  $h/d = 1,8$ ; 6 —  $\Phi_r^* = 5$ ,  $h/d = 2,2$ ; 7 —  $\Phi_r^* = 4$ ,  $h/d = 1,4$ ; 8 —  $\Phi_r^* = 4$ ,  $h/d = 1,8$ ; 9 —  $\Phi_r^* = 4$ ,  $h/d = 2,2$

Данные, представленные на рис. 4, характеризуют зависимость эффективности пылеулавливания аппарата ВИП от относительного углубления выходного патрубка. Зависимость имеет монотонно убывающий характер во всем диапазоне варьирования экспериментальных факторов. Следует отметить, что полученные данные существенно отличаются от результатов аналогичных экспериментов с обычными пылеуловителями циклонного типа. Так, например, для пылеуловителей серии ЦН, послуживших прототипами аппаратов серии ВЗП, величина оптимального углубления лежит в пределах 2...2,5. Причем эффективность циклона резко снижается при уменьшении значений  $h/D$ . Снижение эффективности улавливания в данном случае объясняется тем, что часть потока, поступившего в сепарационную камеру по входному патрубку, не успевает приобрести закрутку и направляется по пути наименьшего сопротивления в выходной патрубок, минуя сепарационную камеру. При этом, чем меньше расстояние между нижней стенкой входного патрубка и торцом выходного, тем большее количество пылегазовой смеси минует сепарационную камеру, снижая степень очистки.

Применительно к пылеуловителям на встречных закрученных потоках наблюдается принципиально иная картина. Вторичный закрученный поток, направленный вертикально вверх, расширяется под действием центробежной

силы. Однако по мере подъема по сепарационной камере, при приближении к входному сечению патрубка очищенного газа он начинает испытывать влияние аэродинамических сил, направляющих его в приосевую зону, к источнику разрежения. При этом пылевые частицы, не успевшие достичь пристеночной зоны сепарационной камеры, увлекаются в выходной патрубок.

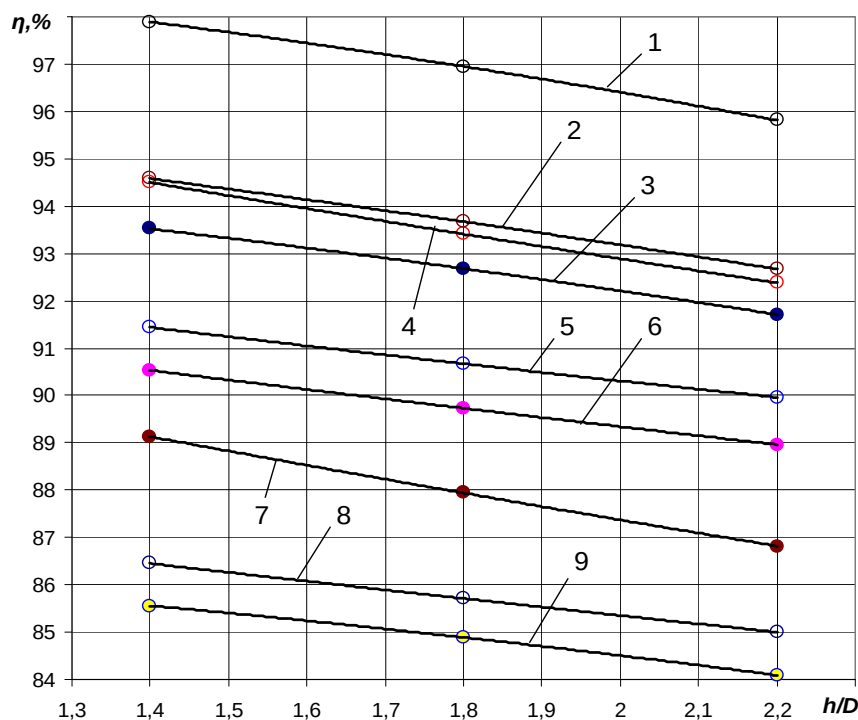


Рис. 4. Зависимость эффективности пылеулавливания аппарата ВИП от относительного углубления выходного патрубка  $\eta(h/D)$ : 1 —  $\Phi_{\Gamma}^* = 6$ ,  $L_H/L_{\text{общ}} = 0,3$ ; 2 —  $\Phi_{\Gamma}^* = 6$ ,  $L_H/L_{\text{общ}} = 0,2$ ; 3 —  $\Phi_{\Gamma}^* = 6$ ,  $L_H/L_{\text{общ}} = 0,4$ ; 4 —  $\Phi_{\Gamma}^* = 5$ ,  $L_H/L_{\text{общ}} = 0,3$ ; 5 —  $\Phi_{\Gamma}^* = 5$ ,  $L_H/L_{\text{общ}} = 0,2$ ; 6 —  $\Phi_{\Gamma}^* = 5$ ,  $L_H/L_{\text{общ}} = 0,4$ ; 7 —  $\Phi_{\Gamma}^* = 4$ ,  $L_H/L_{\text{общ}} = 0,3$ ; 8 —  $\Phi_{\Gamma}^* = 4$ ,  $L_H/L_{\text{общ}} = 0,2$ ; 9 —  $\Phi_{\Gamma}^* = 4$ ,  $L_H/L_{\text{общ}} = 0,4$

Кроме того, при уменьшении углубления выходного патрубка на аппаратах типа ВИП и ВЗП в сравнении с пылеуловителями циклонного типа менее выражен эффект перетекания первичного потока в выходной патрубок вследствие отжатия его в пристеночную область вторичным закрученным потоком. Таким образом, снижение величины углубления выходного патрубка позволяет повысить среднюю интенсивность закрутки вторичного потока, от которой в существенной мере зависит эффективность работы пылеуловителей на встречных закрученных потоках.

Также следует отметить, что уменьшение значения величины  $h/D$  ниже 1,4 приводит к резкому ступенчатому снижению эффективности улавливания аппарата, поэтому на этапе планирования данное значение выбрано в качестве минимального по результатам предварительных экспериментов. Как было отмечено выше, изменение величины углубления выходного патрубка не оказывает значительного влияния на аэродинамическое сопротивление пылеуло-

вителя. Поэтому, обобщая результаты экспериментальных исследований, в качестве оптимального значения углубления выходного патрубка в сепарационную камеру следует принять  $h/D = 1,4$ .

*Выводы:*

1. Проведены экспериментальные исследования по оптимизации конструктивных параметров верхнего ввода пылеуловителя типа ВИП.

2. В результате аппроксимации экспериментальных данных полиномом второй степени получены адекватные уравнения регрессии, характеризующие зависимость эффективности улавливания и коэффициента местного сопротивления пылеуловителя ВИП от экспериментальных факторов.

3. Экспериментально установлено повышение эффективности пылеулавливания аппарата ВИП при увеличении параметра закрутки потока верхнего ввода. Совместный анализ экспериментальных данных по эффективности пылеулавливания и аэродинамическому сопротивлению позволяет считать оптимальным значения интенсивности закрутки верхнего ввода аппаратов ВИП, лежащие в пределах  $\Phi_r^* = 5,2 \dots 5,4$ .

4. Экспериментально установлено, что максимальная эффективность улавливания достигается в диапазоне значений  $L_n/L_{\text{общ}} = 0,28 \dots 0,32$  во всем диапазоне варьирования экспериментальных факторов.

5. Экспериментально установлено, что оптимальным значением относительного углубления выходного патрубка в сепарационную камеру является  $h/D = 1,4$ .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азаров В. Н. Пылеуловители со встречными закрученными потоками. Опыт внедрения. Волгоград, 2003.
2. Щукин В. К., Халатов А. А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М. : Машиностроение, 1982. 200 с.
3. Дмитриева Л. С., Кузьмина Л. В., Мошкарёв Л. М. Планирование эксперимента в вентиляции и кондиционировании воздуха. Иркутск : Иркутский университет, 1984. 209 с.

1. Azarov V. N. Pyleuloviteli so vstrechnymi zakruchennymi potokami. Opyt vnedreniya. Volgograd, 2003.

2. Shchukin V. K., Khalatov A. A. Teploobmen, massoobmen i gidrodinamika zakruchennykh potokov v osesimmetrichnykh kanalakakh. M. : Mashinostroyeniye, 1982. 200 s.

3. Dmitrieva L. S., Kuz'mina L. V., Moshkarev L. M. Planirovaniye eksperimenta v ven-tilyatsii i konditsionirovaniy vozdukha. Irkutsk : Irkutskiy universitet, 1984. 209 s.

© Бурба И. В., Боровков Д. П., Азаров Д. В., 2013

Поступила в редакцию  
в январе 2013 г.

*Ссылка для цитирования:*

Бурба И. В., Боровков Д. П., Азаров Д. В. Экспериментальные исследования по оптимизации конструктивных параметров верхнего ввода пылеуловителя на встречных закрученных потоках // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 194—199.

УДК 504.61:656

**Р. А. Дярькин, В. С. Демьянова**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПУТЕМ УТИЛИЗАЦИИ  
ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Утилизация изношенных автомобильных шин и резинотехнических изделий имеет большую эколого-экономическую роль для всех развитых стран мира. Использование невозобновляемого углеводородного сырья и выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду при сжигании шин создают необходимость применения изношенных шин с максимальной эффективностью в качестве вторичного сырья.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** выбросы от сжигания шин, сбор изношенных автомобильных шин, утилизация шин в строительстве.

Recycling of worn-out car tires and rubber products has a big ecological and economic role for all developed countries of the world. The use of non-renewable raw hydrocarbons and pollutant emissions into the environment when burning tires provide the necessity to use worn-out tires with maximum efficiency as secondary raw materials.

**К e y w o r d s:** emissions from burning tires, collecting worn-out car tires, recycling of tires in construction.

В условиях реализации концепции эколого-экономического устойчивого развития стран и регионов обеспечение экологической безопасности всех видов хозяйственной деятельности населения приобретает повсеместную актуальность. Одной из приоритетных задач снижения экологической напряженности является решение проблемы утилизации техногенных отходов в материалоемких отраслях, обеспечивающей экологическую безопасность городского хозяйства на крупнейших урбанизированных территориях [1, 2]. Производство строительных материалов с использованием отходов рассматривается как средообразующий экологический фактор, формирующий безопасные условия жизнедеятельности населения, и является наиболее вместительной отраслью потребления вторичного сырья. В этой связи важное место приобретает разработка новых строительных материалов с использованием техногенных отходов, экономическая эффективность которых значительно увеличивается при использовании децентрализованного сбора отходов [3, 4]. Однако развитие отходоперерабатывающих производств возможно при условии надежной и бесперебойной системы сбора техногенных отходов. К сожалению, в настоящее время существующие положения нормативно-правовых документов в области обращения с отходами ориентированы на регулирование деятельности хозяйствующих субъектов только в части взимания экологических платежей. Нормативно-правовое обеспечение в части регламентации раздельного сбора, сортировки и переработки отходов, регламентирующих основы государственной политики с целью развития рынка вторичного материального сырья, отсутствует. Рост мировых цен на топливно-энергетические ресурсы делает добычу природного сырья более выгодным по сравнению с утилизацией техногенных отходов во вторичное сырье.

С ростом автомобилизации серьезную озабоченность вызывают прогрессирующие отходы транспортных средств, в частности изношенные автомобильные шины (ИАШ), являющиеся потенциальным вторичным сырьем практически во всех регионах России. Вместе с тем изношенные шины являются источником легированной стали, углеводородного сырья и текстильного материала [5, 6].



Динамика утилизации изношенных шин в Российской Федерации, несмотря на небольшое превышение, по сравнению с их производством находится на критически низком уровне (рис. 1). Это обусловлено отсутствием технологических процессов их переработки, перерабатывающих организаций и соответствующей законодательной базы.

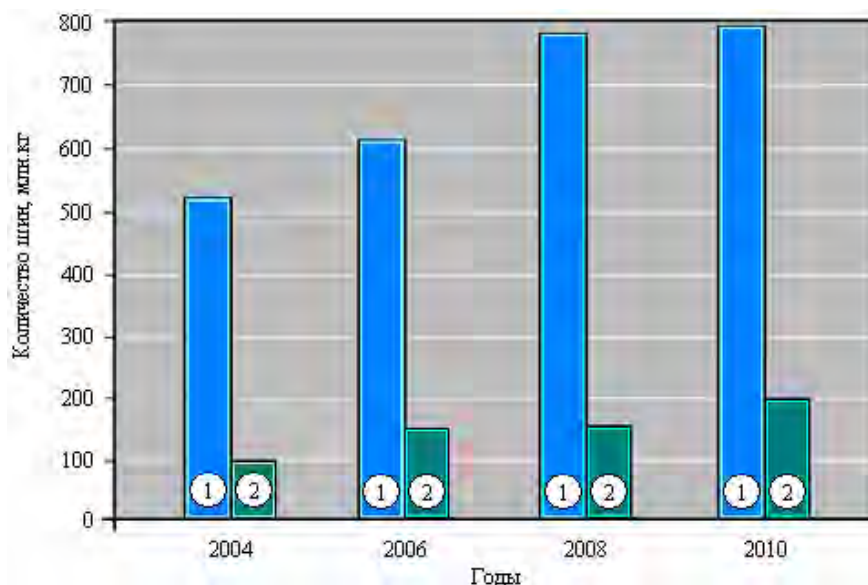


Рис. 1. Диаграмма ежегодного производства и утилизации автомобильных шин в России: 1 — производство автомобильных шин; 2 — утилизация изношенных шин

Сжигание — наиболее простой путь ликвидации ИАШ. Однако процесс сжигания изношенных шин является очень опасным действием, которое наносит вред не только окружающей среде, но и здоровью человека. При горении шины выделяется угарный газ, повреждающий клетки мозга и углеводородные соединения, влияющие на нервную систему и органы дыхания человека. Европейским Советом от 26 апреля 1999 г. № 1999/31/ЕС принята директива «О свалках», в соответствии с которой с 2003 г. введен запрет на сжигание ИАШ.

В табл. 1 в качестве примера приведены расчетные данные выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании изношенных автомобильных шин.

Т а б л и ц а 1

*Расчетные данные выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании изношенных автомобильных шин*

| Наименование загрязняющих веществ | Максимально разовый выброс, г/с | ПДК м.р., мг/м <sup>3</sup> |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Диоксида пентаоксида (пыль)       | 0,083                           | —                           |
| Диоксид азота                     | 8,25                            | 0,2                         |
| Оксид азота (II)                  | 1,34                            | 0,4                         |
| Гидрохлорид                       | 0,06                            | 0,2                         |
| Диоксид серы                      | 37,22                           | 0,5                         |
| Оксиды углерода                   | 0,006                           | 5,0                         |
| Гидрофторид                       | 0,12                            | 0,02                        |

Установленный компонентный состав изношенных автомобильных шин (табл. 2) и химический состав каучука в ИАШ (ацетоновый экстракт — 12,4 %, зола — 5,1 %, технический углерод — 33,3 % и полимеры — 49,2 %) подтверждают наличие опасных загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух.

Т а б л и ц а 2

*Компонентный состав изношенных автомобильных шин*

| Наименование        | Содержание, % |
|---------------------|---------------|
| Каучук              | 41,9          |
| Сера                | 1,15          |
| Меркаптобензотиазол | 0,32          |
| Окись цинка         | 2,09          |
| Стеарин технический | 1,26          |
| Сажа ДГ 10          | 18,65         |
| Фенилнафтиламин     | 0,63          |
| Текстиль            | 17            |
| Металл              | 16,79         |
| Прочее              | 0,21          |

С целью обеспечения экологической безопасности урбанизированных территорий и городского хозяйства разработаны эффективные схемы сбора ИАШ.

Образуемые на урбанизированных территориях отходы ИАШ подлежат сбору и последующей утилизации. Движение ИАШ в составе муниципальных отходов зависит от двух основных факторов: численности проживаемого населения; наличия постоянного транспортного сообщения и удаленности от других населенных пунктов. В связи с этим, при разработке эффективной системы организации сбора ИАШ на территории Пензенского региона урбанизированные территории Пензенской области разделены на четыре вида: центральные, крупные, средние и малые населенные пункты.

Эффективная схема сбора отработанных шин разработана по двум основным направлениям:

1) утилизация ИАШ на предприятиях полной или частичной линии утилизации в конечные продукты (строительные материалы);

2) поставка продуктов переработки ИАШ с территории универсальных полигонов отходов или перерабатывающих организаций на предприятия полной или частичной линии утилизации ИАШ (рис. 2).

Для реализации выбранных направлений сбора изношенных шин необходима разработка и принятие закона Пензенской области «О вторичных сырьевых ресурсах», регулирующего деятельность в области обращения

с изношенными шинами и техногенными отходами в целом. Закон должен включать обязанности органов местного самоуправления по целому ряду функций: вовлечение инвестиций со стороны заинтересованных инвесторов, юридических или физических лиц; подбор клининговых компаний; введение дифференцированных ставок оплаты финансовых средств за сдачу отходов хозяйствующими субъектами и частным сектором; подбор участков для размещения специальных площадок сбора ИАШ и контейнеров.

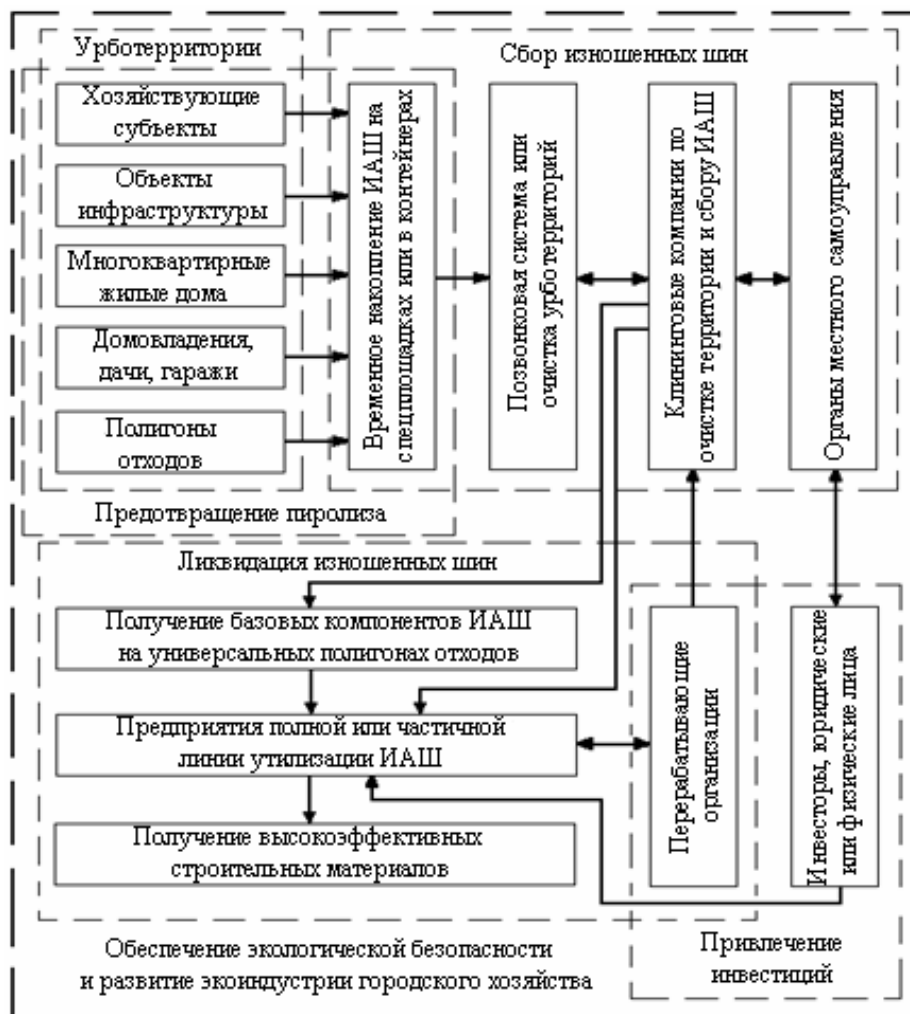


Рис. 2. Схема сбора изношенных автомобильных шин

Сбор и утилизация ИАШ по безотходной технологии является наиболее перспективным направлением, при этом для обеспечения принципа безотходности необходимо сохранить физико-химические и механические свойства всех составляющих компонентов шин. Из всех известных способов переработки такому требованию удовлетворяет механический метод, позволяющий отдельно извлекать резиновую крошку и металлокорд, принятые базовыми компонентами продуктов переработки изношенных автошин.

Произведено математическое моделирование процесса утилизации базовых компонентов продуктов переработки ИАШ в строительстве. Разработана математическая модель на основе линейного приближения, описывающая процесс утилизации ИАШ в промышленности строительных материалов. На основе предложенной математической модели разработаны компьютерные программы «Материальный баланс» и «Оптимизация составов» [7].

Проведенные исследования и полученные результаты позволяют решать поставленные проблемы не только на методологически-описательном уровне, но и реализовывать утилизацию ИАШ с помощью качественно-количественных характеристик используемых компонентов в строительных материалах.

На основе базовых компонентов продуктов механической переработки изношенных автомобильных шин предложены следующие направления их утилизации:

1) создание экономичных отечественных напольных и кровельных покрытий с использованием резиновой крошки;

2) разработка эффективных дисперсноармированных бетонов с использованием в качестве армирующих элементов металлокорда с заменой промышленной фибры на металлокорд.

Использование продуктов переработки ИАШ имеет важное социальное значение для дальнейшего развития экоиндустрии в строительстве и обеспечения экологической безопасности строительства и городского хозяйства.

Предложенные инновационные методы утилизации ИАШ легли в основу создания и функционирования малого научно-производственного предприятия «Экоресурс», способствующего развитию инновационного сектора экономики Пензенской области.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Снижение техногенной нагрузки на окружающую среду путем использования отходов автотранспортного комплекса / В. С. Демьянова, Р. А. Дярькин, М. М. Макаров, П. А. Кураков // *Экология урбанизированных территорий*. 2008. № 4. С. 86—90.
2. Овчаренков Э. А., Демьянова В. С., Дырова С. В. Сбор, сортировка и переработка ТБО в городах и поселках // *Экология урбанизированных территорий*. 2008. № 3. С. 77—81.
3. Демидова В. О., Демьянова В. С. Экологическое сопровождение деятельности в сфере обращения с отходами в условиях городской территории ПГУАС // *Материалы Международной научно-технической конференции студентов*. М. : МГСУ, 2010. С. 431—436.
4. Демьянова В. С. Комплексное использование промышленных отходов // *Экология и промышленность России*. 2008. № 1. С. 12—14.
5. Пармухина Е. В. Как склад для изношенных шин превратить в прибыльное предприятие // *Экологический вестник России*. 2010. № 3. С. 12—14.
6. Емельянова С. С. Резиновый коврик из колес // *Твердые бытовые отходы*. 2007. № 4. С. 38—40.
7. Демьянова В. С., Камбург В. Г., Дярькин Р. А. Моделирование процесса утилизации продуктов переработки изношенных автомобильных шин в промышленности строительных материалов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 2/10. Харьков : ЕЕJET. С. 50—52.

1. Snizhenie tekhnogennoy nagruzki na okruzhayushchuyu sredu putem ispol'zovaniya otkhodov avtopromyshlennogo kompleksa / V. S. Dem'yanova, R. A. Dyar'kin, M. M. Makarov, P. A. Kurakov // *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2008. № 4. S. 86—90.
2. Ovcharenkov E. A., Dem'yanova V. S., Dyrova S. V. Sbor, sortirovka i pererabotka TBO v gorodakh i poselkakh // *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*. 2008. № 3. S. 77—81.
3. Demidova V. O., Dem'yanova V. S. Ekologicheskoe soprovozhdenie deyatel'nosti v sfere obrashcheniya s otkhodami v usloviyakh gorodskoy territorii PGUAS // *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov*. M. : MGSU, 2010. S. 431—436.

4. Dem'yanova V. S. Kompleksnoe ispol'zovanie promyshlennykh otkhodov // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2008. № 1. S. 12—14.
5. Parmukhina E. V. Kak sklad dlya iznoshennykh shin prevratit' v pribyl'noe predpriyatie // *Ekologicheskii vestnik Rossii*. 2010. № 3. S. 12—14.
6. Emel'yanova S. S. Rezinovyy kovrik iz koles // *Tverdye bytovye otkhody*. 2007. № 4. S. 38—40.
7. Dem'yanova V. S., Kamburg V. G., Dyar'kin R. A. Modelirovanie protsessov utilizatsii produktov pererabotki iznoshennykh avtomobil'nykh shin v promyshlennosti stroitel'nykh materialov // *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*. 2012. № 2/10. Khar'kov : EEJET. S. 50—52.

© Дярькин Р. А., Демьянова В. С., 2013

*Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Дярькин Р. А., Демьянова В. С. Обеспечение экологической безопасности урбанизированных территорий путем утилизации изношенных автомобильных шин в строительстве // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 200—205.*

УДК 504.06

**П. М. Жук**

### **ПРИНЦИПЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Показана важность учета инженерно-экологических характеристик территории и социально-экономических факторов при размещении предприятий промышленности строительных материалов. Сформулированы принципы территориального размещения предприятий отрасли с учетом экологических аспектов.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** инженерно-экологические характеристики территории, репродуктивная способность территории по кислороду, экологическая емкость территории, принципы территориального размещения.

The author shows the importance of taking into account engineering and ecological characteristics of the territory and social and economic factors when arranging enterprises producing construction materials. The principles of territorial arrangement of enterprises of this branch taking into account ecological aspects are formulated.

**К e y w o r d s:** engineering and ecological characteristics of the territory, reproductive ability of the territory on oxygen, ecological capacity of the territory, principles of territorial arrangement.

В условиях действия современных систем земельного и градостроительного правового регулирования хозяйственной деятельности особую актуальность приобретают инновационные подходы к выбору территорий для инвестиций в промышленные объекты и развития производственной недвижимости. Особое внимание в вопросе размещения предприятий промышленности строительных материалов следует уделять оценке воздействия на окружающую среду, поскольку именно эта отрасль характеризуется значительными экологическими нагрузками [1]. Производство строительных материалов, изделий и конструкций должно, с одной стороны, проектироваться с учетом потребности строительного рынка, а с другой стороны, должно выполнять самые строгие требования по охране окружающей среды.

Решение вопросов размещения предприятий строительных материалов и связанных с ними объектов осуществляется на нескольких уровнях. В частности, разработка проектов планировки территорий формирует уровень территориального планирования (в широких масштабах от субъекта Российской Федерации или его части до городских и сельских поселений и муниципальных районов). Генеральное планирование касается соответствующей градостроительной документации, включающей генеральные планы различных населенных пунктов, а также комплексные территориальные схемы, правила землепользования и застройки, документацию по организации промышленных комплексов и узлов. Отраслевые проекты непосредственно касаются вопросов транспортной и инженерной инфраструктуры, а также вопросов экологии в населенных пунктах (в частности, обоснование размещения объекта, комплексная оценка состояния окружающей среды, проект организации санитарно-защитной зоны).

Параметры местоположения объекта играют важную роль при оценке устойчивости зданий в соответствии с системами устойчивого строительства, которые требуют адаптации для применения при оценке производственных

зданий в связи с многофакторностью их воздействий на окружающую среду. В частности, система оценки устойчивого строительства федеральных зданий (нем. Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen fuer Bundesgebaeude) предлагает следующие критерии для местоположения здания: локальные риски, связанные с природными опасностями и техногенными катастрофами; локальные нагрузки, которые могут сказаться на здоровье; социальные требования; транспортные связи; близость к необходимому для эксплуатации оборудованию; источники энергообеспечения объекта в данном районе [2]. В свою очередь ГОСТ Р 54954—2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости» содержит следующие критерии в базовой категории «Инфраструктура и качество внешней среды»: выбор участка под строительство, озелененность территории. Категория «Охрана окружающей среды при строительстве, эксплуатации и утилизации объекта» того же документа включает критерий по минимизации воздействий на окружающую среду [3]. Все это свидетельствует об актуальности вопроса грамотного размещения предприятий строительных материалов с точки зрения экологии, социальных и экономических факторов.

При разработке градостроительной документации также используют инженерно-экологические характеристики территорий. Некоторые из них могут применяться только для жилых районов и городов (например, демографическая емкость территории). Но есть те, которые характеризуют любые природно-техногенные системы. Например, репродуктивная способность, биогеохимическая активность, экологическая емкость территории [4]. Все эти критерии могут быть рассчитаны по общепризнанным методикам.

Рассмотрим возможные методики расчета двух из них. В частности, с точки зрения репродуктивной способности территорию оценивают по индексу репродукции, представляющему собой отношение этого показателя к показателям фактического потребления компонентов геосферы или биосферы (кислород, водные ресурсы, почвенно-растительный покров, растительность). При расчете репродуктивной способности по каждому из названных ресурсов используются соответствующие формулы. Например, при расчете репродуктивной способности территории по атмосферному кислороду принимают во внимание произведение ежегодного производства органических веществ, рассматриваемым растительным сообществом (в тоннах на гектар); размера территории, покрытой растительностью (в гектарах) и коэффициента перехода от биологической продуктивности к свободному кислороду, обычно принимаемого равным 1,45. Для оценки состояния территории важно сравнить репродуктивную способность территории по любому из указанных ресурсов со значением фактического потребления (в прогнозах можно использовать перспективное потребление) того или иного компонента окружающей природной среды. При этом, разделив значение репродуктивной способности на величину фактического потребления данного компонента геосферы, можно получить так называемый индекс репродукции. Сбалансированными считают районы, где индекс репродукции равен 1. Территории, где репродуктивная способность ниже фактического потребления, считаются неблагоприятными. В частности, к ним чаще всего относят городские территории, а также промышленные зоны. Экологическая емкость территории показывает на возможную в условиях рассматриваемого района биологическую

продуктивность расположенных на его территории биогеоценозов естественного и природно-техногенного генезиса. При этом учитываются видовой состав представителей животного мира и растительности, а также гетеротипические реакции в структуре биогеоценоза, процессы его сукцессии и т. д. Существуют три группы методов оценки экологической емкости территории, которые приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Основные методы оценки экологической емкости территории*

| Наименование метода оценки                             | Описание и признаки метода                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Расчетный метод                                        | Экологическая емкость определяется для территории в тоннах биомассы аддитивно из возможных биомасс биогеоценоза, урбоценоза и агроценоза                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Метод по результирующему эффекту экологических условий | Метод позволяет учитывать такие показатели, как состояние здоровья человека, продолжительность жизни и т. п. Можно устанавливать максимальное развитие промышленности (по производительности), допустимое для состояния региона. Сложности возникают при серьезных различиях в природно-климатических, социально-экономических, геологических и других условиях в пределах одного района |
| Метод по степени отклонения от кризисного состояния    | Возможно использование экспертных методик по уровням экологической обстановки (кризисная, допустимая, удовлетворительная). Экологическую емкость территории при использовании этого метода выражают обратной величиной уровня экологического неблагополучия                                                                                                                              |

В настоящей работе использовался метод по степени отклонения от кризисного состояния, предложенный Л. П. Баранником при исследованиях муниципального образования «Новокузнецкий сельский район» [5]. В случае кризисной ситуации в рассматриваемом районе выставлялась минимальная оценка в 1 балл, при допустимой ситуации — 2 балла, а в удовлетворительных условиях — максимальные 3 балла.

По приведенным в табл. 2 результатам можно увидеть корреляцию показателей экологической емкости территории и ее репродуктивной способности по кислороду. Последний показатель характеризует ситуацию в рассматриваемых регионах не очень точно, поскольку предназначен для характеристики лесистости региона и состояния природной среды в целом. Для населенных территорий с развитой промышленностью применяют также индекс экологической устойчивости, определяющийся по отношению репродуктивной способности к антропогенному воздействию на воздушную среду. В частности, для рассмотренных в табл. 2 территорий этот показатель не превышает 0,62, что в целом соответствует среднему уровню (высокий — более 1, низкий — менее 0,34).



Т а б л и ц а 2

*Инженерно-экологические характеристики некоторых территорий,  
на которых существуют предприятия строительных материалов*

| Наименование территории               | Характеристика промышленности региона                                                                                                    | Показатели инженерно-экологических характеристик территории по результатам исследований |                       |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                       |                                                                                                                                          | Репродуктивная способность по кислороду                                                 | Экологическая емкость |
| г. Усть-Каменогорск (Казахстан)       | Цветная металлургия, химическая и легкая промышленность, производство строительных материалов                                            | < 0,7                                                                                   | 1,9                   |
| Тамбовский район (Тамбовская область) | Электроэнергетика, машиностроение и металлообработка, деревообрабатывающая, пищевая промышленность, производство строительных материалов | 0,7                                                                                     | 2,4                   |
| Дятьковский район (Брянская область)  | Стекольная, деревообрабатывающая промышленность, производство строительных материалов                                                    | 0,8                                                                                     | 2,5                   |
| Троицкий район (Челябинская область)  | Электроэнергетика, машиностроение, производство строительных материалов, пищевая и легкая промышленность                                 | < 0,7                                                                                   | 1,7                   |

При анализе инженерно-экологических характеристик территории следует учитывать, рассматриваются ли проекты застройки или уже существующие объекты, в том числе промышленные. Важную роль в фактических значениях показателей играют климатические и природные особенности местности, в частности, характер биогеоценозов. Во многом инженерно-экологические характеристики носят статистический характер и слабо характеризуют динамику развития территорий. Для рассматриваемых зон принципиально важным является учет эффектов совместного воздействия на окружающую среду нескольких факторов, часто выражающегося в синергизме, т. е. усилении негативных последствий, превышающем простую сумму воздействий. Например, в приведенных регионах имеются различные виды промышленности, каждый из которых воздействует на окружающую среду. Одним из способов вычленения вклада промышленности строительных материалов является изменение масштабности рассмотрения некоторых инженерно-экологических характеристик. Этот способ, однако, не подходит при расположении предприятий этой отрасли в рамках промышленных зон.

Проектирование предприятий строительных материалов на приближенных к городу территориях является важнейшим фактором для ресурсного обеспечения программ их строительного освоения и снабжения площадок строительства, находящихся в других районах. Проектирование таких объектов связано с возможными положительными эффектами экономического развития региона, совершенствования его социальных потребностей на рынках труда, продукции, жилья и т. п. С другой стороны, проектирование таких предприятий может сопровождаться значительными воздействиями на окружающую среду, в частности, на атмосферный воздух, почву, подземные и поверхностные воды. Кроме

того, следует помнить, что размещение производств должно учитывать вопросы их взаиморасположения с другими элементами социально-экономической структуры города. В частности, строительство промышленных объектов связано с процессами перемещения населения, определяемое его трудовой занятостью, организацией и реконструкцией объектов инженерной инфраструктуры. При этом следует учитывать необходимость переформирования транспортных потоков, систем инженерных коммуникаций. Важно, чтобы все изменения градостроительной структуры, связанные с размещением предприятия по производству строительных материалов, влекли за собой положительные эффекты развития территории как с точки зрения социальных и экономических аспектов, так и с позиций охраны окружающей среды. В частности, важные исследования для категорирования объектов строительства по территориальному и функциональному критериям и воздействию зданий и сооружений на окружающую среду города проведены в [6], в котором также указываются мероприятия по минимизации воздействий на окружающую среду.

С организационной точки зрения для учета принципов территориального размещения промышленных предприятий особую роль играет порядок разработки градостроительных регламентов и правил землепользования и застройки. Владея ими, можно определить, на какой стадии следует рассчитывать и публиковать инженерные характеристики территории и трактовать принципы размещения рассматриваемых объектов. В частности, специалисты Российского государственного научно-исследовательского и проектного института урбанистики Минрегионразвития РФ из г. Санкт-Петербург в виде схемы представили порядок подготовки правил землепользования и застройки, который предполагает формирование комиссии по подготовке проекта правил по инициативе главы местной администрации [7]. Эта комиссия, с одной стороны, осуществляет контакты со специализированной организацией, занимающейся разработкой этого документа, а с другой — работает с органом, курирующим архитектуру и градостроительство на местном уровне. Проверка соответствия разрабатываемых правил требованиям технических регламентов, документов территориального планирования различного уровня осуществляется соответствующими органами местного самоуправления в области архитектуры и градостроительства. Затем глава муниципального образования принимает решение о начале публичных слушаний по проекту правил, которые проводятся комиссией. В ходе слушаний правила могут дорабатываться по просьбе главы местной администрации. По завершении этого процесса проект правил землепользования и застройки направляется на утверждение в представительный орган местного самоуправления. Таким образом, вопросы размещения предприятий строительных материалов должны рассматриваться на нескольких уровнях. Например, таким уровнем могут стать федеральный уровень (все государство в целом), уровень субъекта федерации (например, в Германии — в масштабе федеральной земли, в России — в масштабах области, края, республики), региональный уровень (согласование интересов субъекта федерации и общин конкретного региона) и, наконец, местное планирование, в котором некоторые специалисты выделяют планирование развития муниципального образования и перспективное развитие градостроительства [8]. Для жизненного цикла проекта размещения производственного предприятия необходимы правильная постановка задач, рациональное устройство системы размещения производства для безопасности человека и окружающей среды, а также учет предполагаемого развития территории в будущем.

В табл. 3 приведена попытка сформулировать конкретные принципы территориального размещения предприятий строительных материалов с учетом экономических, организационных и экологических аспектов.

Т а б л и ц а 3

*Перечень принципов территориального размещения  
предприятий строительных материалов с учетом экологических аспектов*

| Принцип                                                                                                                              | Пояснение принципа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Территориальная конкретность с учетом особенностей биогеоценозов                                                                     | Принцип обусловлен экологическими особенностями территории, отражающими ее уникальность и не поддающимися формализации. Степень реализации проектных решений зависит от возрастания неопределенности прогнозов в оценке инженерно-экологических характеристик                                                                                                            |
| Учет взаимосвязанности процессов, влияющих на состояние окружающей природной среды                                                   | При размещении предприятий строительных материалов необходимо принимать во внимание возможное изменение экологической ситуации в регионе. При проектировании необходимо учитывать соблюдение экологического равновесия. Следует принимать во внимание воздействия на глобальном, региональном и локальном уровнях                                                        |
| Формирование ресурсной базы для строительных программ региона и предпосылок его социально-экономического развития                    | В реализации этого принципа особую роль играет учет положений генерального плана городов и населенных мест. Организация транспортного сообщения с местами поставки продукции, а также обеспечение энергоэффективности производственного цикла и зданий                                                                                                                   |
| Обеспечение замкнутости циклов сырьевого обеспечения и рациональное обращение с отходами                                             | На размещение предприятия должна оказывать влияние близость сырьевой базы, а также взаимное расположение предприятий, использующих отходы одного производства в качестве сырья для другого                                                                                                                                                                               |
| Избежание взаимозависимости и обеспечение минимального достаточного количества используемых в проектировании показателей             | Это позволяет обеспечить математическую адекватность оценки и повысить тем самым качество проектных решений в области градостроительства и планировки населенных мест. Показатели воздействия на окружающую среду очень часто зависят друг от друга, а при выведении комплексных происходит утеря критерия их достаточности для принятия обоснованного решения           |
| Организация территории предприятия как природно-техногенной системы с возможным снижением нагрузок на окружающую среду за счет биоты | Снижение нагрузок может быть связано с жизнедеятельностью природных компонентов. Несмотря на презумпцию экологической опасности, предприятия следует рассматривать как комплексные структуры с биотической составляющей (фитоценоз, микробоценоз), которая может способствовать минимизации нагрузок                                                                     |
| Учет принципа биологической индикации в экосистемах                                                                                  | При проектировании предприятий строительных материалов в промышленных зонах необходимо учитывать реакцию отдельных составляющих и экосистем в целом на объекты промышленности. В частности, это касается микробоценозов, фитоценозов и т. д.                                                                                                                             |
| Обеспечение эмерджентных свойств градостроительной системы и интегративности территорий                                              | Предприятие промышленности строительных материалов должно вписываться в градостроительную систему, создавая для нее преимущественные свойства и самостоятельно приобретающие при этом дополнительные качества. На всех уровнях предприятие должно вписываться в систему объектов строительства и инфраструктуры населенного пункта, а также в окружающую природную среду |

Актуальность вопроса размещения предприятий строительных материалов связана с проведением рейтинговой оценки экоустойчивости строительства этих объектов. Определенные инженерно-экологические характеристики территорий можно с успехом использовать при выборе места для размещения предприятий. Поскольку рассматриваемые производства призваны обеспечивать ресурсами программы строительного освоения территорий, то необходимо при их размещении в комплексе учитывать социально-экономические и экологические факторы, что позволяет сделать предлагаемая система принципов. В любом случае с использованием предлагаемых принципов или без них к размещению предприятий строительной промышленности необходим комплексный подход, основанный на экологическом базисе.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Румянцева Е. Е., Губернский Ю. Д., Кулакова Т. Ю. Экологическая безопасность строительных материалов, конструкций и изделий : учебное пособие. М. : Университетская книга, 2005. 200 с.
2. Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin : Bundesministerium fuer Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 2011. 97 s.
3. ГОСТ Р 54954—2012. Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости. М., 2012.
4. Плотникова Л. В. Экологическая безопасность и контроль качества окружающей среды в строительстве и стройиндустрии в соответствии с международными стандартами ИСО-14000 : учебно-практическое пособие. М. : Изд-во Рос. экон. акад., 2001. 120 с.
5. Баранник Л. П. Экологическая емкость территории (на примере муниципального образования «Новокузнецкий сельский район»). [Электронный ресурс] // ЭКО-бюллетень ИнЭКА. июль-август 2008. № 4 (129). Режим доступа: <http://ineca.ru/?dr=bulletin/arhiv/0129/&pg=017> (дата обращения: март 2013 г.)
6. Сидоренко В. Ф., Аброськина Н. В., Сидоренко И. В. Строительство как фактор негативного экологического воздействия на урбанизированных территориях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. № 25. С. 374—377.
7. Градостроительное зонирование. [Электронный ресурс] // сайт Российского государственного научно-исследовательского и проектного института урбанистики Минрегионразвития РФ, г. Санкт-Петербург. Режим доступа: [www.urbanistika.ru/services/town-planing-zoning.php](http://www.urbanistika.ru/services/town-planing-zoning.php) (дата обращения: март 2013 г.)
8. Щитинский В. А. Российский опыт и зарубежная практика стратегического территориального планирования. [Электронный ресурс] // Управление развитием территории. 2007. № 1. Режим доступа: <http://www.gisa.ru/38029.html> (дата обращения: март 2013 г.).
1. Rumyantseva E. E., Gubernskiy Yu. D., Kulakova T. Yu. Ekologicheskaya bezopasnost' stroitel'nykh materialov, konstruktsey i izdeliy : uchebnoe posobie. M. : Universitetskaya kniga, 2005. 200 s.
2. Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin : Bundesministerium fuer Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 2011. 97 s.
3. GOST R 54954—2012. Otsenka sootvetstviya. Ekologicheskie trebovaniya k ob'ektam nedvizhimosti. M., 2012.
4. Plotnikova L. V. Ekologicheskaya bezopasnost' i kontrol' kachestva okruzhayushchey sredy v stroitel'stve i stroyindustrii v sootvetstvii s mezhdunarodnymi standartami ISO-14000 : uchebno-prakticheskoe posobie. M. : Izd-vo Ros. ekon. akad., 2001. 120 s.
5. Barannik L. P. Ekologicheskaya emkost' territorii (na primere munitsipal'nogo obrazovaniya «Novokuznetskiy sel'skiy rayon»). [Elektronnyy resurs] // EKO-byulleten' InEkA. iyul'-avgust 2008. № 4 (129). Rezhim dostupa: <http://ineca.ru/?dr=bulletin/arhiv/0129/&pg=017> (data obrashcheniya: mart 2013 g.)
6. Sidorenko V. F., Abros'kina N. V., Sidorenko I. V. Stroitel'stvo kak faktor negativnogo ekologicheskogo vozdeystviya na urbanizirovannykh territoriyakh // Vestnik Volgogr. gos. arkhит.-stroit. un-ta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2011. № 25. S. 374—377.

---

7. Gradostroitel'noe zonirovaniye. [Elektronnyy resurs] // sayt Rossiyskogo gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo i proektnogo instituta urbanistiki Minregionrazvitiya RF, g. Sankt-Peterburg. Rezhim dostupa: [www.urbanistika.ru/services/town-planing-zoning.php](http://www.urbanistika.ru/services/town-planing-zoning.php) (data obrashcheniya: mart 2013 g.)

8. Shchitinskiy V. A. Rossiyskiy opyt i zarubezhnaya praktika strategicheskogo territorial'nogo planirovaniya. [Elektronnyy resurs] // Upravlenie razvitiem territorii. 2007. № 1. Rezhim dostupa: <http://www.gisa.ru/38029.html> (data obrashcheniya: mart 2013 g.).

© Жук П. М., 2013

*Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Жук П. М. Принципы территориального размещения предприятий промышленности строительных материалов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 206—213.

УДК 699.841 (05)

**А. В. Масляев**

### **ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Анализируются геологические условия для образования тектонических разломов на территории Волгоградской области. Так как нормативная сейсмическая опасность в комплексе карт ОСР-97 РФ для территории Волгоградской области определялась без учета тектонических разломов, делается вывод о ее заниженном значении. Разработчикам актуализированного комплекта карт ОСР-97\* еще раз предлагается пересчитать сейсмическую опасность для территории Волгоградской области с учетом тектонических разломов.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** геологические условия, тектонические разломы, сейсмическая опасность, земная кора.

Geological conditions for tectonic faults formation on the territory of Volgograd Oblast are analyzed. As the standard seismic danger in a set of the OSR-97 maps of the Russian Federation for the territory of Volgograd Oblast was defined without taking into account tectonic faults, the conclusion about its conservative value is made. The developers of the actualized set of the OSR-97 maps \* are offered to count once again the seismic danger for the territory of Volgograd Oblast taking into account tectonic faults.

**K e y w o r d s:** geological conditions, tectonic faults, seismic danger, Earth crust.

Так как расчетная сейсмическая опасность в нормативном комплексе карт ОСР-97 РФ для территории Волгоградской области была определена с учетом доменной тектонической структуры очагов землетрясений, в статье [1] были изложены научные исследования ряда известных ученых России о том, что на этой территории сложилась густая сеть тектонических разломов, которая свидетельствует об ошибочности этих расчетов. Однако с момента опубликования статьи прошел примерно год и появился проект актуализированного комплекта карт ОСР-97\* РФ [2], в котором при сохранении использования в расчетах доменной тектонической структуры очага землетрясения сейсмическая опасность для территорий некоторых населенных пунктов Волгоградской области даже уменьшилась. Поэтому в настоящей статье делается еще одна попытка изложить основные геологические условия для образования тектонических разломов на территории Волгоградской области.

Территория Волгоградской области расположена на трех разных по геологической и тектонической структуре геоблоках. Так, западная часть территории области расположена на юго-восточном окончании Воронежской антеклизы, южная часть — на вале Карпинского, а восточная часть — на западной части Прикаспийской впадины. Так как каждый геоблок имеет совершенно индивидуальное геологическое строение земной коры, то «границы блоков называть зонами нарушений вполне естественно, так как именно в них отмечаются нарушение сплошности или формы границ и изменение свойств вещества основных слоев. Однако совершенно ясно, что это не единые разломы, а некоторые ослабленные, наиболее подвижные области, сформировавшиеся в результате длительного развития земной коры» [3]. Такая же характеристика зон нарушений между разными в геологическом отношении блоками земной коры приводится в другой работе [4]: «Швы эти разделяют крупные блоки коры и литосферы, иногда именуемые геоблоками, резко отличающиеся по структуре и истории развития». В предыдущей статье [1] показаны схемы этих разломов, разработанные разными известными учеными.

В виде дополнительной информации на рис. 1 изображены основные тектонические разломы на территории Волгоградской области, разработанные учеными Саратовского Нижнее-Волжского научно-исследовательского института геологии и геофизики и переданные администрации Волгоградской области 23.01.92 за № 01/07-68.

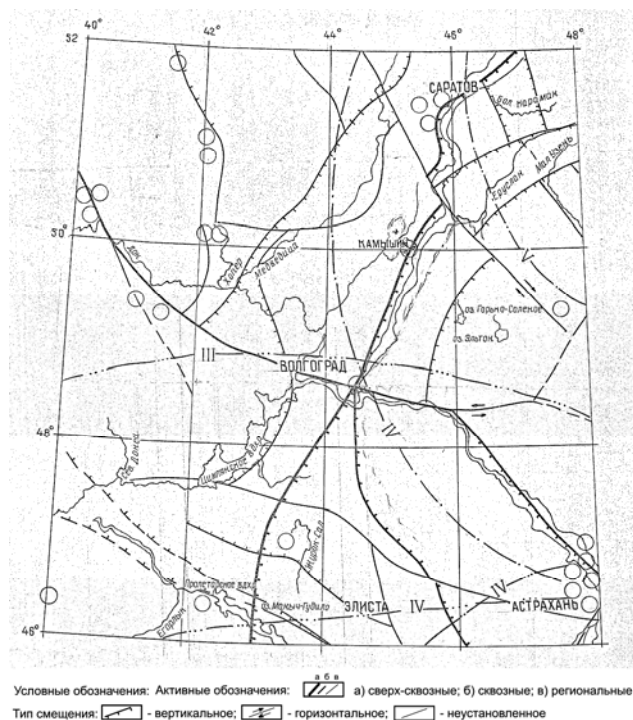


Рис.1. Основные тектонические разломы на территории Волгоградской области

Границу трех крупных геоблоков с разными геологическими строениями земной коры следует считать одним из объективных условий для образования тектонических разломов на территории Волгоградской области. Еще одним геологическим условием для тектонических разломов на территории Волгоградской области следует считать длительный процесс формирования осадочного бассейна Прикаспийской впадины. Как известно, особенность процесса образования максимального осадочного чехла Прикаспийской впадины состоит в том, что он сформировался только в центральной ее части, а это, согласно [4], значит, что он происходит в основном за счет проседания земной коры океанического типа. Именно при условии образования максимальной мощности осадконакопления в центральной части бассейна, в [4] делается важный вывод, что для этого случая осадконакопления «...тектоническое погружение становится регулятором и мерой мощности осадков». К тому же такие процессы в осадочных бассейнах ученые [4] называют внутриплитным тектогенезом. Более того, группа ученых [5] Прикаспийскую впадину считают одним из крупнейших тектонических элементов общей Каспийской полосы погружений: «К востоку от Транскавказского поднятия развивается Каспийская меридиональная полоса погружений, в пределах которой структуры Кавказского направления значительно редуцированы и подавлены. Эта полоса представлена

цепью впадин — Южно-Каспийской, Средне-Каспийской, Северо-Каспийской и Прикаспийской». В отношении воздействия тектонических сил на территории юго-восточной части Восточно-Европейской платформы сказано: «Таким образом, речь идет о суперпозиции здесь тектонических напряжений, связанных с генетически различными геодинамическими системами: системы латерального воздействия на платформу со стороны Альпийского горно-складчатого пояса и системы воздействия глубинных процессов, происходящих в недрах Прикаспийского прогиба. При этом воздействие последних здесь представляется более значимым» [5]. Но, конечно, основным показателем присутствия сквозных тектонических разломов в земной коре на территории Волгоградской области служит их присутствие на поверхности кристаллического фундамента. Такая работа выполнена научными сотрудниками «ЛукойлВолгоградНИПИморнефть» (П. В. Медведев, Волгоград, 2011), результат которой представлен на рис. 2.



Рис. 2. Схематическая карта основных разломов на поверхности фундамента Западного Прикаспия (Волгоградская область)

Из схемы разломов (см. рис. 2) видно, что основные разломы в фундаменте земной коры Западного Прикаспия расположены в северо-западном и северо-восточном направлениях. Примерно такая же направленность основных тектонических разломов на всей территории Волгоградской области была выявлена в научном отчете [6].

Кроме того, в [6] показано, что основные тектонические разломы на территории Волгоградской области по кинематическим характеристикам относятся к сбросам. Это говорит о том, что на горные породы между разломами-сбросами



возможно воздействие двух разных усилий: общее растяжение и сила тяжести. Если к этому добавить, что в осадочном чехле мощностью примерно 5 км земной коры на территории г. Волгограда грунтовые слои имеют общий уклон на восток к центру Прикаспийской впадины, то при объективных расчетах сейсмического воздействия при землетрясении его длительность получится значительной.

Известно, что в западной части Прикаспийской впадины развиты соляные структуры. Большинство исследователей здесь выделяют зону соляных антиклиналей, которые представляют собой протяженные линейные формы на глубине примерно 1,0...1,5 км на протяжении нескольких десятков км. По мнению ряда исследователей, местоположение соляных антиклиналей связано с разломами в фундаменте земной коры. Все дело в том, что многие соляные структуры поднимаются вверх (растут) в надсолевой толще со средней скоростью примерно 1 мм в год, создавая разломы (трещины) над собой в приповерхностных грунтовых слоях. Получается, что к общей тектонике на территории Волгоградской области добавилась активная солянокупольная тектоника. Например, согласно геологическому профилю по направлению запад — восток, большая часть территории г. Волжского расположена между тектоническим разломом (Волгоградским сбросом) по левому берегу р. Волги и Ахтубинско-Тингутинской соляной антиклиналью, над которой в приповерхностных грунтах расположена система тектонических разломов (рис. 3) [7].

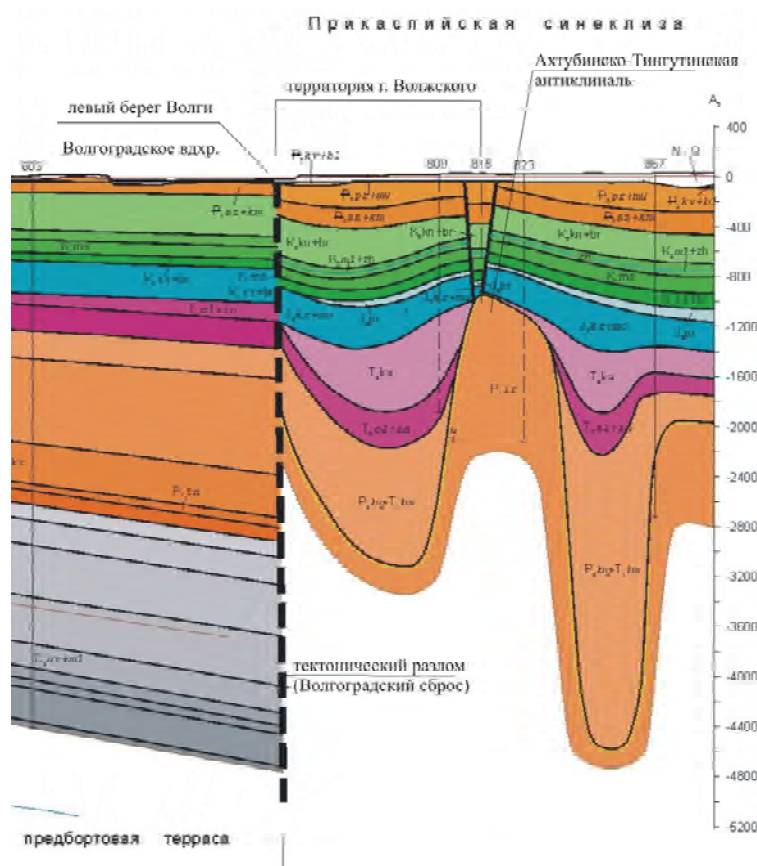


Рис. 3. Геологический профиль по территории г. Волжского [7]

Так как указанные протяженные тектонические разломы располагаются в северо-восточном направлении и по всей длине плана г. Волжского, то с учетом значительных амплитудных перепадов (до 200 м) в приповерхностных грунтовых слоях, которые расположены по левую и правую сторону от тектонического разлома (Волгоградский сброс) на рис. 3, можно предположить, что большая часть территории этого города расположена на компенсационной мульде. Как известно, такие характеристики геологических и тектонических условий делают территорию г. Волжского неблагоприятной в сейсмическом отношении. Если исходить из учения о сейсмогеодинамике, которая рассматривает сейсмичность как результат деформирования всей литосферы с учетом фрактальных особенностей слоисто-блоковой структуры земной коры, то получается, что даже с учетом уже имеющихся значительных деформаций в грунтовых слоях (см. рис. 3), можно говорить, что при сильном землетрясении сейсмический эффект на территории г. Волжского будет максимальным.

Как известно, недооценка сейсмической опасности особенно для крупного населенного пункта может привести к многочисленным человеческим жертвам. Именно такая тревога прозвучала в выступлении японского ученого Косюн Ямаока на 33-й Генеральной ассамблее Европейской сейсмологической комиссии, проходившей в августе 2012 г. в Москве: «Мы должны принимать во внимание неопределенности в научных данных, даже если они обнародованы официально, и должны использовать достаточно широкие интервалы данных во всех процедурах, связанных со снижением возможного ущерба от землетрясений».

#### *Выводы:*

1. Согласно исследованиям многих ученых России, которые приведены автором в предыдущей [1] и в настоящей статьях, на территории Волгоградской области сложилась густая сеть тектонических разломов.

2. Разработчикам актуализированной редакции комплекта карт ОСР-97\* РФ еще раз предлагается пересчитать сейсмическую опасность на территории Волгоградской области с учетом тектонических разломов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Масляев А. В. Нормативная сейсмичность на территории Волгоградской области с учетом упрощенных тектонических условий // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. Вып. 24(43). Волгоград, 2011. С. 113—119.
2. Уломов В. И. К вопросу дифференцированной оценки сейсмической опасности на территории Российской Федерации // Сейсмост. стр-во. Безопасность сооружений. 2012. № 4. С. 41—49.
3. Современная динамика литосферы, континентов. Методы изучения / Под ред. Л. А. Логачева, В. С. Хромовских. М. : Недра, 1989. 278 с.
4. Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. М. : Изд. МГУ, 1995. 480 с.
5. Юдахин Ф. Н., Щукин Ю. К., Макаров В. И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург : УрО РАН, 2003.
6. Платонов А. С., Шестоперов Г. С., Рогожин Е. А. Уточнение сейсмотектонической обстановки и сейсмическое микрорайонирование участка строительства городского моста через р. Волгу в г. Волгограде // Сейсмотектонические исследования. ИС-96-3-529-12. М. : ЦНИИС, 1996.
7. Тектоническое районирование Волгоградской области / Г. А. Бражникова, А. В. Воронков, Ю. А. Салов, А. П. Ларин, Л. Г. Кныр, А. Г. Лангборт // Вопросы геологии и нефтегазовости Волгоградской области. Л. : Недра, 1965. С. 164—180.

1. Maslyayev A. V. Normativnaya seysmichnost' na territorii Volgogradskoy oblasti s uchetom uproshchennykh tektonicheskikh usloviy // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkhitekt. Vyp. 24(43). Volgograd, 2011. S. 113—119.
2. Ulomov V. I. K voprosu differentsirovannoy otsenki seysmicheskoy opasnosti na territorii Rossiyskoy Federatsii // Seysmost. str-vo. Bezopasnost' sooruzheniy. 2012. № 4. S. 41—49.
3. Sovremennaya dinamika litosfery, kontinentov. Metody izucheniya / Pod red. L. A. Logacheva, V. S. Khromovskikh. M. : Nedra, 1989. 278 s.
4. Khain V. E., Lomize M. G. Geotektonika s osnovami geodinamiki. M. : Izd. MGU, 1995. 480 s.
5. Yudakhin F. N., Shchukin Yu. K., Makarov V. I. Glubinnoe stroenie i sovremennyye geodinamicheskie protsessy v litosfere Vostochno-Evropeyskoy platformy. Ekaterinburg : UrO RAN, 2003.
6. Platonov A. S., Shestoperov G. S., Rogozhin E. A. Utochnenie seysmotektonicheskoy ustanovki i seysmicheskoe mikrorayonirovanie uchastka stroitel'stva gorodskogo mosta cherez r. Volgu v g. Volgograde // Seysmotektonicheskie issledovaniya. IS-96-3-529-12. M. : TsNIIS, 1996.
7. Tektonicheskoe rayonirovanie Volgogradskoy oblasti / G. A. Brazhnikov, A. V. Voronkov, Yu. A. Salov, A. P. Larin, L. G. Knyr, A. G. Langbort // Voprosy geologii i neftegazonosnosti Volgogradskoy oblasti. L. : Nedra, 1965. S. 164—180.

© Масляев А. В., 2013

*Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Масляев А. В. Геологические условия для тектонических разломов на территории Волгоградской области // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 214—219.*

УДК 721.021

**М. С. Мягков**

### **ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ г. ВОЛГОГРАДА**

Рассматривается комплексный подход к выбору климатозащитных мероприятий для природно-климатических условий Волгограда с использованием архитектурно-планировочных средств. Для группы жилых зданий методами математического моделирования показана возможность достижения комфортных ветровых условий. Даны рекомендации для повышения биоклиматической комфортности территории жилой застройки.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** архитектурно-климатический анализ, микроклимат, планировка и застройка, ветровая комфортность, биоклиматическая комфортность, моделирование микроклимата, ENVI-met.

The comprehensive approach to the choice of climate protective actions for natural and climatic conditions in Volgograd with use of architectural and planning means is considered. The author shows the possibility to achieve comfortable wind conditions for the group of residential buildings by the methods of mathematical modeling. Recommendations for increase of bioclimatic comfort on the territory of residential development are given.

**K e y w o r d s:** architectural and climatic analysis, microclimate, planning and building, wind comfort, bioclimatic comfort, microclimate modeling, ENVI-met.

Одним из важнейших моментов организации селитебной застройки в условиях резко континентального климата, характеризующегося сухой жаркой погодой летом и ветреной морозной погодой в зимнее время, является всесторонний учет природно-климатических факторов, во многом предопределяющих индивидуализацию объемно-пространственной композиции градостроительных и архитектурно-планировочных решений.

Разработка архитектурно-планировочных рекомендаций для природно-климатических условий г. Волгограда была выполнена на кафедре «Архитектурной физики» МАРХИ в связи с проведением конкурса архитектурных проектов по реконструкции территории набережной имени 62-й Армии в Центральном районе г. Волгограда. С этой целью был проведен архитектурно-климатический анализ фоновых значений метеозащитных элементов рассматриваемой территории, разработаны общие градостроительные и архитектурно-строительные рекомендации, предложены оптимальные объемно-планировочные решения для новой и реконструируемой застройки. Для оценки микроклимата застройки выполнено математическое моделирование различных вариантов объемно-планировочных решений групп зданий, наиболее приемлемых для природно-климатических условий г. Волгограда.

Моделирование микроклиматических условий застройки выполнялось с использованием программного комплекса ENVI-met v. 3.1, включающего вихреразрешающую негидростатическую аэродинамическую модель, описывающую физические процессы в микромасштабной циркуляции с учетом процессов обмена кинетической энергией, молекулярным и радиационным теплообменом. Модель основана на решении системы уравнений 3-мерного движения вязкой среды (Навье — Стокса), замкнутой уравнением неразрывности. В программном комплексе ENVI-met использованы дополнительные встроенные расчетные схемы, учитывающие влияние на микроклиматические условия растительности, инсоляции, теплофизических характеристик зданий и сооружений, тепло- и влагообмена между воздухом, элементами рельефа и растительностью (почвогрунты, газоны, асфальтовые покрытия и т. д.).

Перечисленные особенности отличают использованную в выполненном исследовании микроклиматическую модель от других используемых в настоящее время моделей, описывающих только вынужденную конвекцию и турбулентность, возникающие при обтекании препятствий (так называемые ночные модели, не учитывающие инсоляционное воздействие). Программная реализация математического аппарата модели выполнена специалистами географического института Рурского университета (г. Бошум, Германия) [1].

На первом этапе исследования был выполнен архитектурно-климатический анализ, являющийся неотъемлемой частью проектного процесса любой стадии проектирования [2]. По результатам этого анализа были сделаны выводы, определившие постановку задачи (начальные и граничные условия) для модельных расчетов.

Исходя из фоновых климатических характеристик, Волгоград можно охарактеризовать как «город двух сезонов» — сухого жаркого лета и холодной ветреной малоснежной зимы, что влечет за собой целый ряд неблагоприятных и опасных природно-климатических факторов, требующих учета при организации городской территории и архитектурном проектировании.

Летом к особо неблагоприятным климатическим условиям можно отнести волны жары при слабых ветрах юго-восточной четверти или при штиле. При этом индекс биоклиматической комфортности территории города резко снижается. Возникает опасность теплового удара, особенно при сочетании высокой температуры воздуха с высокой влажностью и низкой скоростью ветра. Вследствие этого существенно ограничивается допустимое время занятий с высокой физической активностью — спорт, физическая работа со средней и высокой нагрузкой. Неизбежен также перегрев внутренней среды зданий. Кроме того, в летние месяцы могут наблюдаться пыльные бури (0,4 дня в году) и суховеи при средних и даже слабых ветрах восточной четверти. Запыленность воздуха на территории города может в несколько раз превышать ПДК содержания взвешенных веществ для территории населенных мест.

Также в летние месяцы могут наблюдаться шквалистые ветры западной четверти с обильными осадками, иногда в виде града. При этих явлениях возникает угроза не только здоровью, но и жизни горожан. Возможны механические повреждения инженерных сооружений, легких конструкций и зеленых насаждений.

Для зимнего периода особенно неблагоприятны сильные холодные ветры преимущественно северо-восточной четверти. В таких условиях у населения, находящегося на территории городской застройки, может развиваться холодовой стресс и возникает опасность обморожения открытых участков кожи. Так, при температуре воздуха  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  и скорости ветра  $10\text{ м/с}$  обморожение открытых участков кожи у взрослого пешехода наступает менее чем через 30 минут [3]. Отсюда возникают ограничения по использованию открытых городских пространств не только для рекреационных целей, но и для ряда повседневных работ и пешеходных перемещений, имеющих сопоставимую продолжительность по времени.

Таким образом, на первом месте среди климатозащитных мероприятий для г. Волгограда стоит ветрозащита городской территории в течение всего года, особенно в зимние месяцы, и защита от перегрева летом в маловетреную погоду. Для Волгограда с его активным ветровым режимом критерием

оптимальности архитектурно-планировочной композиции застройки, в соответствии с рекомендациями, приведенными в [3], является такое ее решение, при котором коэффициент снижения скорости ветра составляет 0,10...0,50. Для этого необходимы разработка и применение специальных ветрозащитных мероприятий, которые должны обеспечивать снижение скорости ветров неблагоприятных направлений. В целом, территория проектируемой застройки должна отвечать требованиям «Технического регламента безопасности зданий и сооружений» [4]. В соответствии с п. 6 статьи 30 этого регламента в пешеходных зонах зданий и сооружений высотой более 40 м должны быть предусмотрены защитные приспособления для обеспечения безопасности пребывания людей в этих зонах при действии ветра.

Для достижения ветрового комфорта рекомендуется применение полужамкнутых и замкнутых групп домов, полужамкнутая часть которых должна быть открыта к благоприятной стороне горизонта, т. е. в подветренном направлении (юг или юго-запад) по отношению к зимним ветрам. В наветренном направлении возможны небольшие разрывы. Приемы замкнутой застройки следует применять только для защиты периметров участков объектов, особенно чувствительных к ветровому воздействию и переохлаждению (ДДУ, школы, учреждения здравоохранения и т. д.). Следует отметить, что примерно по такому принципу и спланирована большая часть опорной застройки центральных районов г. Волгограда.

Этажность в пределах группы зданий или квартала следует делать либо одинаковой (при малоэтажной застройке), либо увеличивать высоту секций и корпусов по направлению неблагоприятного ветрового потока. В таком случае часть ветровых нагрузок, создаваемых нисходящими потоками воздуха, возникающими при обтекании зданий, будет восприниматься не территорией городской застройки, а кровлями более низких секций, расположенных с наветренной стороны. Для общего случая оптимальным является городской skyline в форме холма по направлению наиболее сильных ветров. При реконструкции застройки можно «дополнять» опорную застройку, следуя указанному принципу.

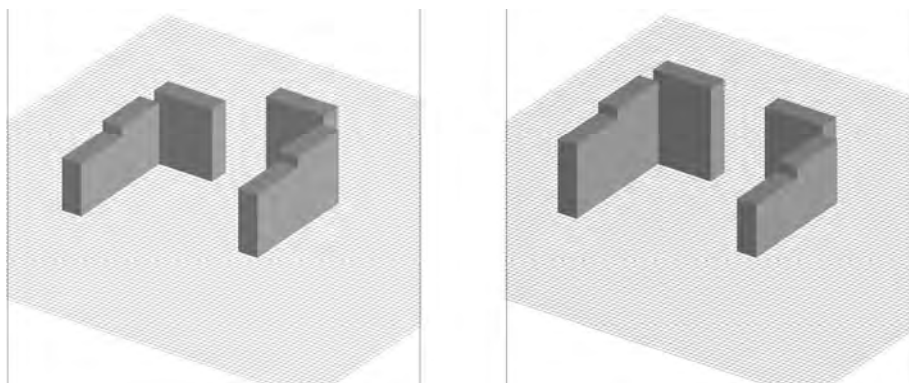
В летнее время ветровой дискомфорт является менее критичным, поскольку при высоких температурах любой ветер благоприятнее штиля, а сильные порывистые ветры летом носят эпизодический характер и связаны с прохождением над городом отдельных мощных кучевых и кучево-дождевых облаков, сопровождающихся ливневыми осадками, которые заставляют горожан находиться в закрытых от ветра и дождя помещениях. Рекреационная зона вдоль берега р. Волги при этих погодных условиях защищена от ветрового дискомфорта высоким склоном долины р. Волги. Для сохранения мелиоративного влияния на микроклимат этой рекреационной зоны акватории р. Волги в проекте ее благоустройства рекомендуется предусматривать планировку, обеспечивающую максимальное сохранение аэрационного потенциала, связанного с двумя мезомасштабными циркуляционными механизмами — горнодолинной и бризовой циркуляцией. Для этого элементы благоустройства (группы зеленых насаждений, малые архитектурные формы, павильоны) следует располагать вдоль набережной «в строчку», ориентируя их оси с северо-запада на юго-восток и сохраняя между ними разрывы не менее 3—4 высот этих объектов. Увеличение высоты объектов должно идти от береговой линии в сторо-

ну набережной, что не только обеспечит их максимальную эффективность, но и будет оправдано с точки зрения сочетания архитектурного решения с естественным ландшафтом первой надпойменной террасы.

Снижение тепловых нагрузок в летнее время, также как и ветровая комфортность, может быть достигнуто только при комплексном подходе к решению этой задачи. Для повышения комфортности внутренней среды зданий в периоды жаркой погоды со слабым ветром целесообразно максимальное использование сквозного и вертикального проветривания внутренней среды. Для этого самым эффективным приемом является устройство квартир двусторонней или угловой ориентации. Естественная вентиляция жилых помещений при слабых ветрах может обеспечиваться за счет эффекта теплового напора при условии применения квартир в двух уровнях, причем нижний уровень должен находиться со стороны менее инсолируемого фасада [5].

Для снижения тепловых нагрузок в периоды волн жары рекомендуется максимальное стимулирование микромасштабной термической конвекции, способствующей вертикальному и горизонтальному перемешиванию воздуха вблизи зданий и сооружений. Для создания такой конвекции целесообразно применение в застройке зданий на колоннах [5], различных по теплофизическим свойствам покрытий рельефа со стороны инсолируемых и неинсолируемых фасадов, а также использование специальных приемов их колористического решения.

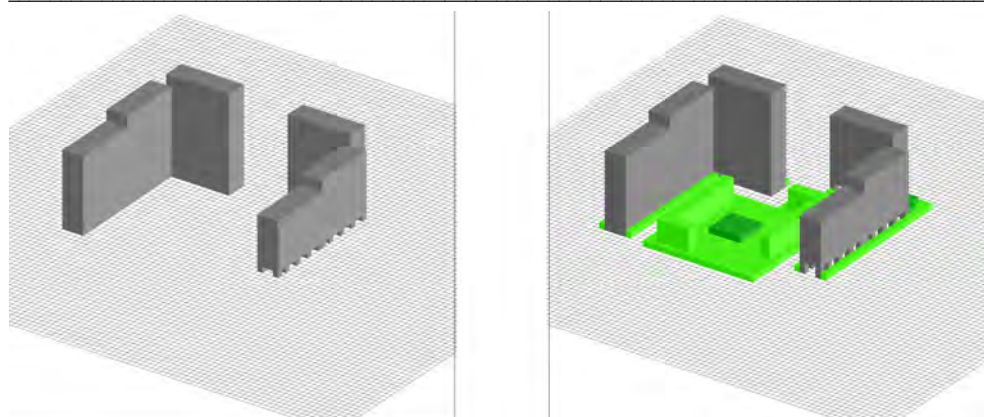
Эффективность перечисленных климатомелиоративных мероприятий оценивалась путем моделирования микроклиматических условий для условной группы из двух жилых трехсекционных зданий переменной этажности (рис. 1) при различной их компоновке. Во всех моделируемых вариантах территория строительства, принцип организации жилой застройки, типы зданий и количество секций (общая поэтажная площадь застройки) оставались общими и постоянными с тем, чтобы наглядно показать, к каким изменениям приводят только специфические (направленные) воздействия, достигаемые различными объемно-планировочными и композиционными решениями. Это позволило оценить возможные варианты планировки и застройки группы жилых домов с учетом влияния природно-климатических условий, используя лишь архитектурно-планировочные и конструктивные средства регулирования микроклимата.



Варианты 1.1, 1.2

Варианты 2.1, 2.2

Рис. 1 (начало). Общий вид моделируемых объектов



Варианты 1.3, 2.3

Вариант 3

Рис. 1 (окончание). Общий вид моделируемых объектов

Всего было выполнено 6 вариантов численного моделирования аэродинамической ситуации и 2 варианта моделирования тепловых нагрузок на внутриквартальную территорию.

Вариант 1.1. Группа из двух зданий переменной этажности — 10, 12, 14 и 14, 16, 18 этажей. Общий вид моделируемого объекта представлен на рис. 1. Направление ветра — восточный, скорость — 5 м/с. Более высокое здание расположено с восточной (наветренной) стороны.

Вариант 1.2. То же, что и вариант 1.1, но более высокое здание расположено с западной (подветренной) стороны.

Вариант 1.3. То же, что и вариант 1.2, но здание с наветренной стороны — на колоннах по первому этажу.

Вариант 2.1. То же, что и вариант 1.1, но при северо-восточном направлении ветра.

Вариант 2.2. То же, что и вариант 1.2, но также при северо-восточном направлении ветра.

Вариант 2.3. То же, что и вариант 2.2, но здание с наветренной стороны — на колоннах по первому этажу.

Вариант 3 был использован для моделирования тепловой нагрузки на организм человека, находящегося на территории застройки при условии ее благоустройства и озеленения.

Сравнение статистических параметров полей ветра для различных вариантов приведено в табл. В ней представлены следующие показатели, характеризующие степень комфортности территории жилой застройки по фактору механического воздействия ветра: минимальная, максимальная и средняя скорости ветра на высоте 1,8 м и  $\sigma_v$  — среднеквадратическое отклонение скорости ветра от среднего значения в узлах расчетного прямоугольника. Этот параметр характеризует контрастность поля ветра и величину ее горизонтальных градиентов. Чем выше значение этого параметра, тем более неравномерным и, следовательно, менее комфортным является ветровая ситуация на территории застройки.



## Статистические параметры полей скорости ветра

| Параметр           | Вариант расчета |       |       |       |       |       |
|--------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                    | 1.1             | 1.2   | 1.3   | 2.1   | 2.2   | 2.3   |
| $V_{\min}$         | 0,01            | 0,04  | 0,04  | 0,03  | 0,09  | 0,06  |
| $V_{\max}$         | 9,44            | 8,72  | 8,57  | 8,95  | 8,55  | 8,52  |
| $V_{\text{средн}}$ | 3,673           | 3,516 | 3,326 | 3,652 | 3,537 | 3,494 |
| $\sigma_v$         | 2,155           | 1,831 | 1,843 | 1,761 | 1,653 | 1,689 |

Результаты некоторых вариантов расчета представлены на рис. 2—5. Сравнение результатов расчетов показывает, что при ветрах восточной четверти наиболее оптимальным является вариант объемно-планировочного решения, когда более высокое здание расположено с подветренной стороны. При этом поле ветра в приземном слое на территории застройки характеризуется меньшими средними скоростями и меньшей контрастностью. С другой стороны, исключаются зоны полного застоя воздуха. Применение колонн по первому этажу здания, расположенного с наветренной стороны, приводит к снижению средней и максимальной скорости ветра в среднем по участку застройки, что также улучшает условия ветрового комфорта.

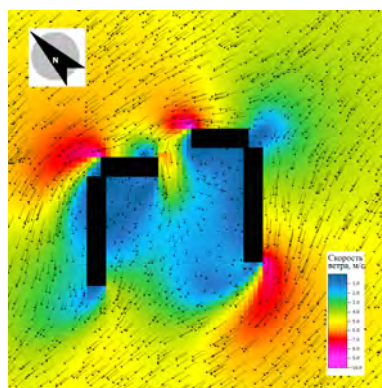


Рис. 2. Результаты расчета по варианту 1.1: скорость ветра в приземном слое при фоновом восточном ветре 5 м/с и расположении более высокого здания с восточной (наветренной) стороны

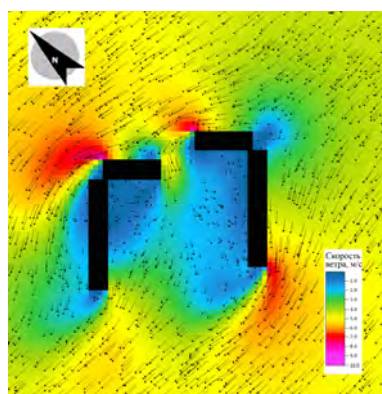


Рис. 3. Результаты расчета по варианту 1.2: скорость ветра в приземном слое при фоновом восточном ветре 5 м/с и расположении более высокого здания с западной (подветренной) стороны

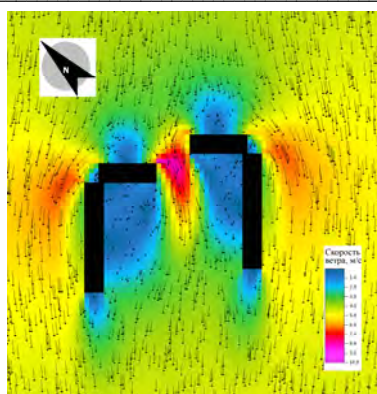


Рис. 4. Результаты расчета по варианту 2.2: скорость ветра в приземном слое при фоновом северо-восточном ветре 5 м/с и расположении более высокого здания с западной стороны

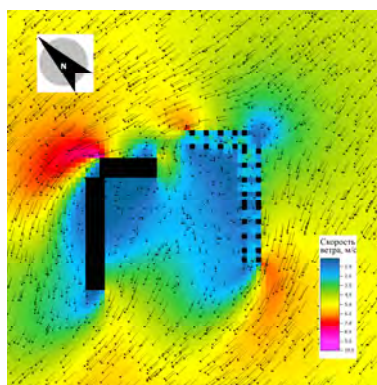


Рис. 5. Результаты расчета по варианту 1.3: скорость ветра в приземном слое при фоновом восточном ветре 5 м/с и расположении более низкого здания на колоннах по первому этажу с восточной (навстречной) стороны

При размещении более высокого здания с наветренной стороны — традиционном приеме ветрозащитной застройки [6, 7] — снижение скорости ветра вплоть до полного застоя воздуха становится заметным лишь непосредственно в ветровой тени этого здания, а на остальной территории, включая территорию прилегающей опорной застройки, ветровой дискомфорт заметно усиливается. Отсюда следует, что такую группу зданий целесообразно проектировать только в том случае, если она расположена обособленно (не имеет поблизости опорной жилой застройки) и при условии ограничения использования участков, примыкающих к углам наветренных фасадов ветрозащитных зданий.

Как указывалось выше, для рекомендуемого объемно-планировочного решения группы зданий (см. рис. 1, вариант 1.3, 2.3) было дополнительно выполнено численное моделирование тепловой нагрузки на организм человека, выражаемой через индекс биоклиматической комфортности PMV [8], учитывающий следующие параметры: температуру и влажность воздуха, скорость ветра, радиационную температуру, степень метаболического тепловыделения и теплоизоляционные свойства одежды. Расчет выполнен для условий жаркой погоды со слабым юго-восточным ветром ( $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $v = 0,5\text{ м/с}$ ). При этом

внутридворовое пространство виртуальной модели застройки было заполнено элементами озеленения — газонами, древесными насаждениями по периметру двора и кустарниками в группах по его центру (см. рис. 1, вариант 3). Результаты расчетов по этому варианту представлены на рис. 6, из которого видно, что при погодных условиях «волн жары» большая часть территории застройки характеризуется перегревными условиями ( $PMV > 2$ ). Однако ограничение фактора видимости неба и озеленение территории эффективно влияют на снижение тепловой нагрузки — на озелененных территориях и в тени зданий значение индекса  $PMV$  находится в пределах 0,5...2,0 для уровня метаболического выделения пешехода, одетого по-летнему (брюки и рубашка или легкое летнее платье). Значения индекса  $PMV$  в этих пределах соответствуют условиям комфорта или легкого перегрева. Для уровня метаболического тепловыделения сидящего человека (площадки тихого отдыха) значение индекса  $PMV$  будет находиться в зоне комфортности (+1...–1). Без учета движения воздуха, возникающего за счет термической конвекции вокруг зданий, значение индекса  $PMV$  увеличится на 0,5...1,0, т. е. будет соответствовать среднему и сильному перегреву. Это подтверждает высказанный ранее тезис о необходимости стимуляции термической конвекции за счет архитектурно-строительных приемов и комплексного озеленения территории застройки.

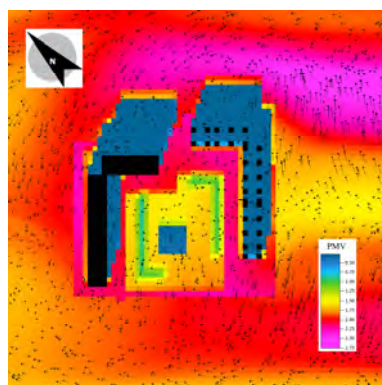


Рис. 6. Результаты расчета по варианту 3: значения индекса  $PMV$  на территории застройки, векторами показано направление ветра в приземном слое, длина вектора пропорциональна скорости движения воздуха

Таким образом, проведенный архитектурно-климатический анализ и сделанные на его основе выводы, а также результаты моделирования микроклиматической ситуации территории жилой застройки в природно-климатических условиях г. Волгограда показали, что ветровая комфортность территории застройки может резко изменяться даже при незначительных изменениях направления ветра (в пределах одного румба) и компоновке группы зданий. Из этого следует, что разработка климатозащитных мероприятий должна осуществляться по принципу поэтапного нюансирования архитектурно-планировочного решения для всех стадий проектной подготовки — от проектов застройки (реконструкции) районов и до проектов строительства отдельных зданий и сооружений.

Климатомелиоративные мероприятия, направленные на снижение тепловой нагрузки, также требуют комплексного подхода, состоящего в организации тщательно продуманной системы озеленения в сочетании с архитектурно-

планировочными мерами, направленными на сохранение аэрационного потенциала застройки и максимального стимулирования микромасштабной термической конвекции.

В результате, даже в таких сложных, контрастных природно-климатических условиях, в которых находится г. Волгоград, можно найти способы достижения относительной микроклиматической комфортности при использовании всей палитры возможностей, предоставляемых архитектурно-планировочными приемами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bruse M. Die vorliegende Dokumentation beschreibt die aktuelle Version von ENVI-met inklusive der vorgenommenen Änderungen. (Einzelne Abschnitte können hierbei noch von der aktuellen Version abweichen). URL: <http://www.envi-met.com/documents/Envimet30.PDF>. 2004. 144 ss. (дата обращения: 18.01.2013).

2. Рекомендации по учету природно-климатических факторов в планировке, застройке и благоустройстве городов и групповых систем населенных мест. М. : ЦНИИП градостроительства, 1980. 150 с.

3. Город, архитектура, человек и климат / М. С. Мягков, Ю. Д. Губернский, Л. И. Конова, В. К. Лицкевич ; под ред. М. С. Мягкова. М. : Архитектура-С, 2007. 344 с.

4. Технический регламент безопасности зданий и сооружений от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ.

5. Фирсанов В. М. Архитектура гражданских зданий в условиях жаркого климата. М. : Высшая школа, 1982. 248 с.

6. Лицкевич В. К. Жилище и климат. М. : Стройиздат, 1984. 288 с.

7. Вайсман А. А. Градостроительство и ветер. С-Пб. : Издательство Буковского, 2000. 232 с.

8. ISO 7730:2005(E). Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. ISO Switzerland, 2005. 60 p.

1. Bruse M. Die vorliegende Dokumentation beschreibt die aktuelle Version von ENVI-met inklusive der vorgenommenen Änderungen. (Einzelne Abschnitte können hierbei noch von der aktuellen Version abweichen). URL: <http://www.envi-met.com/documents/Envimet30.PDF>. 2004. 144 ss. (дата обращения: 18.01.2013).

2. Rekomendatsii po uchetu prirodno-klimaticheskikh faktorov v planirovke, zastroyke i blagoustroystve gorodov i gruppovykh sistem naselennykh mest. M. : TsNIIP gradostroitel'stva, 1980. 150 s.

3. Gorod, arkhitektura, chelovek i klimat / M. S. Myagkov, Yu. D. Gubernskiy, L. I. Konova, V. K. Litskevich ; pod red. M. S. Myagkova. M. : Arkhitektura-S, 2007. 344 s.

4. Tekhnicheskii reglament bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy ot 30.12.2009 g. № 384-FZ.

5. Firsanov V. M. Arkhitektura grazhdanskikh zdaniy v usloviyakh zharkogo klimata. M. : Vysshaya shkola, 1982. 248 s.

6. Litskevich V. K. Zhilishche i klimat. M. : Stroyizdat, 1984. 288 s.

7. Vaysman A. A. Gradostroitel'stvo i veter. S-Pb. : Izdatel'tvo Bukovskogo, 2000. 232 s.

8. ISO 7730:2005(E). Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. ISO Switzerland, 2005. 60 p.

© Мяков М. С., 2013

Поступила в редакцию  
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Мяков М. С. Пример моделирования микроклиматических условий для г. Волгограда // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 220—228.

УДК 502:69

**О. П. Сидельникова****ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

Естественные радионуклиды делают основной вклад в дозу облучения населения. Поэтому разработка национальной законодательной и нормативно-правовой документации по снижению их влияния, обоснованию уровней вмешательства, в соответствии с международными стандартами, является необходимой для принятия практических решений обеспечения радиационной безопасности населения.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** экологическая безопасность градостроительства, естественные радионуклиды, радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий, уровни облучения населения, эффекты малых доз ионизирующего излучения, принципы радиационной безопасности, ограничение облучения населения в жилых и общественных зданиях.

Natural radionuclides make an main contribution to a radiation dose of the population. Therefore the development of national legislative and regulatory documentation on decrease on their influence, basis for intervention levels, according to the international standards, is necessary to make practical decisions for assurance of radiation safety of the population.

**К e y w o r d s:** ecological safety of town planning, natural radionuclides, radiation and hygienic certification of the organizations and territories, levels of radiation of the population, effects of small ionizing radiation doses, principles of radiation safety, radiation restriction of the population in residential and public buildings.

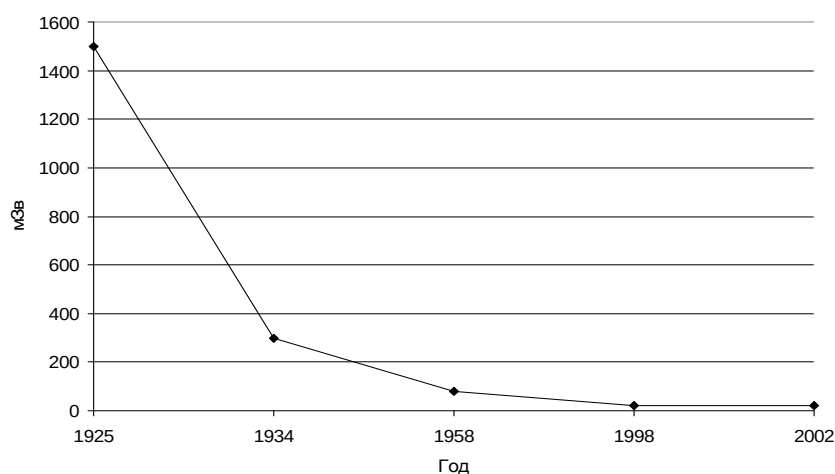
В обеспечении экологической безопасности градостроительства и повышении эффективности использования территории все больше внимания уделяется естественной радиоактивности, хотя для многих регионов страны она остается открытой. По данным Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) и Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) при ООН, наибольшая часть дозы облучения (около 80 % от общей), получаемой населением в обычных условиях, связана с естественными радионуклидами (ЕРН) [1]. ЕРН присутствуют практически во всех объектах окружающей среды и в организме человека. Ионизирующее излучение создает радиационный фон. В облучении человека наиболее существенное значение имеют ЕРН уранового и ториевого ряда (материнские радионуклиды  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и  $^{40}\text{K}$ . В помещении человек подвергается воздействию как внешнего гамма-излучения, обусловленного содержанием ЕРН в строительных материалах, так и внутреннего, связанного с вдыханием содержащихся в воздухе  $^{222}\text{Rn}$  и его дочерних продуктов распада (ДПР). Более половины этой дозы приходится на радон и его ДПР — изотопы  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{212}\text{Po}$  в воздухе, в том числе и в зданиях.

Доклады НКДАР ООН готовятся ведущими экспертами, представляющими практически все развитые страны мира, на основании анализа и обобщения опубликованной научной информации по оценке доз облучения людей всеми источниками ионизирующего излучения (как природного, так и искусственного происхождения) и оценке ожидаемых последствий этого облучения [2]. Доклады НКДАР ООН отражают мировой уровень знания этих вопросов. Они используются в качестве базовых материалов при обосновании рекомендаций МКРЗ и стандартов радиационной защиты Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), на основании которых разрабатываются национальные нормы и правила обеспечения радиационной безопасности.

Для России доклады НКДАР ООН имеют большое значение в связи с начатой в 1998 году работой по радиационно-гигиенической паспортизации организаций и территорий. Сравнение уровней облучения населения регионов России и его отдельных групп разными источниками ионизирующего излучения со среднемировыми данными позволяет судить об уровне (качестве) обеспечения радиационной безопасности россиян по сравнению с уровнем, достигнутым в мире. Кроме того, способы оценки доз от всех источников излучения, значения дозовых коэффициентов, используемых при ведении радиационно-гигиенических паспортов, должны соответствовать принятым в мире.

В 1977 г., в целях повышения уровня безопасности при использовании ионизирующего излучения и исходя из современных представлений о действии малых доз радиации, МКРЗ приняла концепцию беспороговой линейной зависимости возникновения злокачественных новообразований и генетических повреждений при нормировании радиационного фактора и оценки возможных неблагоприятных для здоровья отдаленных последствий облучения.

В послечернобыльское время в процессе ужесточения радиационных норм в 1990 г. произошло очередное устрожение международных норм, после чего максимально безопасная эффективная доза для персонала, работающего с радиоактивными веществами, снизилась в 78 раз по сравнению с впервые установленной в 1925 г. [3]. Судя по хорошо прослеживающейся тенденции, этот процесс снижения допустимых доз облучения будет продолжаться и в дальнейшем (рис.).



Изменение представлений о величине безопасной максимальной эквивалентной дозы для персонала, работающего с радиоактивными веществами в XX в.

За последние годы произошло еще одно очень важное изменение наших взглядов в области малых доз. Проблеме эффектов малых доз ионизирующего излучения посвящено значительное число исследований. Наибольший интерес представляют сведения о биологических эффектах в дозах не выше 1 Зв. Принято считать, что главные последствия малых доз на многоклеточный организм являются неблагоприятными. Существование пороговых доз для канцерогенов не доказано. Предполагается, что не существует пороговых

доз, ниже которых вообще отсутствует всякий риск, а известный принцип радиационной безопасности — принцип оптимизации — состоит в том, что воздействие на отдельных лиц и группы населения следует поддерживать на как можно более низком реально достижимом уровне. Все большее число исследователей приходит к выводу о реальности сформулированного в 1950-е гг. так называемого эффекта Петко: малые дозы радиации, получаемые организмом на протяжении длительного периода, приводят к более серьезному поражению, чем такая же доза, полученная за более короткий период.

Работами школы проф. Е. Б. Бурлаковой убедительно доказано, что не существует монотонной зависимости «доза — эффект»: в зоне сверхмалых доз облучения происходит заметное возрастание чувствительности организма к облучению.

Все эти теоретические рассуждения нашли свое подтверждение на территориях, пораженных чернобыльским выбросом.

Основными принципами обеспечения радиационной безопасности населения являются:

1) принцип нормирования — непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;

2) принцип обоснования — запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучением;

3) принцип оптимизации — поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения.

Реализация первого принципа осуществляется путем обязательного лицензирования деятельности, связанной с возможным воздействием на людей ионизирующего излучения.

Второй принцип реализуется путем автоматизации технологических процессов, оптимизации труда и введения системы контрольных уровней. Контрольные уровни — это значения дозовых пределов и допустимых уровней, устанавливаемых руководством учреждения (предприятия) и местными органами Госсанэпиднадзора в целях максимально возможного снижения радиационного воздействия на персонал, население и объекты окружающей природной среды по отношению к регламентируемым нормативам и исходя из достигнутого уровня радиационной безопасности.

Третий принцип реализуется путем осуществления государственного надзора за обеспечением радиационной безопасности и установленным порядком ответственности за превышение регламентируемых дозовых пределов. Радиационная безопасность персонала, населения и окружающей природной среды считается обеспеченной, если соблюдаются основные принципы радиационной безопасности (обоснование, оптимизация, нормирование) и требования радиационной защиты.

Одним из основополагающих положений нормирования радиационной защиты в России является соответствие их Международным стандартам радиационной безопасности, что подтверждено Законом РФ «О радиационной

безопасности населения» (1996 г.). Это обусловлено необходимостью международной интеграции технологического развития, экономики и торговли [4]. Закон решил первоочередные проблемы законодательного регулирования отношений в области обеспечения радиационной безопасности населения РФ. В частности, этот закон

стал правовой основой ряда постановлений Правительства, актов федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации и федеральных целевых программ в области радиационной безопасности;

получил развитие в нормативных правовых актах, устанавливающих санитарно-эпидемиологические требования в области обеспечения радиационной безопасности;

ускорил переход на новые принципы нормирования, сформулированные в современных рекомендациях Международной комиссии по радиологической защите и Международных основных нормах безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасности источников излучений;

отразил озабоченность общества, порожденную чернобыльской аварией, в связи с проблемами, возникающими в результате радиационных аварий;

стимулировал улучшение обеспечения радиационной безопасности всех категорий населения России, в том числе специалистов, непосредственно занятых на работах с источниками ионизирующих излучений.

Приняты также нормативно-методические документы: «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009», «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» ОСПОРБ-99/2009; санитарные правила «Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов» СП 2.6.1.798-99, «Свод правил по инженерным изысканиям для строительства» СП 11-102-97, «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов» ГОСТ 30108-94 и другие документы.

В нормативных документах содержатся требования по ограничению облучения населения в жилых и общественных зданиях: нормативы и уровни вмешательства по мощности дозы гамма-излучения и среднегодовой объемной активности дочерних продуктов радона в проектируемых (строящихся) и существующих зданиях; нормативы радиоактивности стройматериалов, используемых в разных видах строительства; критерии оценки участков застройки по мощности дозы гамма-излучения и потоку радона с поверхности грунта. Эти источники излучения охватывают все природные источники, облучение от которых возможно снижать путем проведения разумных защитных мероприятий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мананков А. В., Сафонова Е. В. Естественная радиоактивность территории, строительных материалов и зданий г. Томска // Урбанизация и социум. 2007. № 4. С. 25—28.
2. Крисюк Э. М. Уровни и последствия облучения населения // АНРИ. 2002. № 1. С. 4—12.
3. Сидельникова О. П. Ограничение облучения работников предприятий природными источниками ионизирующих излучений // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 25(44). С. 159—163.
4. Яблоков А. В. Нерешенные проблемы ядерной энергетики: взгляд эколога // Материалы науч. конф., посвященной 85-летию академика А. Л. Яншина, «Глобальные экологические проблемы на пороге XXI века». М. : Наука, 1998. С. 251—261.



1. Manankov A. V., Safonova E. V. Estestvennaya radioaktivnost' territorii, stroitel'nykh materialov i zdaniy g. Tomska // Urbanizatsiya i sotsium. 2007. № 4. S. 25—28.
2. Krisyuk E. M. Urovni i posledstviya oblucheniya naseleniya // ANRI. 2002. № 1. S. 4—12.
3. Sidel'nikova O. P. Ogranichenie oblucheniya rabotnikov predpriyatiy prirodnymi istochnikami ioniziruyushchikh izlucheniya // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkhitekt. 2011. Vyp. 25(44). S. 159—163.
4. Yablokov A. V. Nereshennyye problemy yadernoy energetiki: vzglyad ekologiya // Materialy nauch. konf., posvyashchennoy 85-letiyu akademika A. L. Yanshina, «Global'nye ekologicheskiye problemy na poroge KhKhI veka». M. : Nauka, 1998. S. 251—261.

© Сидельникова О. П., 2013

*Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Сидельникова О. П. Экологические аспекты строительной отрасли // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 229—233.*

УДК502.3:504.5:662.6/.7:711

**С. А. Чебанова, В. И. Воробьев**

### **ВЫЯВЛЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ОПАСНЫХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ЗОН ОТ ДЫМОВЫХ ВЫБРОСОВ ТЕПЛОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Освещается вопрос выявления опасных зон загрязнения атмосферного воздуха от дымовых выбросов Волгоградской ТЭЦ-2 за границей санитарно-защитной зоны. Рассмотрены варианты организации зоны загрязнения с точки зрения эколого-градостроительных требований.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** дымовые выбросы, загрязнение атмосферного воздуха, опасная зона загрязнения атмосферного воздуха, тепловые энергетические предприятия, эколого-градостроительные требования, санитарно-защитная зона.

The issue of detection of dangerous zones of air pollution by smoke emissions of the Volgograd Thermal Electric Power Station 2 beyond the border of sanitary protective zone is covered in the article. The ways of organization of a zone of pollution from the point of view of ecological and town-planning requirements are considered.

**К e y w o r d s:** smoke emissions, air pollution, dangerous zone of air pollution, thermal power enterprises, ecological and town-planning requirements, sanitary protective zone.

Наибольший научный интерес представляет информация о загрязнении атмосферного воздуха не только на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ), но и за ее пределами в городской застройке.

Во время исследований в районе расположения объекта теплоэнергетики было выдвинуто научное предположение, что при наложении факельных выбросов от двух дымовых труб Волгоградской ТЭЦ-2 создается ситуация, при которой возможен рост приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосфере выше установленных санитарно-гигиенических нормативов на расстояниях, превышающих установленные границы санитарно-защитной зоны [1]. В связи с чем возможно загрязнение вредными выбросами значительной части селитебной территории [2].

Выявление зон загрязнения атмосферного воздуха за границей СЗЗ позволит разработать методы и средства защиты населения от загрязнения городской среды (рис. 1).



Рис. 1. Натурные исследования по выявлению зон загрязнения атмосферного воздуха

В соответствии с действующим СанПиН [1] гл. 7.1.10 «Производство электрической и тепловой энергии при сжигании минерального топлива» класс III п. 1., и учитывая п. 3.4, исследуемое тепловое предприятие относится к III классу опасности и должно иметь СЗЗ в 300 м от источника выброса.

Отбор проб воздуха произведен в шести точках в западном и северо-западном направлениях от ТЭЦ, так как в этом направлении возможно полное наложение подфакельных выбросов (рис. 2).

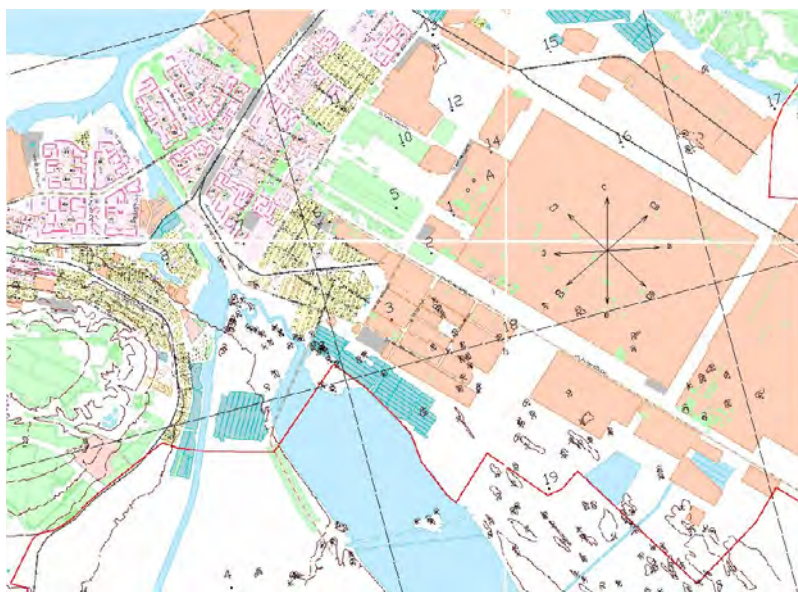


Рис. 2. План-схема размещения точек подфакельных наблюдений: 1...19 — точки отбора проб воздуха; А — исследуемое тепловое энергетическое предприятие (Волгоградская ТЭЦ-2)

Всего отобрано 380 проб на  $\text{NO}_2$  и 380 проб на  $\text{SO}_2$ .

При определенных направлениях ветра (восточное, юго-восточное и южное) в зону загрязнения попадают жилые районы, жители которых подвергаются воздействию повышенных концентраций вредных ингредиентов. В течение года в зону максимального загрязнения попадает 35 % жилой застройки Красноармейского района г. Волгограда.

На втором этапе выявления зон загрязнения атмосферного воздуха проводились некоторые расчеты (рис. 3) [3, 4].



Рис. 3. Расчетный эксперимент по выявлению зон загрязнения атмосферного воздуха

Расчет загрязнения атмосферного воздуха ведется по методике [5]. При анализе результатов экспериментальных и расчетных данных видны значительные отличия данных по величинам приземных концентраций. Наибольшие расхождения наблюдаются в точках, которые располагаются по направлению вектора, соединяющего центры двух дымовых труб ТЭЦ и совпадающего с направлением ветра [6] (рис. 4).



Рис. 4. Наложение вектора, соединяющего центры двух источников с вектором направления ветра

Разница прослеживается по основным исследуемым веществам  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и ощутима на больших расстояниях (точка 4 — около 6 км) от источника выброса.

Таким образом, можно отметить, что влияние наложения факельных выбросов от высоких близко расположенных нагретых источников, когда вектор направления ветра совпадает с вектором, соединяющим центры источников (труб), ощутимо в точках, лежащих по этому вектору, менее ощутимо в расчетных точках, находящихся под углом  $45^\circ$  по и против часовой стрелки от вектора, и не ощутимо в расчетных точках, находящихся под углом  $90^\circ$  и более по и против часовой стрелки от вектора.

В существующих моделях расчета загрязнения атмосферного воздуха наложение дымовых факелов не учтено, что может приводить к искажению действительных данных.

Полученные натурные и экспериментальные данные позволяют разработать рекомендации с учетом особенностей планировочной структуры города, типов застройки селитебных зон, прилегающих к ТЭЦ, и планировочных решений размещения источников выбросов (дымовых труб) в пределах энергопредприятий.

На основании полученных данных формируются комплексные рекомендации для учета вышеперечисленных факторов, которые могут быть использованы при решении вопросов реконструкции сложившихся городских застроек.

Комплексная оценка состояния окружающей среды (СОС) позволила выработать концепцию формирования планировочной структуры застройки, в соответствии с уровнями проектирования: генеральный план района, проект черты городских поселений, проект планировки и застройки элементов планировочной структуры.

В комплексную оценку СОС входят следующие этапы:

1. Разработка базы данных для изучаемого района с информацией географических, метеорологических, топографических, демографических, промышленно-технологических и других данных.
2. Инвентаризация опасных загрязняющих веществ, выбрасываемых ТЭЦ, и фонового загрязнения.
3. Количественная оценка выбросов ТЭЦ в течение года и анализ риска для населения аварийных выбросов характерных для ТЭЦ ингредиентов  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ .

#### 4. Разработка оперативных мероприятий:

технические;

административно-организационные;

расчетно-теоретические.

Оценка СОС включает в себя процесс идентификации, анализа и прогнозирования негативного воздействия на окружающую среду, а главное здоровье и самочувствие людей.

Моделирование поведения и распространения основных вредных веществ, содержащихся в дымовых выбросах ТЭЦ, путем теоретических вычислений предлагается использовать для прогнозирования возможного загрязнения городских жилых районов в будущем и для оперативного контроля. Кроме этого, появилась возможность определения вероятности загрязнения территорий, попадающих в жилые зоны, и количественной оценки предельных уровней концентраций.

В итоге проведена дифференциация городских территорий по уровням экологической нагрузки с разработкой реконструктивных организационно-градостроительных мероприятий:

1) разработка основ формирования системы реконструкции и обустройства жилых территорий, подверженных загрязнению выбросов ТЭЦ;

2) разработка нормативов размещения планировочных и объемных элементов благоустройства и зеленых насаждений в жилой застройке;

3) комплексная оценка и прогнозирование последствий взаимодействия энергетических объектов с окружающей средой городов;

4) классификация элементов городской инфраструктуры по степени экологической опасности;

5) принципы управления техногенным воздействием ТЭЦ на воздушную среду городов (нормативные, законодательные, архитектурно-планировочные).

Учитывая эколого-градостроительных требования, разработаны мероприятия по охране атмосферного воздуха в зонах загрязнения:

1) мониторинг воздушного бассейна, развитие сети постов наблюдения по контролю загрязнения атмосферного воздуха на территории городской застройки, подверженной загрязнению энергопредприятиями;

2) установление для всех источников загрязнения воздушного бассейна уровня предельно допустимых выбросов в составе сводного тома, обеспечивающих нормативные предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосфере городской застройки;

3) организация и озеленение буферных зон между жилыми и общественными территориями и промышленными объектами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200—03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Введ. 15 июля 2003 г. М., 2003.

2. Воробьев В. И. Рассеивание атмосферных загрязнений в районе действия энергетических объектов // Тезисный доклад к всесоюзной науч.-практ. конф. «Город и окружающая среда». Челябинск, 1987. С. 17—18.

3. Унифицированная программа расчета величин концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе : руководство пользователя. СПб., 2001.

4. СНиП 23-01—99. Строительная климатология. Введ. 2000-01-01. М., 2005.

5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий : ОНД - 86 / Госкомгидромет. Л., 1997.

6. Чебанова С. А., Воробьев В. И., Бальчев В. Д. Расчет рассеивания в атмосферном воздухе загрязняющих веществ от предприятий топливно-энергетического комплекса с учетом наложения факельных выбросов от высоких нагретых организованных источников // Вестник Волгогр. гос. архит.-стр. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2010. Вып. 17(36). С. 148—152.

1. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200—03. Sanitarno-zashchitnye zony i sanitarnaya klassifikatsiya predpriyatiy, sooruzheniy i inyykh ob"ektov. Vved. 15 iyulya 2003 g. M., 2003.

2. Vorob'ev V. I. Rasseivanie atmosferykh zagryazneniy v rayone deystviya energeticheskikh ob"ektov // Tezisnyy doklad k vsesoyuznoy nauch.-prakt. konf. «Gorod i okruzhayushchaya sreda». Chelyabinsk, 1987. S. 17—18.

3. Unifitsirovannaya programma rascheta velichin kontsentratsiy zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukh : rukovodstvo pol'zovatelya. SPb., 2001.

4. SNiP 23-01—99. Stroitel'naya klimatologiya. Vved. 2000-01-01. M., 2005.

5. Metodika rascheta kontsentratsiy v atmosfernom vozdukh vrednykh veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatiy : OND - 86 / Goskomgidromet. L., 1997.

6. Chebanova S. A., Vorob'ev V. I., Balychev V. D. Raschet rasseivaniya v atmosfernom vozdukh zagryaznyayushchikh veshchestv ot predpriyatiy toplivno-energeticheskogo kompleksa s uchetom nalozheniya fakel'nykh vybrosov ot vysokikh nagretykh organizovannykh istochnikov // Vestnik Volgogr. gos. arkhит.-str. un-ta. Ser.: Str-vo i arkhит. 2010. Vyp. 17(36). S. 148—152.

© Чебанова С. А., Воробьев В. И., 2013

*Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Чебанова С. А., Воробьев В. И. Выявление и организация опасных с точки зрения эколого-градостроительных требований зон от дымовых выбросов тепловых энергетических предприятий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 234—238.*

## **ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА**

УДК 711.4.01

**S. Bashova, L. Shtefantsova**

### **URBANITY AND CERTAINTY OF PLACES**

Researching aesthetic, functional and socio-cultural significance of historical center within actual urban-planning structure from the point of view of spatial and temporal „readability” of historical place. Also different evaluation criteria of a public urban area quality and level of its urbanity is discovered.

**Key words:** historical centers, place spirit, center capacity, hierarchy, evaluation criteria

*City centre* is usually the most attractive part of the entire city, having the most valuable urban architectural structure. Historical heart of a city has absorbed periods of its evolution and steps of human and social development of those who inhabited it. Walking areas of historical centres accumulate many urban attractions in their courtyards and squares, which have always served as places of rest, gathering and festive ceremonies.

Layers of a city represent its fate, present and past. Legacy of early cultures is hidden in the lowest archaeological streaks; evolution of architectural styles is enshrined in underground levels of buildings, foundations and preserved structures; and modern reconstructions penetrate this integrity, also signifying the arrival of a new generation. There are other layers, too: those pertaining to literature, music, art, politics, religion, theatre, science, etc. — all of which are irreplaceable attributes of history. Both consciously and intuitively, we find here the layers of historical value, places of beauty and attraction, corners and crossroads, open spaces and halls — layers full of meaning and history, both early and late one.

*Central square*, interior of a house in the heart of a city opens its doors to native citizens of the city, as well as its guests. City centres offer this room, this urban interior — a coulisse — with square being the „scene“, thus presenting the city’s culture, art, historical layers of styles and concepts. The most attractive landmark of Venice, which offers much to see, including stands of craftsmen and merchants. The atmosphere of the place is also treated by pigeons used to being fed by people (pic. 1).

Pedestrian zones direct people from streets to a square: pavement is a „carpet“ guiding them to their target. Colourfulness, structure and form of the pavement’s pattern support the walking direction, and even though not crucial, these factors accompany the guests and remain in their memory as one of the highlights. People come and go — pavement stays; story changes — pavement lingers on; and so does the square. Pavement is the first layer of the square; it is the one

laid down upon historical traces, in the bowels of the soil, and is a sort of division between the past and the present: one can forget the past while walking on it and go on; one can also stop and think for a while.



Pic. 1. Venice. Piazza San Marco. Photo: Lucia Štefancová, august 2012

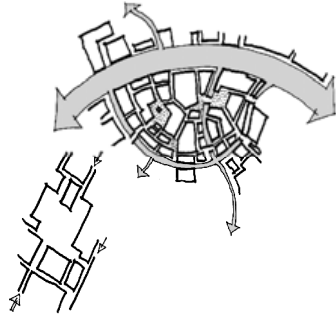
A modern person living in a city, a random passerby, or an everyday tourist — all have a need to live and walk around beautiful heart of a city, stride along its layers and find satisfaction in its nooks and shelters.

*City.* The sense of certainty and security in a pedestrian zone depends on the proper scale, clear concept of composition, visibility of points of reference and explicitness of one or more landmarks. It is also a certainty of actions taking place in open space, where a visitor is looking for a specific setting, secure outdoor areas, or a liveliness of shopping lanes, and wants to be sure to find it. Those are also places of recovery, such as green areas and fountains, which offer a luxury of rest in an urban environment. Map depicting orientation of pedestrians in the city. Orientation is based on the principle of alternation of public areas (narrow walkways lead to wider streets and squares, and vice versa; they do not dominate over architectural structures, such as churches and temples). From narrow walkways it is almost impossible to see church towers and other landmarks assisting in orientation (pic. 2). Scheme of historical centre documenting orientation of pedestrians in the city. Orientation is based on the principle of equal profiles of public areas, from where landmark architectural structures (churches and temples), or their towers, are visible. These can be seen from different angles and points of view, this alluring pedestrians to squares on which these landmarks are positioned (pic. 3).

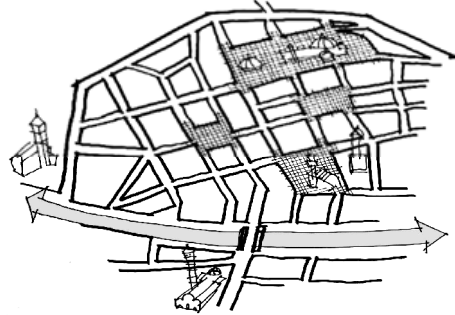
Spirit of a place — its *genius loci* — is a footprint of visible and invisible historical layers of this locale. These footprints have left a significant mark and a valuable memory. Place's character, from the urban point of view, depends on the type of its basic foundation: geometry, ergonomics, free forms and their combination, ground plan and tectonics. The character of a place affects very significantly



the memorability and identity of that place in visitor's mind. Apart from its form, the character of a place is also established by its presentation: lively, vibrant, dynamic, relaxing, quiet or a composite type of a locale and its function.



Pic. 2. The scheme of moving direction on transitional roads in Venice



Pic. 3. The scheme of moving direction on transitional roads in Florence

*Compactness.* Integrity of urban planning and clarity of streets, squares, courtyards, city blocks and passages,... all of these are properties characterizing historical city centre, making it „readable“ and clear from the point of view of orientation and identity. The tectonics here are solid and clear, streets and squares are well defined; buildings' facades identify each one of them, separate frontages from courtyards, public areas from semi-public and private ones. Compact urban planning of European cities separates the inner core of the city from a wider centre, defines the face of „downtown“ and distinguishes it from the rest of the city, basically separating the historical city centre from the rest of the more contemporary urban structures.

*Clarity of spaces.* Attribute of clarity is very tightly connected with the character of compactness of the inner city. Medieval conglomerates of cities were, on the one hand, an entanglement of tight streets and irregular blocks; they, however, had a direction, routing and destination. Reconstructions that took place during the Renaissance brought clearer composition, lightened spaces, greenery and water. Orientation and axial character of street corridors, as well as points of destination (city squares), have become even more highlighted. The inner city is held together by tiny passages, shortcuts, junctions with a shadow and protection. Passages add up to the network of streets; they are the highly sought spaces that allow to quickly passing through or resting inside. Clarity of city blocks, their facades, modeling and structure are the result of junctions of buildings, their binding and proportions. They separate public areas from semi-public areas and courtyards, exterior from interior; they are an edge allowing for parterres to be placed on ground levels or to be related to the ground levels of buildings.

*Hierarchy of areas.* Inner city has its clearly defined small, medium and big main squares, narrow, average and wide street corridors, less outlined city blocks and their facades, and of course the most representing facades in the place where urban architecture reaches its climax. From simplicity to complex structures, from bottom blocks to the accents, and from accents to the landmarks. Vertical structures and their importance for individual fragments of the inner city gives an observer a sense of certainty in movement, clarity of goals and ability to differentiate between the meaning of each city area.

*Complexity of urbanity.* A city centre creates a small world of its own, a city within a city, a complex self-sufficient unit. Accommodation, work, rest, culture and commerce — all elements are accessible and are hierarchically grouped. Urbanity dominates here, yet there is no lack of water and greenery. A medieval city was smartly planned and self-sufficient. This is also evident nowadays. Capacity of centre's areas is enough for new waves of inhabitants and tourists. City centre is timeless.

*Going to town.* The expression of „going to town“ has been around for as long as one can remember. When an inhabitant is a „member“ of a city, he or she says „going to town“ with the following meaning: visiting historical centre of the city. This meaning has its own reason; most of inhabitants of a city live in boroughs surrounding the city centre, and those used to be rural areas in the past. This concept has been used from generation to generation. To an urban person the words „city“ or „town“ mean a combination of people, tempo, rush, public transportation, streets leading towards the centre, junctures, accessibility of services and work opportunities, coffee places and life in general [1]. The aforementioned attributes of each city generally belong to its city centre, which enhances the meaning of „going to town“ even more.

In a city, life on foot proceeds according to diverse schemes, and is directed in accordance with the meaning of walking directions of individuals and groups. Nevertheless, research of attendance of areas in a city may point out the hottest places, which are visited the most, and are more popular and sought due to their practical and functional character, as well as attractiveness, composition and artistic level of urbanity in that particular place. Here most on-foot activities, experiences and interactions take place. Squares, promenades, zones, routes, streets, courtyards and river banks are usually the ones that host these activities. Boulevards and architectural groups can be added to the list as well. The most typical city area is its square. It is a meaningful place, where meetings take place, and urbanity is at its peak. When one observes the activities of people at a square, the following steps may be observed:

one goes to a square as a destination, then to a concrete place linked with expectations, and finally to one's associations and memories of earlier visits.

Squares provide for a great meeting place. Already in earlier history, events, which led to freer city structure (coronations, concerts, theatres, markets, etc.), were of a highly social character, which also remains to be true nowadays, in both original and new forms. Thus, one walks towards a goal on his or her own, and meets people on the way; or one walks towards a goal together with others, or even with people to meet other people. One may prefer being alone in a lonely place, loneliness among people or social interaction with others. One experiences special moments: comfort (or discomfort) on a square, experience of activities, rest, lingering and waiting.

Depending on one's goal, visitor's activity and time spent on a square may change. Apart from precisely defined direction (functional direction, errands, visiting of objects, etc.), one can also pass through a square without stopping, or take one's time on a square as a part of a goal. Short-time, longer, or a long-term stay are evidence of interest one pays to a location, its urbanity, architectural modeling, design, exterior, as well as social events taking place there, planning of meetings, unexpected encounters with random pedestrians, tourist activities in connection to atmosphere of a square in that particular moment in a day or a year season.

After a scenic experience of passing through or stopping at a particular place, one leaves a square, moves on along „bowels“ of a city, keeping memory of a place he or she has just visited.

The encountered place, depending on the level of functional attractiveness and general quality, becomes a place where visitors keep coming back. Urban tourism is becoming more popular, and living in high quality urban areas becomes more meaningful (pic. 4).



Pic. 4. Cyclic diagram „Going to town“. Authors Silvia Bašová, Lucia Štefancová, november 2012

Downtown keeps, completes and forms its own urban image. A place's image is a summary of feelings, opinions, visions and expectations, which visitors or inhabitants associate with that place. „Image as a part of marketing activities is an impalpable factor, which reflects influence of environment on an organization“ [1]. It becomes a tool of communication, which impacts near environment or target groups and speaks of who we are, or who we want to become.

Formation — creation of place's image is, above all, a communication process, depending on its author and recipient, with multiple channels of communication and possible loss of information during transfer [2]. During the planning of places and public areas, it is important to take into account the fact that urban areas shall be readable not only when being passed by, but also when being remembered. „Spatial and temporal „readability“ shall be equally important“ [3].

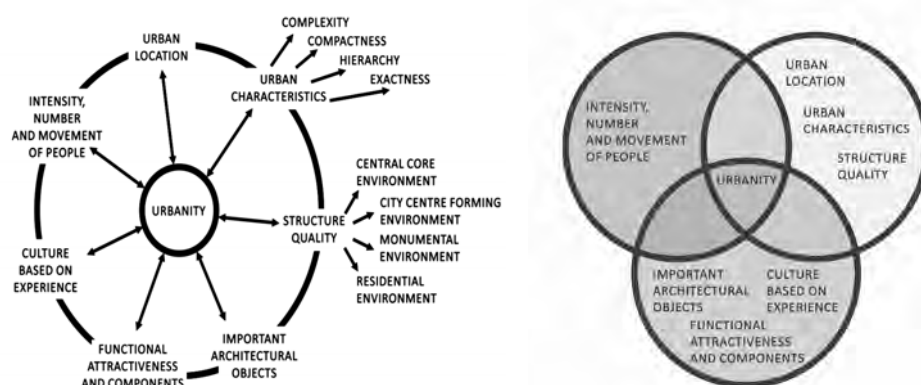
Factors affecting the attitude of visitors towards an urban area (square, street, etc.):

- 1) general impressions with regard to quality and diversity, organization and safety;
- 2) whether area is attractive, orderly, clean, and what kind of people visit it;
- 3) effectiveness, density of crowd, distance between attractions (cultural and sport zones, sales points, etc.), distance from home;
- 4) factors of accessibility by car, public transportations, on foot;
- 5) social aspects, such as character commercial transactions, friendliness of personnel in local branches of businesses.

Factors of memorability and readability of places differ for every person, therefore it is impossible to name them exactly and exhaustively. However, there are places that have long had a particular image in a city. The existing image shouldn't be changed due to the fact that people are prone to choose on the basis of the following criteria (listed below) and believe what they want to believe, instead of getting familiar with objective factors.

Evaluation criteria of quality of a public urban area and level of its urbanity:

- 1) urban position within a city;
- 2) urban characteristics: compactness, uniqueness, hierarchy, complexity;
- 3) quality of a surrounding structure — attractive and memorable environment;
- 4) efficiency of architecture — famous architectural objects in the area;
- 5) well-known functional attractions in the area;
- 6) cultural experience with emphasis on socio-psychological perception of pedestrians;
- 7) intensity, number and movement of visitors in the area (pic. 5).



Pic. 5. Diagrams „Urbanity“. Authors: Silvia Bašová, Lucia Štefancová, november 2012

### Summary

The most favourite places in the historical city centre cores are proof of varying values of areas, streets and squares. They confirm the need of a human to find exteriors for meetings, graceful and comfortable; places that welcome their guests. This also proves the principle of hierarchy of places, architectural formations towards the core of inner city and composition. It confirms the principle of a city defined by streets, blocks, passages, courtyards and squares. Where does a street lead if not to a square? Where does a square lead if not to enriching life in a city?

„People in general have always been cultural, that means that their world and their life is not destined exclusively by nature but mostly by tradition, interaction with others, understanding and free decision” [4].

„The cultural sense of the city lies in the fact, that the city by its external form and internal organization of all its processes, forms an order and by

semantic structure of life of its inhabitants forms the overall context, in which a man finds himself in his daily life” [4].

It is necessary to monitor the quality criteria of public space urban structure, reflecting the degree of urbanity: urban location within the city, compactness, clarity, hierarchy, complexity and quality of the surrounding structures, the effectiveness of architecture — architectural significant buildings, attractive and functional components in a given space, experience culture, harmonious socio — psychological perceptions on the level of pedestrian life, strength, quantity and movement of visitors in the area.

Then a town will be the Town and a square will be the Square. Urbanity will be his certainty.

#### BIBLIOGRAPHY

1. Štefancová Lucia. Statistical research „MESTSKOSŤ-URBANITA“, June-August 2012, number of respondents: 135.
2. Buček J. Urbánny marketing-marketingový prístup k analýze mesta a plánovaniu rozvoja // Komunálna ekonómia a komunálna politika.
3. Imidž slovenských produktov v prostredí európskeho trhu / M. Tajtáková a kol. Bratislava : Ekonóm, 2007. S. 45.
4. Ródríguez, Yolanda María Lomelí. Princípy urbanistickej rekonštrukcie v aglomerovaných sídlach veľkých miest : PhD thesis. Bratislava : Fa STU, 2000. S. 28.
5. Halík P., Kratochvíl P., Nový O. Architektura a město. Academia Praha, 1996. S. 74—76.
1. Štefancová Lucia. Statistical research „MESTSKOSŤ-URBANITA“, June-August 2012, number of respondents: 135.
2. Buček J. Urbánny marketing-marketingový prístup k analýze mesta a plánovaniu rozvoja // Komunálna ekonómia a komunálna politika.
3. Imidž slovenských produktov v prostredí európskeho trhu / M. Tajtáková a kol. Bratislava : Ekonóm, 2007. S. 45.
4. Ródríguez, Yolanda María Lomelí. Princípy urbanistickej rekonštrukcie v aglomerovaných sídlach veľkých miest : PhD thesis. Bratislava : Fa STU, 2000. S. 28.
5. Halík P., Kratochvíl P., Nový O. Architektura a město. Academia Praha, 1996. S. 74—76.

© Bashova S., Shtefantsova L., 2013

Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Bashova S., Shtefantsova L. Urbanity and certainty of places // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 239—245.

УДК 711.4.01

**С. Башова, Л. Штефанцова**

### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ГОРОДА В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ**

С точки зрения пространственной и временной «разборчивости (удобочитаемости)» исторического места рассмотрены вопросы исследования эстетического, функционального и социокультурного значения исторического центра в пределах фактической структуры городского планирования. Также даны различные критерии оценки качества общественной городской застройки и уровня ее изысканности.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** исторические центры, дух места, вместимость центра, иерархия, критерии оценки.

Researching aesthetic, functional and socio-cultural significance of historical center within actual urban-planning structure from the point of view of spatial and temporal „readability” of historical place. Also different evaluation criteria of a public urban area quality and level of its urbanity is discovered.

**К e y w o r d s:** historical centers, place spirit, center capacity, hierarchy, evaluation criteria.

Как правило, наиболее привлекательная часть города — это его центр, так как именно в нем сконцентрирована самая ценная архитектурная составляющая. Историческое сердце города отражает периоды его эволюции и социального развития общества. Пешеходные дороги исторического центра аккумулируют городские достопримечательности во дворах и парках, которые всегда служили местом отдыха и собраний, проведения праздничных церемоний.

Археологические пласты города рисуют нам его судьбу, его настоящее и прошлое. Самые ранние слои культуры спрятаны в самом низу. Эволюция архитектурных стилей хранится в подземных уровнях зданий, фундаменте сохранившихся элементах архитектурных сооружений. Реконструкция старых зданий нарушает их целостность, но при этом подчеркивает рождение нового архитектурного поколения. Также присутствуют «слои»: литературы, музыки, искусства, политики, религии, театра, науки. Все они являются неотъемлемой частью истории. И осознанно, и интуитивно мы находим здесь слои культуры, ценные для истории, места, отмеченные особой красотой и привлекательностью, уютные уголки города и перекрестки, открытые пространства и холмы — слои, каждый из которых имеет огромную ценность в понимании истории города как более раннего, так и современного периода.

*Центральная площадь* в сердце города открывает свои двери жителям и гостям. Центр города представляет собой кулису, а сама площадь — сцену, таким образом отображая культуру города, его исторические слои стиля и концепций. Например, площадь Сан Марко — самая привлекательная достопримечательность в Венеции. Здесь можно увидеть прилавки мастеров, ремесленников и торговцев. Атмосфера места также задается большим количеством голубей, которых кормят люди (рис. 1).

Пешеходная зона направляет людей с улиц к площади. Мостовая — это «ковёр», ведущий гостей к площади. Ее цветное и структурное разнообразие

указывает пешеходам на направление, в котором нужно идти, чтобы дойти до пункта Б — самой площади. Конечно, мостовая — это не основное впечатление, которое оставит город у гостей, но она непременно будет одной из составляющих в мозаике воспоминаний. Люди приходят и уходят, а мостовая остается. Мостовая — это первый слой площади. Он лег на исторические тропы, протоптанные на земле, и это первая граница между прошлым и будущим.



Рис. 1. Венеция. Площадь Сан Марко. Фото Люции Штефанцовой, август 2012 г.

Местному жителю или туристу — каждому нравится ходить в самом сердце города, прогуливаться вдоль всех его исторических слоев и с любопытством заглядывать во все его укромные местечки.

*Город.* Ощущение защищенности и полной ориентации в пространстве в пешеходной зоне зависит от того, насколько точно распланирован город, в какой степени видны самые главные туристические ориентиры города. Для пешехода важно видеть торговые точки и зоны отдыха в открытом пространстве, а также иметь доступ к ним. Это те зоны, где можно отдохнуть и расслабиться: парковые зоны и фонтаны, которые добавляют ощущение роскоши от отдыха в городском пространстве.

На рис. 2 показаны направления движения на переходных дорогах города. Ориентация основывается на принципе варьирования общественных территорий (узкие пешеходные дорожки ведут к широким улицам и площадям и наоборот; они не доминируют над такими архитектурными постройками, как церкви и храмы). Увидеть церкви и другие достопримечательности, гуляя по узким улочкам, почти невозможно.

На рис. 3 показаны направления движения на переходных дорогах города. Ориентация основывается на принципе равного деления общественной территории, откуда видны достопримечательности. Доступ к ним показан стрелками на пешеходной дороге с разных углов зрения.

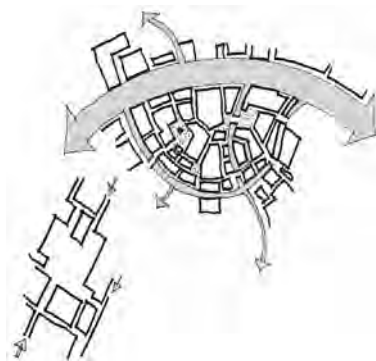


Рис. 2. Схема направления движения на переходных дорогах в Венеции. Графика Люции Штефанцовой, 2012

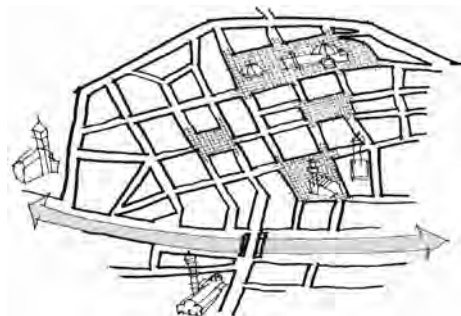


Рис. 3. Схема направления движения на переходных дорогах во Флоренции. Графика Люции Штефанцовой, 2012

Дух места — *genius loci* — это отпечаток видимых и невидимых исторических слоев этого места. Они имеют большое культурное значение для понимания истории города. Характер города зависит от типа его основания, геометрии, эргономики свободных форм и их сочетания, планов зданий и их тектоники. Характер места сильно влияет на то, насколько глубоко его воспримет и запомнит приезжий. В отличие от формы, характер места также создается его презентацией: живой, динамичной, расслабляющей, тихой, или состоящей из всех этих определений.

**Компактность.** Целостность планировочной структуры и четкость в планировании улиц, площадей, торговых площадей, городских кварталов и проездов — все это является стилеобразующими элементами исторической части города, позволяя пешеходу ориентироваться в этом культурном и геометрическом пространстве. Тектоника здесь основательна и прозрачна, улицы и площади имеют прозрачную структуру в пространстве, фасады зданий репрезентативны конкретно для каждого из них, четко отделяя их от торговых рядов, публичное пространство от частного. Компактная планировочная структура европейских городов отделяет внутреннее ядро города от более широкого центра, определяя лицо исторической части города и отделяя его от остального городского, более современного пространства.

**Прозрачность пространства.** Понятие прозрачности тесно связано с компактностью внутреннего города. Средневековые города представляли собой, с одной стороны, сплетение узких улочек и жилых кварталов, выстроенных без особой системы. С другой стороны, все они вели к важным городским объектам, имели ярко выраженное направление. Реконструкция города, которая проводилась в период ренессанса, внесла более четкую геометрию в план построек, добавила света, зеленых насаждений и воды.

Осевой тип строения улиц, ведущих к важнейшим городским точкам (площадям), стал более очевиден. Внутренний город теперь состоит из узеньких пролетов, тенистых переходов из одного квартала в другой. Пролеты помогают быстро добраться до нужного места старого города. Именно пролеты придают большую геометричность пространству в кварталах. Они отделяют общественную зону от частной зоны во дворах, разделяют экстерьер от интерьера.



*Иерархия пространства.* Внутренний город имеет несколько площадей (малую, среднюю и большую); узкие, средние и широкие улицы; наименее линейно и более линейно выстроенные кварталы и, конечно, разнообразные фасады зданий. Это все делает город индивидуальным и архитектурное выражение достигает своего пика. Мы видим переход от простой структуры к сложной, от нижних блоков к архитектурным украшениям, от украшений к характерному стилю этого города. Вертикальная структура города и ее важность для отдельных фрагментов города дает возможность пешеходу четко ориентироваться в пространстве.

*Сложность городского пространства.* Центр города является своеобразным государством в государстве, сложным самодостаточным образованием. Жилые кварталы, работа, отдых и торговля — здесь соединяются все направления городской жизни и обретают свою иерархию. Городская структура доминирует, но нет недостатка в воде и зелени. Средневековый город очень умно распланирован, что очевидно и по сей день. Даже сейчас он может вместить в себя всех желающих туристов.

*Выход в город.* Выражение «пойти в город» существует давным-давно. Оно подразумевает «выход в историческую часть города». Так говорили люди, которые, как правило, живут за пределами центра города. Раньше это была сельская местность. Для современного городского человека «город» значит толпы спешащих людей, общественный транспорт, улицы, ведущие к центральной площади, возможность купить и получить все, что тебе нужно, обширные возможности для работы, кафетерии и вообще все, что мы подразумеваем под словом «жизнь» [1]. И все это мы находим в центре города. Поэтому «центр города» приобретает еще более веское значение в устах горожан.

В исторической части города все подчинено пешеходу, а все пути, которые ему предлагает старый город, рано или поздно выведут его к главным точкам. Это площади, променады, набережные — места, где больше всего возможностей получить интересные впечатления. Сюда также относятся бульвары и архитектурные группы. Наиболее типичная городская территория — это площадь. Здесь значение городской культуры проявляется наиболее очевидно.

На площадях можно увидеть огромное количество людей. В ранней истории города это было главным местом в городской структуре. Здесь проводили коронации, концерты, здесь разбивались уличные театры и рынки. До сих пор площади играют важную роль в социальной жизни горожан. Мы можем прийти на площадь одни и оставаться одними, а можем стать частью огромного количества людей, которые приходят на площадь по разным причинам.

На площади можно провести время по-разному. Ее также можно пройти мимо, не останавливаясь. Все зависит от того, какие цели у пешехода, насколько ему интересна архитектура и культурные мероприятия на воздухе, которые проводятся на площади, любит ли он наблюдать за людьми, нравится ли ему атмосфера на этой площади в этот момент дня, сезона или года. После того, как пешеход наслаждался видом площади, он уходит оттуда, переполненный впечатлениями от увиденного.

В зависимости от степени привлекательности города посетитель стремится попасть туда еще раз. Городской туризм становится все более привлекательным, и города с развитой туристической инфраструктурой становятся все более востребованы (рис. 4).



Рис. 4. Диаграмма «Выход в город» — «Going to town»: 1 — выход на площадь; 2 — встреча с людьми; 3 — времяпрепровождение в приятном месте; 4 — отъезд; 5 — возвращение к любимым местам. Авторы: Сильвия Башова, Люция Штефанцова, ноябрь 2012

Центр города формирует и завершает целостный вид города. Представление о городе — это сумма впечатлений о нем. «Представление о городе — это часть маркетинговой стратегии, которая включает в себя влияние окружающей среды и организации города» [2]. Он становится способом общения и говорит о том, кем мы являемся или какими мы хотим стать.

Формация — создание имиджа места. В первую очередь это процесс коммуникации и возможной потери информации при переводе [3]. Во время городского планирования общественных мест и территорий важно брать во внимание тот факт, что именно они запомнятся приезжим. «Пространственное и временное прочтение города будет одинаково важным» [4].

Факторы, влияющие на отношение туристов к городской территории:

- 1) общие впечатления, включающие в себя качество и разнообразие, организацию и безопасность;
- 2) ухоженная, опрятная, чистая территория;
- 3) эффективность, количество людей на улицах, расстояние между достопримечательностями (культурными и спортивными зонами, торговыми центрами и т. д.), далеко ли центр находится от местоживания туриста;
- 4) доступность общественного транспорта, пешеходные зоны;
- 5) социальные аспекты, такие как доступность коммерческих транзакций, профессионализм персонала в бизнес-центрах.

Запомнится ли город, легко ли было в нем ориентироваться туристу — все это индивидуально для каждого. Поэтому невозможно назвать эти факторы точными. Тем не менее, каждый город имеет свои «брендовые» достопримечательности и точки. Как правило, их не следует менять, потому что представление о городе складывается именно из них.

Критерии оценки качества общественных пространств:

- 1) расположение центра внутри города;
- 2) характеристики городской культуры: компактность, уникальность, иерархия, сложность инфраструктуры;

- 3) качество инфраструктуры — насколько запоминающейся и привлекательной она является;
- 4) красота архитектуры — есть ли знаменитые архитектурные объекты;
- 5) знаменитые достопримечательности функционального назначения — есть ли в центре города;
- 6) дает ли город культурно-психологический опыт в его познании;
- 7) интенсивность уличного пешеходного движения — много ли людей, хорошо ли организованы потоки их движения (рис. 5).

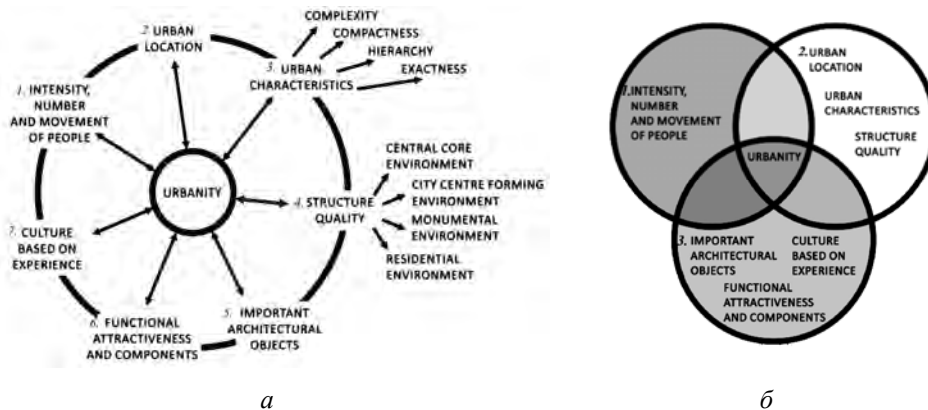


Рис. 5. Идентификация центра города в урбанизированной среде: *а*: 1 — интенсивность пешеходного движения; 2 — расположение центра города; 3 — характеристики центра города: сложность, иерархия, компактность, точность; 4 — качество структуры: качество окружающей среды, пространственная среда, формирующая центральную часть города, памятники, жилой фонд; 5 — важные архитектурные объекты; 6 — функциональная привлекательность; возможность познания города, основанная на культурном опыте; *б*: 1 — интенсивность и управляемость потоками пешеходов; 2 — расположение центра города, городские характеристики, качество структуры; 3 — важные архитектурные объекты, культура, основанная на опыте, функциональная привлекательность. Авторы: Сильвия Башова, Люция Штефанцова, ноябрь 2012

### Выводы

Самые любимые места в историческом центре свидетельствуют о разнообразных ценностях различных территорий, улиц и площадей города. Они подтверждают потребность людей находить такие места на улице, которые были бы приятны для встречи, удобны и красивы, и давали возможность достойно встретить гостей города. Это также свидетельствует о принципе иерархичности мест, архитектурных формирований по отношению к центру города. Это подтверждает то, что лицо города определяется улицами, пассажами, площадями и торговыми центрами. Куда ведет улица, если не на площадь? Где можно хорошо провести время, если не на главной площади города?

«Люди всегда стремились к культуре, это значит, что их мир и их жизнь не была сфокусирована только на природе. Люди всегда нуждались в общении, понимании и самовыражении» [4].

«Культурное понимание города состоит в сочетании внешней структуры и внутренней организации процессов, протекающих внутри него. Жизнь горожан наполняет его основным смыслом. Таким образом, город становится уникальным каждодневным культурным событием» [5]. Необходимо следить

за качеством тех критериев, которые определяют уровень городской жизни. Речь идет о том, насколько удачно центр города расположен внутри периферийной зоны, насколько он компактен и удобен для прогулок, насколько четко читаема посетителями его структура, иерархия и качество окружающей застройки и знаковых объектов архитектуры. Архитектурная привлекательность и естественность пространства центра города определяет его культурно-исторический потенциал и создает неповторимый архитектурно-психологический климат этого места в городе. Не менее важным фактором, влияющим на формирование идентичности среды центра города, является свободная организация пешеходных потоков посетителей, которая также зависит от привлекательности самой инфраструктуры центра города.

Если все эти факторы присутствуют в городе, то это будет Город и Площадь с большой буквы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Štefancová Lucia. Statistical research „MESTSKOSŤ-URBANITA“, June-August 2012, number of respondents: 135.
2. Buček J. Urbánny marketing-marketingový prístup k analýze mesta a plánovaniu rozvoja // Komunálna ekonómia a komunálna politika.
3. Imidž slovenských produktov v prostredí európskeho trhu / M. Tajtáková a kol. Bratislava : Ekonóm, 2007. S. 45.
4. Ródriguez, Yolanda María Lomelí. Princípy urbanistickej rekonštrukcie v aglomerovaných sídlach veľkých miest : PhD thesis. Bratislava : Fa STU, 2000. S. 28.
5. Halík P., Kratochvíl P., Nový O. Architektura a město. Academia Praha, 1996. S. 74—76.
1. Štefancová Lucia. Statistical research „MESTSKOSŤ-URBANITA“, June-August 2012, number of respondents: 135.
2. Buček J. Urbánny marketing-marketingový prístup k analýze mesta a plánovaniu rozvoja // Komunálna ekonómia a komunálna politika.
3. Imidž slovenských produktov v prostredí európskeho trhu / M. Tajtáková a kol. Bratislava : Ekonóm, 2007. S. 45.
4. Ródriguez, Yolanda María Lomelí. Princípy urbanistickej rekonštrukcie v aglomerovaných sídlach veľkých miest : PhD thesis. Bratislava : Fa STU, 2000. S. 28.
5. Halík P., Kratochvíl P., Nový O. Architektura a město. Academia Praha, 1996. S. 74—76.

© Башова С., Штефанцова Л., 2013

Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Башова С., Штефанцова Л. Идентификация исторического центра города в урбанизированной среде // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 246—252.

УДК 712.4:551.584.5

**В. В. Прокопенко, Э. С. Косицына**

## **МЕТОДИКА СУБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ РАСЧЕТА КАЧЕСТВА ЛАНДШАФТНО-РЕКРЕАЦИОННОЙ ТЕРРИТОРИИ**

Городская структура рекреации — это сложный планировочный сегмент, который должен оказывать благотворное влияние на прилегающую к нему территорию и проживающих жителей в зоне его влияния. Система озеленения должна отвечать современным требованиям экологии и показателям качества, которые не подвержены влиянию антропогенного и природного вмешательства.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** система озеленения города, ландшафтно-рекреационная территория.

The city structure of a recreation is a complicated planning segment which has to have a salutary impact on the adjoining territory and people living in the zone of its influence. The system of gardening must meet modern requirements of ecology and quality indexes which aren't subject to the influence of anthropogenic and natural interference.

**Key words:** system of gardening of the city, landscape and recreational territory.

В настоящее время существуют две основные концептуальные модели изучения качества урбанизированной среды — субъективистская и объективистская. Субъективистский подход исходит из положения, что истинное значение качества среды обитания отражено в субъективных ощущениях человека, которые формируются на основе уровня его интеллектуального развития, жизненного опыта, а также эмоционального состояния и ряда иных характеристик. Механизм формирования социальных оценок городской среды очень сложен, а в качестве критериев такой оценки могут быть использованы данные о привлекательности различных участков города для проживания, отдыха, трудовой деятельности и т. д. Это направление в исследование качества городской среды непосредственным образом связано с так называемым бихевиоретическим подходом, в основе которого лежит оценка восприятия человеком окружающего мира как важного фактора [1].

В субъективистской модели качество среды определяется как результат комбинации различных статистических показателей: санитарно-гигиенических, экологических и природоохранных. Эта система контроля относится к категории санитарно-гигиенического мониторинга, который рассматривается как долгосрочная программа непрерывного сбора информации о состоянии природных экосистем, находящихся в различных зонах воздействия антропогенной среды [1].

В настоящее время исследование качества рекреационной территории проводится по сложной градостроительной методике, заключающейся в проведении многочисленных натурных замеров, аналитических расчетов, визуальных наблюдений и т. п. Существенным недостатком этой методики является то, что в ней отсутствует мнение жителей города. Каждый современный житель мегаполиса непосредственно ощущает все воздействия внешней среды на здоровье как физическое, так и психоэмоциональное. Поэтому именно жители являются главными экспертами своей среды обитания.

С древних времен люди пытались благоустроить свое жилое пространство, но чтобы оно было комфортно для проживания, необходимо постоянная его защита от внешней среды. С этим вполне может и должны справляться сады, парки, скверы и другие элементы озеленения современного города, являясь частью его ландшафтно-рекреационной территории. В связи с этим, качество рекреационной территории в настоящее время волнует не только профессионалов, но и жителей города.

Для изучения отношения жителей к ландшафтно-рекреационной территории было проведено исследование по Центральному парку культуры и отдыха в Центральном административном районе города Волгограда, для чего был разработан план (анкета), который состоял из программно-методологических и организационных вопросов. Основное содержание программно-методологического раздела плана (анкеты) составляют вопросы об объекте и единице наблюдения, программе наблюдения и принципах ее разработки, статистической формуле и инструкции [2].

Исследование было осуществлено по следующим этапам:

1. Выбор группировочного признака — возрастная категория.
2. Определение порядка формирования групп: установление числа групп, образование интервалов — четыре возрастные группы: 18—25 лет; 19—35 лет; 36—55 лет; более 55 лет.

3. Разработка системы статистического показателя для характеристики групп и объекта в целом — статистический показатель — непосредственно группы людей, проживающих в радиусе пешеходной доступности ( $R = 750$  м) до объекта ЛРТ.

4. Разработка макетов статистических таблиц для представления результатов сводки, для этого был использован метод экспертных оценок (МЭО).

При определении основания группировки о количестве людей в группе, на которые надо разбить исследуемую совокупность, обращалось особое внимание на число единиц исследуемого объекта и степень колеблемости группировочного признака, а также на особенности объекта и цели исследования. Число людей в группах определялось по формуле Стерджесса [3]

$$n = 1 + 3,3221qN,$$

где  $n$  — число человек в группах;  $N$  — число единиц совокупности.

Полученные данные расчета показали, что для более репрезентативного результата в эксперименте должны участвовать не менее 50 человек в каждой возрастной группе, а в совокупности для всего исследования не менее 200 человек, проживающих в радиусе обслуживания (доступности) ЦПКиО Центрального административного района города Волгограда.

Участникам эксперимента были розданы анкеты «Характеристика ЦПКиО Центрального административного района г. Волгограда», где нужно было оценить по 5-бальной шкале следующее:

- 1) эстетическое влияние объекта;
- 2) радиус доступности парка;
- 3) влияние объекта на воздухообмен прилегающей территории;
- 4) ощущение изменения температуры и влажности внутри объекта. Например, температура уменьшается на  $1...2^{\circ}\text{C}$ , а влажность на  $10...15\%$ ;
- 5) влияние на качество объекта наличие акваторий (в 180 м протекает р. Волга);

6) справляются ли существующие зеленые насаждения с антропогенными факторами (шум, вибрация, электромагнитные излучения);

7) является ли существующая площадь озеленения (29 Га) объекта эффективной при борьбе с антропогенными факторами;

8) влияние на качество объекта окружающей транспортной сети;

9) роль объекта в борьбе с запыленностью воздуха.

Далее методом экспертных оценок была проведена обработка данных опроса, согласно которому эксперт определяет весомость свойств в порядке предпочтения так, что наименее предпочитаемое (наименее важное) свойство получает номер 1, затем следующие по важности свойство номер и т. д. Результаты расчеты сведены в табл.

*Центральный парк культуры и отдыха, 33 га*

| Эксперт                                  | Свойства |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                          | $X_1$    | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $X_7$ | $X_8$ | $X_9$ | Сумма |
| 1                                        | 30       | 37    | 29    | 28    | 36    | 29    | 30    | 24    | 21    | —     |
| 2                                        | 34       | 38    | 35    | 31    | 39    | 34    | 32    | 36    | 32    | —     |
| 3                                        | 35       | 37    | 33    | 34    | 39    | 34    | 30    | 36    | 31    | —     |
| 4                                        | 32       | 39    | 38    | 35    | 33    | 33    | 32    | 32    | 33    | —     |
| $\sum_{\text{рангов}}$                   | 131      | 151   | 135   | 128   | 147   | 130   | 124   | 128   | 117   | 1191  |
| Сред. $\sum_{\text{рангов}}$             | —        | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     | 132   |
| Отклонение от ср. $\sum_{\text{рангов}}$ | 1        | -19   | -3    | 4     | -15   | 2     | 8     | 4     | 15    | —     |
| Квадрат отклонения                       | 1        | 361   | 9     | 16    | 225   | 4     | 64    | 16    | 225   | 921   |

Для оценки согласованности различных групп экспертов использовался коэффициент конкордации, который при полной согласованности мнений экспертов  $W = 1$ , при отсутствии  $W = 0$ . О согласии экспертов можно говорить, начиная с величины 0,42. Для данного исследования расчет коэффициента конкордации равен  $W = 0,9$ .

Далее с целью определения основных показателей качества, подлежащих нормированию, строилась диаграмма рангов (рис.). По оси абсцисс откладывались факторы, влияющие на качество территории, в убывающем порядке, а по оси ординат соответственно суммы рангов.

На основе диаграммы оценивалась весомость показателей качества. При неравномерном экспоненциальном убывании часть показателей исключается из перечня основных. При неравномерном монотонном убывании или равномерном все показатели качества считаются основными.

В результате применения МЭО, позволяющего проанализировать группу факторов, т. е. построить диаграмму рангов и выявить факторы, влияющие на оценку качества. Оценка проводилась по коэффициенту конкордации, и были выявлены:

1) три группы факторов, влияющих на качество рекреационной территории. Это природные, антропогенные и планировочные факторы;

2) зависимость между качеством территории и выбранными факторами  $X_1—X_9$ ;

3) выбранные факторы для установления качества территории актуальны не только для градостроителей, но и более высшей степени для жителей территории.

Полученные результаты позволяют более корректно выводить оценку качества ландшафтно-рекреационной территории.

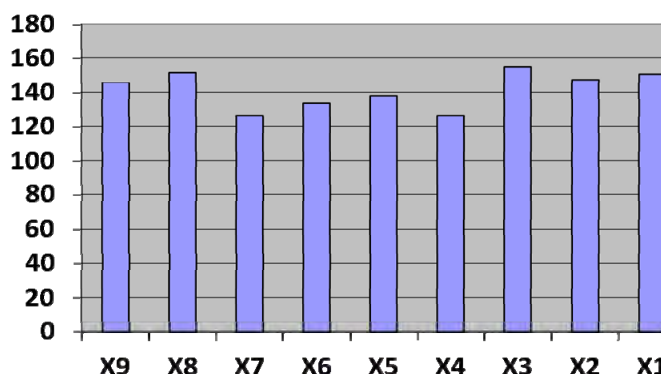


Диаграмма рангов:

- X<sub>1</sub> — эстетическое влияние объекта рекреации на прилегающую территорию;
- X<sub>2</sub> — радиус доступности объекта;
- X<sub>3</sub> — изменение воздухообмена прилегающей территории;
- X<sub>4</sub> — изменение температуры и влажности внутри объекта;
- X<sub>5</sub> — наличие акватория;
- X<sub>6</sub> — влияние площади озеленения на борьбу с антропогенными факторами (шум, вибрация, электромагнитное излучение);
- X<sub>7</sub> — площадь озеленения;
- X<sub>8</sub> — влияние транспортной сети на объект рекреации;
- X<sub>9</sub> — борьба объекта с запыленностью территории

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобров Е. А. Ландшафтно-географический анализ социально-экологического состояния городских территорий Смоленской области : Дис. ... кан-та геогр. наук. Смоленск, 2006. 210 с.
2. Голуб Л. А. Социально-экономическая статистика. М. : Владос, ИМПЭ им. А. С. Грибоедова, 2003.
3. Иода Е. В., Герасимов Б. И. Статистика : учебное пособие / Под общей ред. Е. В. Иода. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2004. 104 с.
1. Bobrov E. A. Landshaftno-geograficheskiy analiz sotsial'no-ekologicheskogo sostoyaniya gorodskikh territoriy Smolenskoj oblasti : Dis. ... kan-ta geogr. nauk. Smolensk, 2006. 210 s.
2. Golub L. A. Sotsial'no-ekonomicheskaya statistika. M. : Vlados, IMPE im. A. S. Griboedova, 2003.
3. Ioda E. V., Gerasimov B. I. Statistika : uchebnoe posobie / Pod obshchey red. E. V. Ioda. Tambov : Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2004. 104 s.

© Прокопенко В. В., Косицына Э. С., 2013

Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Прокопенко В. В., Косицына Э. С. Методика субъективной оценки расчета качества ландшафтно-рекреационной территории // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 253—256.



## **ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ. АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

УДК 728.98

**А. Д. Гридюшко, Е. Г. Чентемирова**

### **БИОМИМЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТЕПЛИЦ**

Рассмотрена возможность проектирования вертикальных теплиц с помощью биомиметических принципов. Природа является образцом подражания для разработки нового типа ферм. На основе концепт-проектов выявлена возможность появления нового типа архитектуры.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** биомиметика, вертикальная теплица, заимствование, функциональность, биомиметические принципы, природа.

The possibility to design vertical greenhouses with the help of biomimetic principles is considered. The nature is a model to emulate for the development of a new type of farms. On the basis of concept-projects the possibility of introduction of a new type of architecture is revealed.

**К e y w o r d s:** biomimetics, vertical greenhouse, loan, functionality, biomimetic principles, nature.

Архитектура как продукт взаимодействия человека с внешним миром тесно связана с природой, которая является первоначальной средой обитания человека. Архитектура изначально должна была решать ряд задач, а именно:

1) обеспечивать биологические потребности человека на более высоком уровне;

2) обеспечить все природные, социальные потребности; предназначение архитектуры — создание нового мира, мира для человека как для разумного, социального существа;

3) архитектура должна представлять собой некую копилку ценностей, которую человечество передает из поколения в поколение.

Результатом решения данных задач стало «очеловечивание» естественной среды, создание нового мира, способного отвечать на новые запросы нового человека.

История общения человека и природы берет свои корни из древности. Природа всегда была идеальной моделью для подражания. Человек «подсматривал» приемы в естественном мире, чтобы потом применить в создании своего, искусственного и более комфортного обитания. Те времена можно считать началом формирования отношений «человек — природа», формированием предпосылок для образования целой области знаний — биомиметики.

Понятие «биомиметика» (лат. *bios* — жизнь и *mimesis* — подражание) подразумевает под собой «создание устройств, приборов, механизмов или технологий, идея и основные элементы которых заимствуются из живой природы» [1].

Основной целью архитектурной биомиметики является изучение и использование «достижений» природы для повышения качества архитектуры, а также гармонизации природной и городской сред. В наши дни данный вопрос становится все более актуальным. Сегодня технический прогресс обуславливает усиление темпов развития экономики, а соответственно и рост промышленных предприятий. Выбросы диоксида углерода увеличиваются ежегодно. Например, за последние десятилетия в наиболее активно развивающейся стране, Китае, количество выбросов углекислого газа повысилось на 69 %. Из-за увеличения выбросов углекислорода в атмосферу вокруг планеты формируется пленка из этого газа, которая приводит к образованию парникового эффекта. Температура повышается. Происходит смена климата.

Активная экономическая деятельность человека приводит к истреблению невозобновляемых ресурсов. За последние 40 лет потребление ресурсов на планете увеличилось вдвое. С учетом повышения технологичности жизни в городе, а вследствие этого ее комфорта, многие люди стремятся жить в городской среде. По статистическим данным на 2003 год, 50 % населения нашей планеты проживало в городах. К 2030 году прирост городского населения ожидается еще на 10 % и составит 60 % от общего числа людей на планете. Рост городского населения приводит к увеличению плотности городской застройки. Городская инфраструктура, рассчитанная на другую численность населения, устаревает и не справляется с транспортными и пассажирскими потоками. В этой области также необходим новый подход, который позволит усовершенствовать уже существующую структуру. Это лишь малая часть того, с чем столкнулось человечество сегодня. Архитектурная биомиметика поможет решить ряд острых экономических, социальных, экологических проблем, с которыми столкнулся человек в ведении своей хозяйственной и экономической деятельности [2, 3].

Согласно JANINE BENYUS существует несколько уровней использования биомиметических принципов. Эти три уровня качественно разные. Первый уровень предполагает имитирование живого организма. Это начальный уровень, наиболее простой и не требует длительных исследований. Второй — предполагает имитирование процесса, т. е. того, что и каким образом живой организм делает. Это качественно более высокий уровень, который требует больших знаний и непосредственного контакта архитектора со специалистами, непосредственно занимающихся исследованиями данных природных процессов. И, наконец, третий уровень биомимитирования предполагает подобие целой экосистемы. Это очень сложный процесс, который позволяет создать действительно цельную, взаимосвязанную с окружением, самоорганизующую и самообеспечивающую искусственную систему с «правильными» связями как внутренними, так и внешними [4].

Помимо такого трехчастного деления, каждый уровень состоит из 5 ступеней — типов заимствования. В каждом из этих уровней есть свои подуровни, сложность которых тоже возрастает от начала к концу: форма, материал, конструкция, процесс, функция. На основе статьи [5] приведена таблица по совмещению уровней и типов заимствования с краткой расшивкой.

*Систематизация уровней применения биомиметических принципов*

| Тип заимствования | Уровень заимствования                                               |                                                                                                        |                                                                                                                                                                |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | Организм                                                            | Поведение                                                                                              | Экосистема                                                                                                                                                     |
| Форма             | Здание похоже на живой организм                                     | Здание похоже на природный объект, сделанный живым организмом                                          | Здание похоже на экосистему, в которой живут живые организмы в природных условиях                                                                              |
| Материал          | Здание сделано из того же материала, что и живой организм           | Здание сделано из того же материала, что и природный объект, возведенный живым организмом              | Здание сделано из тех же материалов, что и экосистема, в которой существует живой организм или группа организмов                                               |
| Конструкция       | Здание имеет те же конструктивные особенности, что и живой организм | Здание сделано, так же как и природный объект, возведенный живым организмом                            | Здание сформировано из тех же элементов, что и экосистема                                                                                                      |
| Процесс           | Здание работает по тому же принципу, что и живой организм           | Здание работает по принципу природного объекта, возведенного живым организмом                          | Здание работает по тому же принципу, что и экосистема                                                                                                          |
| Функция           | Здание наделено теми же функциями, что и живой организм             | Здание функционирует, как и природный объект, возведенный живым организмом (в более широком контексте) | Здание функционирует как экосистема, является частью более крупной природной среды. В то же самое время представляет собой целостную самодостаточную структуру |

Если проследить, как данные типы заимствования проявлялись с течением времени, то можно заметить следующую последовательность. С момента признания биомиметики новой наукой (симпозиум в Дайтоне, США, 1960 г.) и до середины 90-х гг. XX в. изучались и имитировались, в основном, форма и конструкция. С развитием возможностей естественных наук изучение природного мира сделало скачок на качественно новый уровень. Данный скачок дал возможность более детально изучить природные организмы, понять, чем обусловлены те или иные свойства организма. Таким образом, изучение живых тканей и клеток, их строения и химического состава сделало возможным изобретение материалов, обладающих теми же свойствами. А исследование процессов, протекающих внутри организма и обуславливающих его работу, сделало возможным симитировать их при проектировании зданий и градостроительных планов, обеспечив тем самым устойчивость и эффективность вновь возводимой среды. Сегодня, когда возможности и знания растут, впрочем так же как и риск крупной экологической катастрофы, проектировщики наделяют здания функциями живых организмов [5]. Так как это движение

только набирает обороты и проекты, созданные на данную тему, только концептуальны, речь в них идет о совместной работе природы и архитектуры, как о некоем симбиозе, где архитектура создает благоприятную среду для растений, а растения помогают архитектуре справляться с «природными» функциями. Наиболее ярко данный подход можно проиллюстрировать на примере вертикальных ферм [6].

Проект небоскреба был разработан архитектурной группой Romses architects. Данный небоскреб Harvest Green (рис. 1) объединяет в себе множество функций — от непосредственно самих вертикальных ферм до лабораторий, офисов и жилых блоков. В подземной части здания располагается станция метро — объект связан с городом. Здание получает необходимую энергию с помощью возобновляемых источников энергии — ветряки, фотоэлектрические панели, геотермальные источники энергии. Помимо этого, на кровле Harvest Green располагается емкость для сбора дождевой воды, необходимой для растений и бытовых нужд при эксплуатации здания людьми.



Рис. 1. Небоскреб Harvest Green

С точки зрения формообразования, здание представляет собой множество объемов, наделенных различными функциями и нанизанными на центральный вертикальный элемент, включающий в себя вертикальный сад и лестнично-лифтовой блок. Объемы находятся на общем стилобате, задающем для жителей города «правильный» масштаб здания.

Проект небоскреба продуман до мелочей и представляет собой некий синергетический союз множества функциональных блоков — даже отходы в одном из элементов здания могут быть использованы в другой его части в качестве удобрений или источника энергии (биогаз). Концептуальный проект является зданием-системой, подражающей экосистемам в природе, где все элементы связаны между собой и живут в симбиозе (рис. 2) [7].

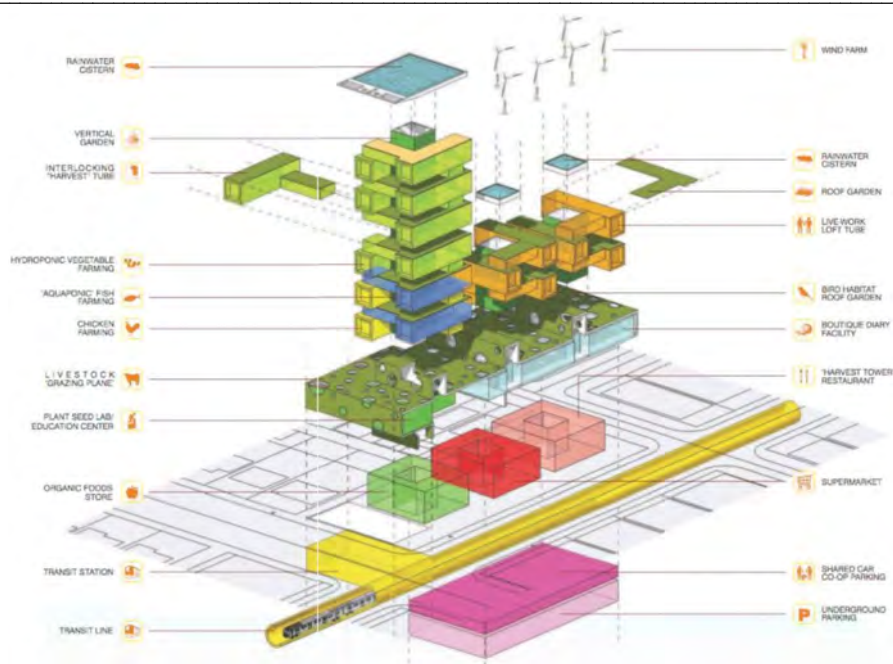


Рис. 2. Функциональные блоки небоскреба Harvest Green

Небоскреб-опреснитель морской воды, Альмерия, Испания, авторы Nicolas Chaussou, Gaël Desveaux, Jiao Yang Huang, Thomas Jullien [8]. Здание представляет собой «пузыри», поставленные один на другой.

Данный проект являлся конкурсантом в конкурсе небоскребов EVOLO 2010 году (рис. 3).



Рис. 3. Небоскреб-опреснитель морской воды

Авторы говорят о том, что в мире 97 % от всех запасов воды — соленая, 2 % заключено в айсбергах. Только 1 % пресной воды находится в свободном доступе. Архитекторы предлагают построить здание, одной из функций которого было бы опреснение морской воды. Проект предназначен для Испании, район Альмерия.

Опреснение воды авторы проекта предлагают осуществлять с помощью мангровых деревьев, располагающихся внутри небоскреба. Мангровые деревья — одни из немногих способны питаться морской водой (рис. 4). Таким образом, поглощая соленую воду, ночью пресная вода будет выделяться в виде конденсата на сферических стенках небоскреба и стекать в коллекторы, предназначенные для пресной водой. Получившаяся опресненная вода не подходит для употребления в пищу. Но с учетом того, что 70 % пресной воды используется в сельском хозяйстве, данный проект имеет свои преимущества именно в Альмерии. В этом районе выращивается множество овощей и фруктов. За один день можно будет получить 30 000 литров воды, чего хватит для полива гектара полей с помидорами.



Рис. 4. Мангровые деревья внутри небоскреба

Данный проект интересен с двух позиций. Во-первых, авторы предлагают интересное «сотрудничество» природы и архитектуры, некий симбиоз. Благоприятная среда для растений дополняется «природной» функцией, которую выполняют мангровые деревья для человека. В данном проекте силы и возможности природы используются на новом уровне. Взаимодействие природного и искусственного происходит не просто визуально, а на уровне функционирования и жизни. Во-вторых, в здании прослеживается четкое соответствие функции небоскреба и его формы. На стержень, по которому доставляется морская вода, нанизаны сферы — сады. Стержень как и стебель растения служит конструктивной опорой и выполняет функцию передачи «веществ» внутри здания, выполняющего роль организма. Форма сфер и их масштаб также обусловлены тем, что происходит внутри. Во-первых, сфера — самая оптимальная форма. Во-вторых, ее нижняя часть выполняет роль чаши для соленой воды, а верхняя удобна для того, чтобы пресный конденсат стекал непосредственно в коллектор. Размеры ячеек обусловлены температурно-влажностным режимом, необходимым для мангровых деревьев.

Авторство проекта башни Graft Tower (башня-трансплант) (рис. 5), выполняющей роль фермы и гостиницы одновременно, принадлежит Diego Taccioli, Sizhe Chen и Tyler Wallace.



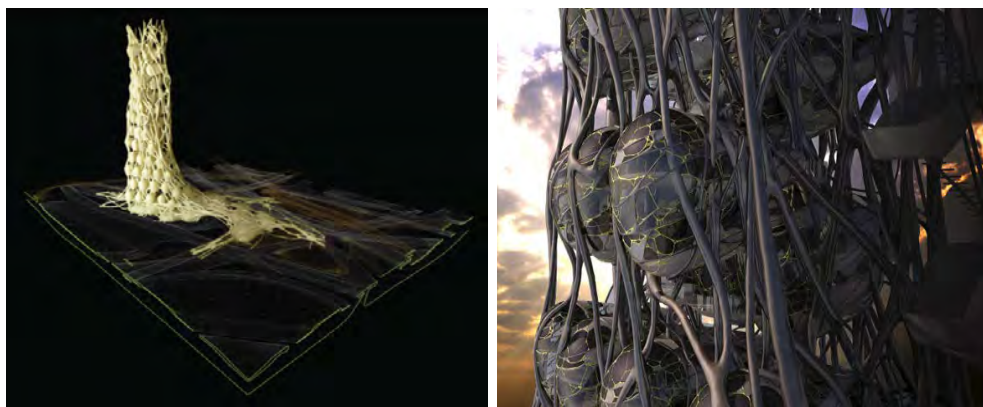


Рис. 5. Graft Tower (башня-трансплантат)

Небоскреб был спроектирован для столицы Пуэрто-Рико города Сан Хуан. Здание представляет собой переплетенные «ветви», образующие остов здания. В данную конструкцию внедрены жилые капсулы. «Ветвистая» конструкция обеспечивает отличную естественную вентиляцию здания. Также между жилыми блоками располагаются сады, где будут выращиваться овощи и фрукты не только для обеспечения постояльцев гостиницы, но и жителей города. Небоскреб будет работать автономно, благодаря установленным фотоэлектрическим панелям. Дождевая вода также будет использоваться. Накапливаясь она будет в нижней части жилых ячеек. Далее, после фильтрации, поступившая дождевая вода может быть использована для бытовых нужд и питья. Также здание будет оснащено специальными панелями, которые будут осуществлять искусственный фотосинтез, в результате которого здание будет обеспечено дополнительной энергией (рис. 6).

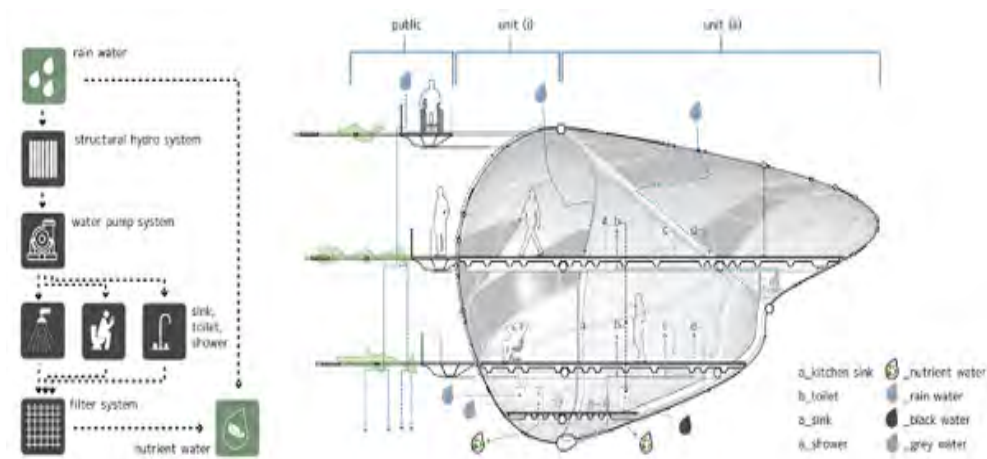


Рис. 6. Система башни-трансплантанта

Проект вертикальной фермы-гостиницы иллюстрирует применение нескольких типов заимствования, о которых говорилось ранее. Во первых, процессы, протекающие в здании, аналогичны процессам, протекающим

в природе. Речь идет об энергетических процессах, так как именно энергия обеспечивает жизнь организмам на планете. Для функционирования зданию тоже необходима энергия. Для ее производства используются фотоэлектрические панели и элементы, способные осуществлять искусственный фотосинтез, результатом которого также является энергия. Следующий аспект, заимствованный у природы, — это конструкция. Она напоминает ветви деревьев. Все природные конструкции характеризуются эффективным использованием материала, они экономичны. Такая «ветвистость» также следует этим принципам, помимо всего прочего обеспечивая здание естественной вентиляцией. Здание наделено функцией живого организма — фотосинтезом — оно поглощает углекислый газ, производя кислород и энергию (рис. 7). Оно абсолютно автономно, благодаря использованию не только энергетических возобновляемых ресурсов, но и дождевой воды. И наконец, форма здания, как и форма природного объекта, обусловлена конструкцией, процессом и функцией. Конечно, это только концептуальный проект. Но пройдет немного времени и архитектура действительно станет «еще умнее». Предпосылки на лицо [9].

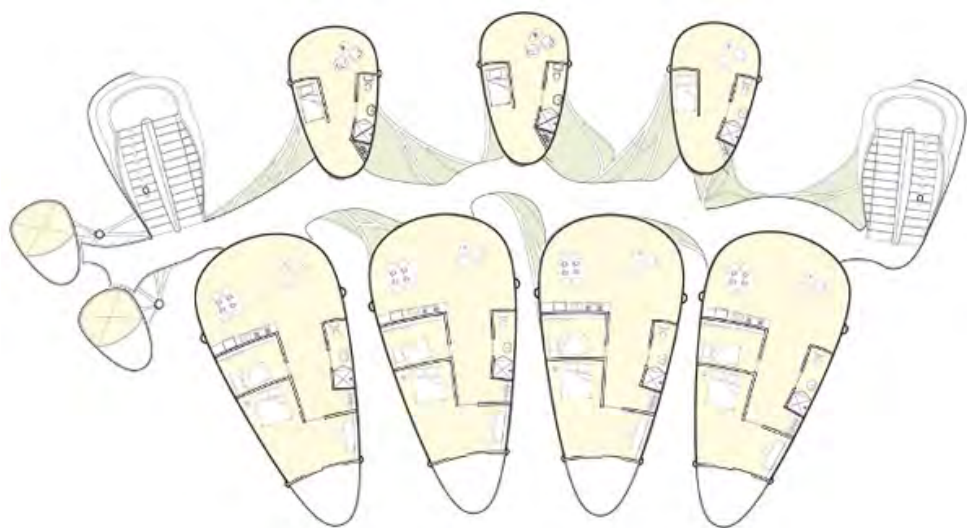


Рис. 7. Планы башни-трансплантата

Проекты вертикальных ферм представляют собой абсолютно новый тип архитектуры. Их появление связано с недостатком площадей для выращивания сельскохозяйственных культур. Лозунг таких проектов: «Больше урожая с меньшей площади». Мы живем в то время, когда количество городов на планете растет, урбанизация «сковывает» материки. С течением времени люди начали понимать, что данный тип развития несет не только блага и комфорт человеку, но и оказывает разрушительное действие на природу. Проектирование вертикальных ферм является попыткой внедрения природы в городскую среду. Стоит упомянуть, что задачей проектировщиков также является снижение затрат на эксплуатацию этих зданий. Таким образом, вертикальные фермы должны быть максимально эффективны (с точки зрения



производительности и эксплуатации) и максимально экономичны (с точки зрения потребления ресурсов). Для достижения таких параметров при проектировании на помощь может прийти сама природа. Живые организмы, растения, окружающие нас, имеют более длительную историю чем мы, люди, а соответственно и опыт приспособления к условиям окружающей среды. У человека есть выбор — какой путь выбрать: либо мы сами на своих ошибках будем совершенствовать нашу искусственно созданную среду, либо мы обратимся к природе. Естественно, что природа значительно старше и мудрее человека, ее механизмы более совершенны и выверены. Но человек не стоит на месте он учится, развивается. Очень важно воспринимать природу не только как место, откуда можно забирать все, что нужно, не восполняя забранное. Природа — это, во-первых, наставник, у которого стоит многому поучиться. Во-вторых, это модель и образец для подражания, откуда можно позаимствовать некоторые приемы и принципы для достижения более высокого качества искусственной среды. В понятие качества вкладывают не только высокий уровень комфорта, но и безопасность среды не только для людей, но и для окружающей среды. И, наконец, в-третьих, природу стоит воспринимать как меру, как некий экостандарт, т. е. соотносить наши изобретения и проекты с природными.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энциклопедический словарь нанотехнологий. Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/nanotechnology/386/биомиметика/> (дата обращения: январь 2013 г.).
2. Архитектурная бионика / Ю. С. Лебедев, В. И. Рабинович, Е. Д. Положай и др. ; под ред. Ю. С. Лебедева. М. : Стройиздат, 1990. 269 с.
3. Gruber Petra. Biomimetics in architecture // Architecture of life and buildings, Springer-Verlag, Wein, 2011. 277 p.
4. Benyus J. Biomimicry — Innovation Inspired by Nature, William Morrow Paperbacks. NY, USA, 2002. 320 p.
5. Maibritt Pedersen Zari. Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability, School of Architecture. Victoria University, PO Box 600, Wellington, New Zealand. 10 p.
6. Режим доступа: <http://www.designboom.com/architecture/romses-architects-harvest-green-project-vancouver/> (дата обращения: январь 2013 г.).
7. Dr. Dickson Despommier. The vertical farm/ feeding the world in the 21<sup>st</sup> century / Thomas Dunne Books / St. Martin's Press. New York, 2010. P. 240—247.
8. Режим доступа: <http://www.evolo.us/competition/freshwater-factory-skyscraper/> (дата обращения: январь 2013 г.).
9. Режим доступа: <http://www.evolo.us/architecture/the-graft-tower-is-a-parametric-eco-hotel-and-vertical-farm-in-puerto-rico/> (дата обращения: январь 2013 г.).
1. Entsiklopedicheskiy slovar' nanotekhnologiy. Rezhim dostupa: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/nanotechnology/386/biomimetika/> (data obrashcheniya: yanvar' 2013 g.).
2. Arkhitekturnaya bionika / Yu. S. Lebedev, V. I. Rabinovich, E. D. Polozhay i dr. ; pod red. Yu. S. Lebedeva. M. : Stroyizdat, 1990. 269 s.
3. Gruber Petra. Biomimetics in architecture // Architecture of life and buildings, Springer-Verlag, Wein, 2011. 277 p.
4. Benyus J. Biomimicry — Innovation Inspired by Nature, William Morrow Paperbacks. NY, USA, 2002. 320 p.
5. Maibritt Pedersen Zari. Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability, School of Architecture. Victoria University, PO Box 600, Wellington, New Zealand. 10 p.
6. Rezhim dostupa: <http://www.designboom.com/architecture/romses-architects-harvest-green-project-vancouver/> (data obrashcheniya: yanvar' 2013 g.).

7. *Dr. Dickson Despommier*. The vertical farm/ feeding the world in the 21st century / Thomas Dunne Books / St. Martin's Press. New York, 2010. P. 240—247.

8. Rezhim dostupa: <http://www.evolo.us/competition/freshwater-factory-skyscraper/>(data obrashcheniya: yanvar' 2013 g.).

9. Rezhim dostupa: <http://www.evolo.us/architecture/the-graft-tower-is-a-parametric-eco-hotel-and-vertical-farm-in-puerto-rico/>(data obrashcheniya: yanvar' 2013 g.).

© Гридюшко А. Д., Чентемирова Е. Г., 2013

*Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Гридюшко А. Д., Чентемирова Е. Г.* Биомиметический подход к проектированию вертикальных теплиц // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 257—266.

УДК 72.03(47+57)

**А. М. Кожевников**

# **ОБ ОПЫТЕ РАБОТЫ МАСТЕРОВ СОВЕТСКОЙ АРХИТЕКТУРНОЙ ШКОЛЫ 30—40-х гг. XX в. НАД АРХИТЕКТУРНЫМ ЭСКИЗОМ**

Рассматривается опыт мастеров советской архитектурной школы 30—40-х гг. XX в. Проанализированы текстовые материалы, представляющие широкую палитру суждений видных мастеров архитектуры на темы, связанные с проблемами мастерства, раскрытия внутреннего потенциала архитектора за счет владения художественными навыками. Владение этими навыками является и на сегодняшний день немаловажным составляющим в процессе проектирования. Материал основан на сохранившихся монографиях и публикациях видных зодчих, занимавших ключевые позиции в архитектуре советского периода, таких как: И. В. Жолтовский, И. А. Фомин, И. А. Голосов и К. С. Мельников и В. А. Веснин.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** архитектурная графика, архитектурный эскиз, советская архитектура.

The experience of masters of the Soviet architectural school in 30—40s of the XX century is considered in the article. Text materials representing a wide range of judgments of prominent masters of architecture on topics connected with the problems of mastership, revelation of inner potential of an architect due to art skills are analyzed. Even for today these skills are an important component in the design process. The material is based on the surviving monographs and publications of the prominent architects who were the leaders in the architecture of the Soviet period, such as I. V. Zholtovskiy, I. A. Fomin, I. A. Golosov and K. S. Melnikov and V. A. Vesnin.

**K e y w o r d s:** architectural drawing, architectural sketch, Soviet architecture.

Советская архитектурная школа периода 30—40-х гг. XX в. годов является золотым веком всего периода Советской архитектуры. В этот период наиболее плодотворно смогли реализовать свои творческие замыслы такие мастера архитектуры, как И. В. Жолтовский, А. В. Щусев, Б. М. Иофан, И. А. Фомин, Л. В. Руднев, В. А. Щуко, В. Г. Гельфрейх, М. А. Минкус, Г. П. Гольц, М. О. Барщ, А. К. Буров, Г. Б. Бархин, И. А. и П. А. Голосовы, В. А., А. А., Л. А. Веснины, в меньшей степени конструктивисты: К. С. Мельников, И. И. Леонидов, Н. А. Ладовский, В. Ф. Кринский.

Идеологию архитектуры 1930—1940-х гг. в значительной мере направлял И. В. Жолтовский. Его учениками и последователями стали: Г. П. Гольц, М. О. Барщ, Ю. Н. Емельянов, М. Ф. Оленев, Ю. Н. Шевердяев и др. Они применяли его принципы и методы не только в проектировании, но и в преподавательской деятельности. В 1938—1946 гг. И. В. Жолтовский являлся творческим лидером большей части советских архитекторов. Он также во многом определил характер и методику преподавания в эти годы. Она состояла из подготовительного этапа (овладение рисунком, графическими навыками и углубление знаний по истории архитектуры) и «творческого проектирования», опиравшегося на традиции ренессансной классической архитектуры [1].

В этот период осуществлялись такие крупнейшие постройки Москвы как: Всероссийская сельскохозяйственная выставка (арх. А. В. Щусев, И. В. Жолтовский, В. Д. Кокорин, К. С. Мельников, И. А. и П. А. Голосовы, Н. А. Ладовский и др.), здание типографии и издательства «Известия» (арх. Г. Б. Бархин), комбинат издательства «Правда» (арх. П. А. Голосов),

здание Наркомзема (арх. А. В. Щусев), здание Госбанка (арх. И. В. Жолтовский) и др. Также велось массовое жилищное строительство. Первые генеральные планы реконструкции Москвы создавались академиками архитектуры И. В. Жолтовским и А. В. Щусевым. Академик В. А. Веснин возглавлял архитектурную разработку гидроэлектростанции Днепрогэс, проектировались станции метро, заводы, фабрики, гидротехнические сооружения, новые города, велись работы над реконструкцией существующих городов.

В сохранившихся монографиях этих мастеров остались высказывания о методах работы над архитектурным эскизом. По этим текстам можно представить широкую палитру суждений на эту тему. В качестве иллюстраций этой статьи, построенной на историческом материале (монографиях и публикациях зодчих), использован графический материал, хранящийся в музее Московского архитектурного института.

*Иван Владиславович Жолтовский*

«Для архитектора овладеть рисунком — значит уметь построить плоскостное изображение любого предмета, в любых поворотах и сокращениях. Этот рисунок «disegno», по мнению мастеров Возрождения, является основой всех пространственных искусств. Он дает такое знание объемной формы, которая позволяет изображать ее не только с натуры, но и на память. Пассивное копирование с натуры, которое практикуется в наших архитектурных вузах и академиях, не развивает этих знаний, а убивает их, особенно тогда, когда оно усложняется законченным выполнением» [2]. Далее на вопрос о методе воспитания подлинного мастера и художника И. В. Жолтовский отвечает: «...Я с самого начала стремлюсь развить в нем специфически архитектурное образное мышление, пространственное и объемное, для которого и линия и плоскость являются не более как функциями трехмерности. В связи с этим воспитывается чувство целого и привычка идти от целого и от общего к частям и к единичному, а не наоборот.

Представление о пространственно-объемной композиции как о едином органическом целом, которое членится и размножается согласно особым, чисто архитектурным закономерностям, являясь в то же время творением искусства, выражающим самочувствие человека, его концепцию мира, его отношение к природе, другому человеку и социальной среде, подводит нас к проблеме архитектурного языка. Овладению последним помогает анализ великих произведений прошлого, которые являются замечательной школой архитектурного мышления» [2].

«Все стадии проектирования сопровождаются интенсивной работой над рисунком, наброском. Это — реальные следы, которые оставляет в своем, порою зигзагообразном движении творческая мысль архитектора» [3].

В архитектурных эскизах к проекту Днепрогэса (рис. 1) И. В. Жолтовский демонстрирует метод поиска композиционных решений, в котором сопоставляются разные варианты, выполненные в ортогональных проекциях в одном масштабе [4].

Метод совмещения на одном листе одновременно нескольких вариантов широко использовался мастерами. Этот прием вполне продуктивен при разработке или уточнении архитектурного замысла. Он дает возможность в одном заданном масштабе оценить достоинства и недостатки многочисленных вариантов [5].

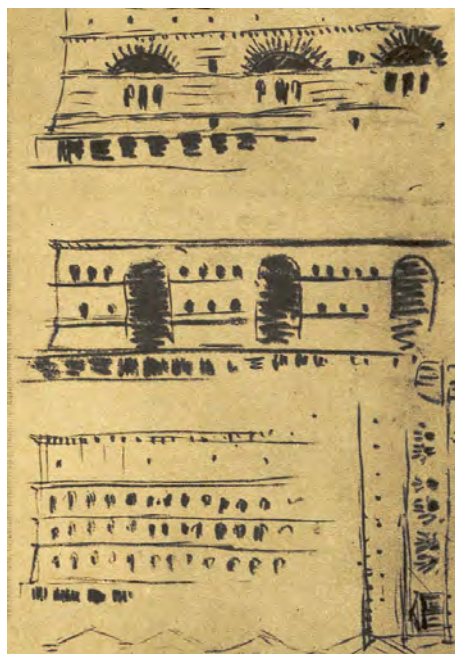


Рис. 1. И. В. Жолтовский. Эскизы к проекту Днепрогэса. 1929 г. Бумага, карандаш

И. В. Жолтовский в поисках архитектурных образов часто использовал и объемные изображения, его мастерская выполняла цветные перспективы, что позволяло уже в эскизе полноценно показать замысел проекта.

*Иван Александрович Фомин*

«Получив программу конкурса, я кладу ее под сукно, не прочитав в ней ничего, кроме целевой установки. Затем делаю в течение нескольких дней наброски как планов, так и фасадов, не связывая себя ни кубатурой, ни этажностью, ни деталями зданий. Только после того, как я нахожу удовлетворяющее меня решение, я начинаю читать программу и выправлять по ней свои первоначальные наброски... В процессе выполнения проекта часто меняю детали и не стесняюсь скоблить уже вычерченные в туши чертежи. Своим ученикам повторяю часто: „Покупая один карандаш, не забудь купить 10 резинок”» [6].

Эскизы к конкурсному проекту Дворца рабочих Нарвского района в Ленинграде уже на первоначальной стадии определили архитектурный образ, выраженный в окончательном проекте, где И. А. Фомин лишь уточнял пропорции и детали, сохраняя композиционную идею на всех этапах проектирования. Путем многократной переработки первоначального эскиза мастер приходит к образу монументального сооружения с торжественно раскрытыми анфиладами портиков. Большое удлиненное пространство двора с потоками людей на эскизе увеличивает масштаб сооружения.

Три эскиза на одном листе (рис. 2) иллюстрируют творческий метод мастера. Сохраняя во всех эскизах перспективное построение с центральной точкой схода, обусловленное симметричной композицией плана, И. А. Фомин, в соответствии с размером изображения, вносит в каждый из них уточняющие архитектурный образ элементы: характер ордера, пропорции, членения.

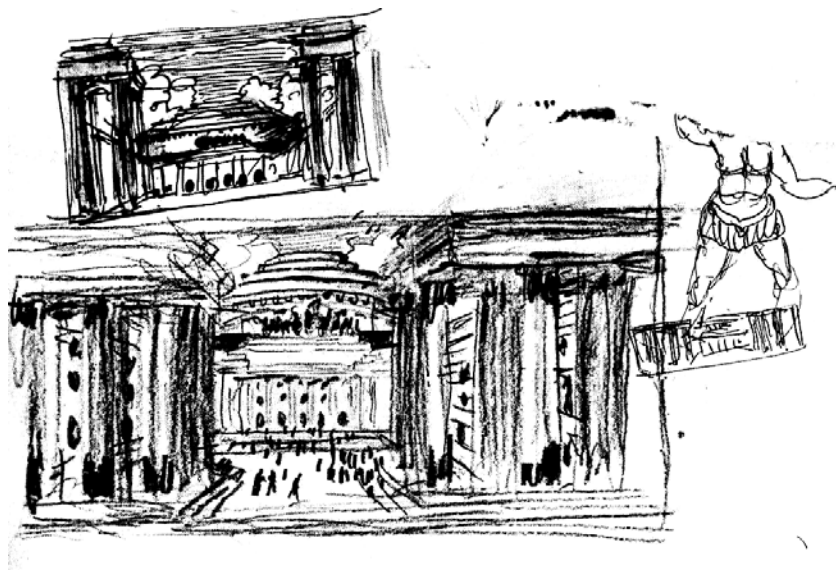


Рис. 2. И. А. Фомин. Эскизы к конкурсному проекту Дворца рабочих Нарвского района в Ленинграде. 1919 г. Бумага, карандаш

В 1925 г. Иван Александрович сформулировал правила архитектурной композиции, отражающие его индивидуальный творческий подход к выполнению проекта. В правила были включены шесть понятий, расположенных в хорошо запоминающейся последовательности: единство, сила, простота, стандарт, контраст и новизна [7]. Объясняя составляющие этой формулы студентам, мастер обращался к примерам из классической архитектуры. В своих проектах он старался использовать те же принципы.

*Илья Александрович Голосов*

«Проектирование я всегда начинаю с внимательного изучения технико-экономических деталей задания. Очень часто это идет даже в ущерб известной «импозантности» проекта, но зато последний значительно выигрывает в своей реальности. Вообще же многократное обдумывание отдельных частей проекта неизбежно. И здесь играет колоссальную роль предварительный набросок и рисунок.

Рисунок конкретизирует отдельные этапы работы архитектора, убеждает в правильности или, напротив, в неправильности найденного решения. Особенно необходим и полезен рисунок на первоначальной стадии проектирования» [8].

При этом Илья Александрович утверждает: «Архитектор, не умеющий рисовать, никогда не сумеет компоновать» [8]. Архитектурный рисунок прежде всего является фактором архитектурного творчества.

Серия набросков И. А. Голосова к конкурсному проекту Дворца Советов в Москве (1932 г.) [9] может служить предметом специального исследования творческого метода проектирования. Эскизы выполнены карандашом на восковой кальке. Ортогональные рисунки выполнены с разных точек зрения и помогают найти характерную для каждого варианта пластическую структуру. В поисках средств архитектурной выразительности Голосов оперирует рисунком как скульптор, добавляя необходимые сечения и детали, рассматривая будущий объект в разных проекциях.

Как и многие архитекторы, Илья Александрович Голосов фиксировал мысли, приходящие во время работы, тут же, на эскизе. Ключ к пониманию общей концепции проекта дает надпись на эскизе (рис. 3): «Идеологически здание Д. С. несет в себе ясную, цельную и мощную сущность, поэтому оно не может быть дробным по массивам».

Можно предположить, что именно в симбиозе графически-текстовых размышлений у И. А. Голосова рождался замысел проекта. Это подтверждается тем, что в опубликованных воспоминаниях мастера мы находим логические параллели с пометками на сохранившихся эскизах.

«В последних своих работах я остро ощущал недостаточность средств выражения современной архитектуры. Выявилась определенная схоластичность и неприятная упрощенность формы. Особенно ярко я осознал все оскудение этой формы при проектировании такого большого сооружения, как Дворец Советов...». Видимо на грани завершения этапа конструктивизма Голосов говорит об освоении классического наследия.

«В настоящее время мой лозунг: новая свободная форма, закономерное ее образование, решительный учет ее художественного значения для современного человека».

Богатое наследие прошлого должно быть учтено и критически освоено современной архитектурой.

Должны быть раскрыты основные принципы классической архитектуры — ее внутренние законы, дабы не впасть в грубую ошибку перенесения классических форм в советскую архитектуру механически» [10]. Последняя фраза корреспондируется с пометкой И. А. Голосова на эскизе (рис. 4): «Не следует смешивать классику со стилями. Классика не стиль и стиль не классика».



Рис. 3. И. А. Голосов. Эскиз к проекту Дворца Советов. Восковая калька, карандаш (Музей МАРХИ)



Рис. 4. И. А. Голосов. Эскиз к проекту Дворца Советов. Восковая калька, карандаш (Музей МАРХИ)

В своих эскизах И. А. Голосов с помощью метода моментальной фиксации замыслов (с помощью текстовых аннотаций) отражает изменение как масштаба, так и степени сложности архитектурных проблем. В них раскрывается поиск образа уникального сооружения — Дворца Советов. Серия эскизов архитектора иллюстрирует также методы поиска различных объемно-пространственных композиций средствами последовательного анализа и оценки ранее выполненных вариантов, не прибегая к ластик или изменению уже выполненного эскиза. Для возможности иметь дальнейший анализ и корректировку И. А. Голосов сохраняет их как серию изображений. Этот метод осуществлялся путем последовательной разработки эскиза. Калька накладывалась на предыдущий рисунок для последующей его разработки и корректировки. Так у И. А. Голосова происходил процесс творческих поисков до получения конечного результата.

*Константин Степанович Мельников*

«В процессе моей работы мне лично не приходится пользоваться рисунками и всякого рода набросками. Я не только не чувствую в этом потребности, но прямо считаю излишним и даже вредным. Рисунок мешает свободному маневрированию мыслей, навязывая графически реализованные решения, даже если оно отвергнуто сознанием. В особенности мне мешают рисунки в первоначальной стадии работы над проектом. Иное дело всякие чисто технические, а не композиционные наброски. Те и полезны и необходимы в работе архитектора» [11].

У К. С. Мельникова никогда на столе не лежали архитектурные книги или журналы. Они не только не были ему нужны, они, очевидно, даже мешали бы ему [12]. Он не старался искать аналогов ни в прошлом, ни в настоящем — он творил новую, ему одному свойственную архитектуру «в формах, доступных только его художественной индивидуальности» [12]. К. С. Мельников опирался не столько на знание и опыт, сколько на свою одаренность и творческую интуицию. Он рассматривал рисунок, особенно на первоначальной стадии проектирования, как чисто техническое средство, но, несмотря на это Мельников также утверждал, что рисунок в творчестве архитектора — одно из средств выражения индивидуальности. Эту мысль он подтвердил примером, написав фамилии студентов скучно и однообразно. Затем попросил каждого расписаться — доска ожила. Каждая роспись была своеобразна, индивидуальна.

Основой творческого мышления К. С. Мельникова являлось представление о художественных качествах геометрических форм, их сочетания, которые он использовал при создании художественных образов сооружений.

Формы К. С. Мельникова всегда конструктивны и остры. «При этом он как бы «отпиливает» или «обрубает» формы крупными геометрическими плоскостями — прямыми, наклонными, полигональными, или трактует их как тела вращения» [4].

Такова и архитектурная графика К. С. Мельникова. Она не традиционна, очень индивидуальна и воспринимается как своеобразный чертеж-плакат (рис. 5).



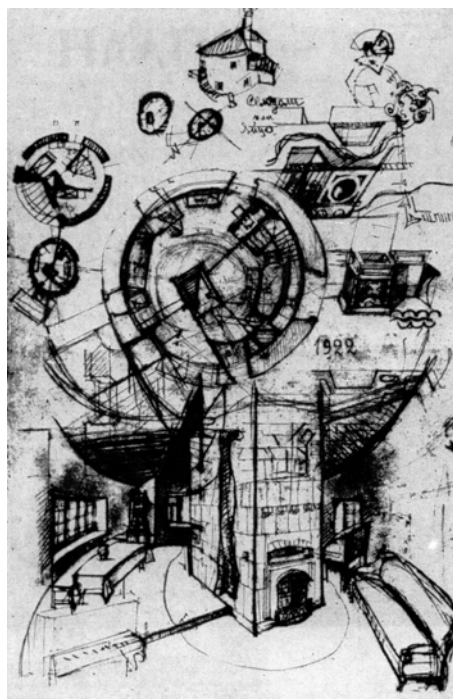


Рис. 5. К. С. Мельников. Эскиз дома-мастерской, начало 20-х гг. XX в.

#### *Виктор Александрович Веснин*

Виктор Александрович Веснин, прекрасно владея архитектурным рисунком, считал это умение первой ступенью архитектурного ремесла.

В записках «Мысли о воспитании архитектора» (1938 г.) Виктор Александрович подводит читателя к пониманию архитектуры как искусства. Уделяя большое внимание развитию образного мышления, он не устает повторять, что «особое внимание следует уделять рисунку».

«Правильная постановка рисунка содействует выработке вкуса, пониманию пропорций, чувству объема и овладению композицией. Задача руководителя при этом — удержать студента от слепого копирования природы и приучить его к осмысленному улавливанию самого существенного в изображаемой натуре. Такое живое преподавание рисунка вырабатывает в учащемся наблюдательность, развивает волю, приучает руку точно следовать замыслу. Оно дает ему чувство красоты и законченности живых форм природы. В классе рисунка обязательно, кроме того, ознакомление учащихся с рисунками лучших мастеров всех времен» [2].

«В архитектурной среде существует вредное заблуждение, что знание рисунка архитектору необходимо только для того, чтобы красиво оформлять проект. Между тем для архитектора, так же как и для художника, рисунок — это прежде всего средство точно выразить свою мысль. Если писатель, поэт выражают свою мысль, образ словами, то архитектор выражает свои замыслы на бумаге графическим путем, в рисунке, наброске, эскизе или чертеже.

Всякое творчество делится на ряд этапов. Первый из них — зарождение идеи, второй — вынашивание замысла и его созревание и, наконец, последний — его реализация.

Умение рисовать архитектору необходимо как раз на последней стадии творческого процесса, чем лучше, свободнее владеет рисунком архитектор, тем свободнее, тем безболезненнее он к ней переходит. Много идей остается не воплощенными из-за неспособности выразить их на бумаге. Отсюда совершенно ясно огромное значение рисунка и то направление, в котором следует вести этот предмет в архитектурных вузах. Прежде всего, надо отменить все методы «срисовывания» и копирования, как методы, приучающие рисующего к пассивному отношению к натуре, к подражанию, к бессмысленному ее повторению. Надо твердо усвоить, что рисование есть активный процесс — большая работы мысли, глаза и руки» [13].

В сохранившихся высказываниях о методах работы над архитектурным эскизом мастеров советской архитектуры можно проследить широкую палитру суждений на эту тему. Мы видим, что точки зрения на методы работы над архитектурным эскизом весьма противоречивы и зависят от индивидуальных особенностей мастера. Тем не менее можно выделить два принципиально отличающихся подхода к архитектурному эскизу.

В первом способе архитектор идет от материальных факторов к образу, иллюстрацией этому способу может послужить фраза И. А. Голосова: «Проектирование я всегда начинаю с внимательного изучения технико-экономических деталей задания...». В такой модели работы обычно присутствует серьезная подготовительная работа, включающая в себя глубокое изучение исходного материала.

Второй способ наоборот ведет от чувственного образа к детальной конструктивной проработке проекта. Так работал И. А. Фомин: «Получив программу конкурса, я кладу ее под сукно, не прочитав в ней ничего, кроме целевой установки...».

Несмотря на противоречивые мнения о месте и роли рисунка в творческом процессе проектирования, этот процесс един, и различия приведенных высказываний говорят лишь о том, что зодчие подходят к творчеству с разных позиций. При этом всех мастеров архитектуры объединяет понимание важной творческой роли эскиза в процессе работы над проектом.

В высказываниях зодчих лейтмотивом прослеживаются темы, связанные с проблемами мастерства, раскрытия внутреннего потенциала архитектора за счет владения художественными навыками. Владение этими навыками являются и на сегодняшний день немаловажными составляющими в процессе проектирования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архитектурные школы Москвы. Исторические данные. 1749—1995. Сборник 1. М. : Издательство МОЛ СЛ Россия, 1995. С. 53.
2. Мастера советской архитектуры об архитектуре. М., 1975. С. 31.
3. Жолтовский И. В. Принцип зодчества // Архитектура СССР. 1933. № 5. С. 28.
4. Зайцев К. Г. Графика и архитектурное творчество. М. : Стройиздат, 1979. С. 94, 99.
5. Хан-Магомедов С. О. Иван Жолтовский. Русский авангард. М., 2010. С. 122.
6. Фомин И. А. Из моего творческого опыта // Архитектура СССР. 1933. № 5. С. 33.
7. Лисовский В. Г. Иван Фомин и метаморфозы русской неоклассики. СПб. : Издательский Дом «Коло», 2008. С. 386.
8. Голосов И. А. О большой архитектурной форме // Архитектура СССР. 1933. № 5. С. 44.
9. Хан-Магомедов С. О. Илья Голосов. М. : Архитектура-С, 2007. С. 82.
10. Голосов И. А. Мой творческий путь // Архитектура СССР. 1933. № 1. С. 24—25.

- 
11. Мельников К. С. Мир художника. М., 1985. С. 118—119.
  12. Быков В. Е. Константин Мельников и Георгий Гольц // Советская архитектура. 1969. № 8. С. 52.
  13. Веснин В. А. Мысли о воспитании архитектора // Архитектура СССР. 1938. С. 56.
- 
1. Arkhitekturnye shkoly Moskvy. Istoricheskie dannye. 1749—1995. Sbornik 1. М. : Izatel'stvo MOL SL Rossiya, 1995. S. 53.
  2. Mastera sovetskoy arkhitektury ob arkhitekture. М., 1975. S. 31.
  3. Zholtovskiy I. V. Printsip zodchestva // Arkhitektura SSSR. 1933. № 5. S. 28.
  4. Zaytsev K. G. Grafika i arkhitekturnoe tvorchestvo. М. : Stroyizdat, 1979. С. 94, 99.
  5. Khan-Magomedov S. O. Ivan Zholtovskiy. Russkiy avangard. М., 2010. S. 122.
  6. Fomin I. A. Iz moego tvorcheskogo opyta // Arkhitektura SSSR. 1933. № 5. S. 33.
  7. Lisovskiy V. G. Ivan Fomin i metamorfozy russkoy neoklassiki. SPb. : Izdatel'skiy Dom «Kolo», 2008. S. 386.
  8. Golosov I. A. O bol'shoy arkhitekturnoy forme // Arkhitektura SSSP. 1933. № 5. С. 44.
  9. Khan-Magomedov S. O. Il'ya Golosov. М. : Arkhitektura-S. 2007. С. 82.
  10. Golosov I. A. Moy tvorcheskoy put' // Arkhitektura SSSP. 1933. № 1. С. 24—25.
  11. Mel'nikov K. S. Mir khudozhnika. М., 1985. S. 118—119.
  12. Bykov V. E. Konstantin Mel'nikov i Georgiy Gol'ts // Sovetskaya arkhitektura. 1969. № 8. S. 52.
  13. Vesnin V. A. Mysli o vospitanii arkhitektora // Arkhitektura SSSP. 1938. S. 56.

© Кожевников А. М., 2013

Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Кожевников А. М. Об опыте работы мастеров советской архитектурной школы 30—40-х гг. XX в. над архитектурным эскизом // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 267—275.

УДК 726.54(470.45)

**В. В. Серебряная**

**ОБЩНОСТЬ РАЗВИТИЯ КОМПОЗИЦИИ В КУЛЬТОВОЙ АРХИТЕКТУРЕ  
ВИЗАНТИЙСКОГО СТИЛЯ НА ЮГЕ РОССИИ И В СЕРБИИ  
ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XIX — ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XX вв.**

Сопоставляются особенности композиции храмов византийского стиля Сербии и Юга России второй половины XIX—первой половины XX вв. Анализируются памятники, планировочная и объемно-пространственная структура которых сложилась под воздействием культовых сооружений Византии. Архитектура византийского стиля данных стран подвергнута анализу в русле проблемы неразрывных связей.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** Волгоград, архитектура, дизайн, двор, место, реконструкция, развитие.

The features of the composition of temples of the Byzantine style in Serbia and the South of Russia in the second half of XIX—the first half of the XX centuries are compared. The monuments, the planning and volume and space structure of which was developed under the influence of cult constructions of Byzantium, are analyzed. The architecture of the Byzantine style of these countries is subjected to the analysis within the frameworks of the inextricable connection problem.

**Key words:** Volgograd, architecture, design, yard, place, reconstruction, development.

В статье рассматриваются взаимоотношения храмовой византийской архитектуры с культовым зодчеством в Сербии и России. Выясняется вопрос о том, насколько аналогичны эти процессы в данных странах и насколько проявилось влияние зодчества Византии в развитии композиции храмов этих стран во второй половине XIX—первой половине XX вв.

Обе страны богаты памятниками интересующего нас периода, анализ которых позволяет проследить процессы развития архитектуры, возникшей на основе византийского наследия. Территориально внимание сосредоточено в первую очередь на церковных зданиях, расположенных в Волгоградской, Ростовской, Астраханской областях, которые являются частью одного из крупных регионов России (Южный Федеральный округ). Этот выбор сделан не случайно, так как в рассматриваемый период в русской архитектуре на Юге России строилось много храмов высокого художественного уровня в русско-византийском и неовизантийском стилях, которые еще недостаточно изучены. Круг сербских памятников православного культового зодчества бывшей Югославии ограничен в основном постройками в границах нынешней Сербии.

На протяжении долгого времени источником для храмового строительства православных храмов в России и Сербии была мастерская мира — Византия. К ней обращались не только в средневековый период развития двух этих славянских стран, но и со второй половины XIX в., когда вновь проявился большой интерес к византийскому наследию. Начиная со второй половины XIX в., в обеих странах возводится большое количество церквей в византийской традиции. В Сербии с 1882 по 1894 гг. было сделано около 40 проектов сельских церквей в обновленном сербско-византийском стиле [1]. Сербской архитектуре XIX в. посвящены следующие исследования:

Богдан Несторовић. Архитектура Србије у XIX веку. Београд Арт Прес, 2006; Александар Кадиевич. Један век тражења националног стила у српској архитектури. Београд, 1997. По сведениям, приведенным Г. В. Барановским в «Архитектурной энциклопедии второй половины XIX века», в России среди 220 проектов и построек православных храмов 45 были выполнены в византийском стиле [2]. Особенно много по всей России возводилось храмов в «византийском стиле» в последней трети XIX в.

Почему Россия и Сербия вновь обращаются к своим истокам, к Византии? Причиной этого являлось их историческое развитие, стремление к осознанию и утверждению самобытной национальной культуры. Это было обусловлено ростом национального самосознания. Для становления византийского стиля в России имели также значительные события — 900-летие крещения Руси и 1000-летие Русского государства. Начинается изучение памятников византийского круга. Появляются фундаментальные исследования по византийской архитектуре и искусству [3].

В Сербии особенно востребованным византийский стиль оказался в период освобождения от турецкого ига, под которым она находилась с XV в. до середины XIX в. Византийский стиль осмысливался сербами в духе национальных традиций особенно после освобождения от турецких завоевателей.

Архитекторы в Сербии и России со второй половины XIX в. глубоко изучали композиционные формы и декоративные элементы средневекового зодчества Византии. Сохраняя композиционное и художественное единство византийских образцов, творчески усваивая византийские традиции, они создавали православные храмы, используя и особенности национальной средневековой архитектуры.

В обеих этих странах византийский стиль развивался наиболее последовательно и длительно. Особое место он занимал в России. Здесь он получил распространение с середины XIX в. и прекратил свое существование после 1917 г. В Сербии распространение византийского стиля охватывает более длительный период с 1850-х гг. и до начала Второй мировой войны.

Термин «византийский стиль» возник в России в 1830-е гг. Он являлся источником в поисках русского стиля. Основателем и идеологом русско-византийского стиля был К. Тон, который придавал большое значение архитектуре Византии в становлении православного зодчества.

Церковное строительство в русско-византийском стиле по образцовым проектам, созданным и изданным К. Тоном в 1838 и 1844 гг. в двух альбомах, получило широкое распространение по всей стране. По проектам К. А. Тона на Юге России появляется ряд крупных построек. Например, архитектор А. С. Кутепов использовал проект К. Тона для строительства собора Пресвятой Богородицы (1854—1860) в г. Ростове-на-Дону (рис. 1). Следуя К. А. Тону, А. С. Кутепов ориентируется на раннемосковские храмы (традиционное луковичное пятиглавие, килевидные закомары, наличники с килевидными архивольтами).

Проявление русско-византийского стиля можно наблюдать также в сербских храмах, выстроенных по проектам русских архитекторов. Примером может служить Новая Соборная церковь в Крагуевце (1869—1880). Ее автором был российский архитектор Андрей Андриевич, который получил образование в 60-е гг. XIX в. в России.



Рис. 1. Собор Пресвятой Богородицы (1854—1860) в г. Ростове-на-Дону. Фото автора

Проект Андрея Андриевича, как и проекты ряда русских архитекторов, работающих в Сербии, отличался от российских храмовых зданий в византийском стиле. В Новой Соборной церкви в Крагуевце ясно выражена сербская национальная специфика. А. Андриевич ориентировался на традиции романского зодчества.

Постройки, выполненные в 1840—1860-е гг. как в Петербурге, Москве, так и во многих городах русской провинции, представляли собой начальный этап византийского стиля. Архитекторы работали как в русском, так и в византийском стилях. В этот период «византийские и древнерусские подлинники оставались еще малоизученными и неизвестными широкому кругу зодчих» [4].

В 1870—1890-е гг. образцами для русских архитекторов, работающих в византийском стиле, становятся памятники подлинно византийского зодчества, сохранившиеся на территории Балкан, Армении и Грузии. Зодчие обращаются к византийским прототипам. В связи с чем, в конце XIX в. в проектировании и строительстве православных храмов в России и Сербии появляется направление, получившее название «неовизантийский стиль». На этом этапе развития византийского стиля в России происходило стремление к созданию «большого стиля», воплотившегося в грандиозные храмы конца XIX—начала XX вв. как в неовизантийском, так и в неорусском стилях. Стремление создания «большого стиля», потребность в монументальной церковной архитектуре наблюдается за пределами России, в том числе и в Сербии.

В 70-е гг. XIX—начале XX вв. в российской провинции, особенно у южных и западных границ, возводится значительное число церковных построек. Ведущее положение в храмостроении Юга России занял неовизантийский стиль. Здесь имеются выдающиеся памятники культового зодчества неовизантийского стиля, отличающиеся высоким мастерством и уровнем исполнения. Они выстроены по проектам прекрасных знатоков византийской архитектуры — академиков И. И. Горностаева, А. А. Яценко, В. А. Косякова.

На примере исканий зодчих последней трети XIX — начала XX вв. южного региона России и Сербии (до 1940-х гг.) постараемся выяснить общность композиции церковных зданий неовизантийского стиля. Неразрывная связь русских и сербских средневековых храмов с византийским зодчеством прослеживается в крестово-купольном композиционном типе. Этот тип храма сформировался в Византии еще в VI в. и к IX в. окончательно вытеснил купольную базилику. Сербия и Россия из Византии заимствовали крестово-купольную систему, прежде всего, в варианте вписанного креста.

В храмостроении обеих стран она преобладала на протяжении нескольких столетий. Архитекторы XIX в. опирались на богатейший опыт средневековых зодчих. Поэтому не случайно традиционная крестово-купольная система получила широкое применение в храмах неовизантийского стиля в разных вариантах.

Основные положения этого стиля на Юге России наиболее ярко проявились в кафедральных соборах: Казанском в Оренбурге (1886—1895), Вознесенском в Новочеркасске (1891—1904), Александра Невского в Царицыне (сегодня Волгоград) (1901—1918), выполненных по проектам архитектора, академика Области Войска Донского А. А. Яценко (рис. 2).

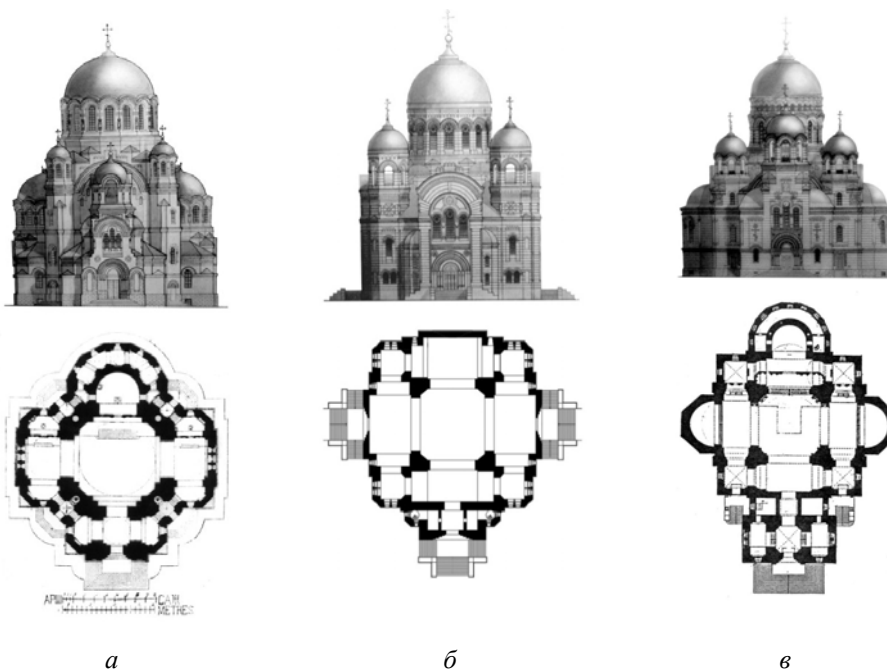


Рис. 2. Кафедральные соборы А. А. Яценко (по Е. Евенко): *а* — Казанский кафедральный собор в г. Оренбурге; *б* — собор Александра Невского в г. Ростове-на-Дону; *в* — Вознесенский кафедральный войсковой собор в г. Новочеркасске

Из построенных А. А. Яценко соборов сохранился только собор в г. Новочеркасске, остальные известны нам по письменным и иконографическим источникам. Все эти соборы строились в память важных событий российской истории. Казанский и Вознесенский возведены во славу Оренбургского и

Донского казачества, собор Александра Невского в Царицыне строился в ознаменование события, связанного с железнодорожной катастрофой 17 октября 1888 г., в которой не пострадала царская семья. Возведение этих трех соборов заключало в себе идею храма-памятника. Для ее реализации А. А. Яценко обращается к византийским образцам, к торжественным и величественным храмам христианского востока.

Надо полагать, что данный тип храма был выбран неслучайно, так как идея храма как символа героизма отражена в нем наиболее полно.

Как приверженец византийского стиля А. А. Яценко заявил о себе в первой крупной работе — кафедральном соборе Казанской Божьей Матери в Оренбурге. Собор был заложен 8 сентября 1886 г. и освящен 19 октября 1895 г. Оренбургский собор своеобразный вариант крестово-купольного четырехстолпного типа храма. Уже в самом его замысле заключен глубокий символический смысл: световой купол, опирающийся на подпружные арки — это прообраз осенения молящихся, символ горнего Иерусалима — небесный Сион — рай, где должны были найти себе загробное успокоение и вечное блаженство души тех, которые отдали свою жизнь за «други своя».

Архитектурный образ Казанского собора основан на строгом центрическом построении и реализуется в первую очередь средствами византийской архитектуры. Он получил компактный план и объем. Центричность плана наиболее точно выражала основное идейное содержание.

В основе плана собора в Оренбурге лежит греческий равноконечный крест со срезанными углами западной, северной, южной ветвей и закругленной восточной ветвью. Объемная композиция храма представляет единую систему различных гармонически связанных объемов, увенчанных полусферическим куполом на высоком световом барабане. Особо выделена алтарная апсида. Чтобы подчеркнуть идею алтаря-света, святую святых в храме, А. А. Яценко расширяет апсиду внизу, окружает ее пониженной апсидой типа крытой галереи (ризницей). Таким образом, вокруг алтаря образовался полукольцевой обход.

А. А. Яценко работал над проектом кафедрального Вознесенского собора в столице Войска Донского городе Новочеркасске (рис. 3). Это самый грандиозный (в осях  $61,8 \times 76,7$  м, высота с куполом 75 м) и выразительный храм неовизантийского стиля на Юге России. Он опять обращается к «византийскому стилю». Таким образом, Новочеркасский собор — естественное продолжение его работы в этом направлении, но в нем еще ярче проявились реминисценции византийского наследия. Тем самым зодчим подчеркивалась непрерывность традиций, что было актуально для периода русской истории второй половины XIX в.

Вознесенский собор в Новочеркасске увенчан пятью куполами с возвышающимся главным куполом и пониженными четырьмя звонницами с малыми куполами. По сравнению с Казанским собором у Вознесенского собора несколько сложнее объемное решение, сочетание купола и башенных вертикалей. Купол почти в форме полусферы завершает композицию, подхватывает структуру нижней части и одновременно объединяет собой все сложное построение композиции храма. В куполе Вознесенского собора ярче подчеркнута его символическое значение, чем в Казанском в Оренбурге. Символикой наделено и внутреннее пространство. Высоко расположенные в два



ряда окна на барабане хорошо освещают зону подкупольного пространства, купол как бы парит над ним, полусферический свод (образ равного сияния или света божьего) сходит на человека с небес, отражает представления о мироздании. Строительство Вознесенского собора имеет длительную историю. Первый проект был выполнен в стиле классицизм архитектором А. И. Руска в 1805 г. Второй — в 1825 г. архитектором О. И. Вальпреде в русско-византийском стиле. Однако оба эти проекта не были осуществлены. Осуществлен был третий проект А. А. Яценко в неовизантийском стиле.

Генетически с византийских храмов переносится на фасады собора и декор. Общая концепция декора храма выражена в орнаменте, изображениях, расположенных в разных частях фасадов. Характерную для поздневизантийского зодчества «полосатость» на фасадах зданий зодчий заменил ленточным рустом.



Рис. 3. Вознесенский собор в Новочеркасске А. А. Яценко. Фото автора

Третий кафедральный собор, связанный с именем А. А. Яценко, собор Александра Невского в Царицыне (1901—1916, освящен в 1918 г.) (рис. 4) [5]. Он был построен на основе переработанных в 1897 г. ведущим саратовским губернским архитектором Ю. Н. Терликовым чертежей Казанского собора в Оренбурге. Судить с большой обстоятельностью о соборе в Царицыне затруднительно из-за отсутствия значительного графического материала. Доступный автору иконографический материал и архивные документы дают возможность говорить о некоторых изменениях проекта А. А. Яценко, внесенных Ю. Н. Терликовым. Несомненно, в крупном объеме собора Александра Невского ощущается воздействие торжественно-триумфального Оренбургского собора. Отталкиваясь от типологической схемы Казанского собора, Ю. Н. Терликов более развил композицию по вертикали. Он применил те же приемы византийского стиля, которые уже были воплощены А. А. Яценко в Казанском соборе. Дошедшие чертежи других проектов Ю. Н. Терликова свидетельствуют о том, что он прекрасно передавал рисунок византийских окон, декор.



Рис. 4. Собор Александра Невского в Царицыне (1901—1916, освящен в 1918 г.). Макет

По проекту, разработанному А. А. Яценко в 1890 г., был построен в Ростове-на-Дону еще один пятиглавый, крестово-купольный четырехстолпный храм Александра Невского (1891—1907) со звонницами в боковых углах креста (рис. 5).



Рис. 5. Храм Александра Невского (1891—1907) в Ростове-на-Дону А. А. Яценко. Фото автора

В завершении фасадов А. А. Яценко в этой постройке сочетает черты собственно византийской и сербской архитектуры периода ее расцвета — XIII—XIV вв. Например, Богородицы Левишской (1307) в Призрене (Метохия), церковь Успения Богородицы в монастыре Грачанице (1318) под Приштиной (Косово) (рис. 6) [6]. К этому лучшему средневековому памятнику в Сербии обращались зодчие в течение длительного времени, брали его за пример сербско-византийского стиля.



Рис. 6. Церковь Успения Богородицы в монастыре Грачанице (1318)

Монументальные пятиглавые храмы в неовизантийском стиле возводятся в Сербии со второй половины XIX в. Именно тип храма стал воплощением тех образных исканий, которые в своих истоках восходили к сербско-византийскому стилю. Примером может служить церковь Св. Спиридона в Триесте (1861—1869). Проект был выполнен архитектором из Милана Карлом Мачиакини.

Поиски архитектурного образа храмов, исходящих из исторических ассоциаций, начатые в Сербии в середине XIX в., были продолжены строительством пятиглавых храмов в первой половине XX в. Композиционная тема — пятиглавие имеет генетическое родство с византийской архитектурой в церкви Св. Борча на Опленце (1919). В этой церкви заметно стремление автора проекта Коста Иов. Иованович ближе подойти к подлинно византийским прототипам. Это, прежде всего, проявилось в объемной композиции, где боковые главы размещены по сторонам света (покоятся на руках равноконечного креста).

Связь сербской архитектуры с византийской строительной культурой и сербско-византийским стилем несомненна в монументальной и пятиглавой церкви Св. Марка в Белграде (1932—1939). Построена церковь по проекту архитекторов братьев Петару и Бранку Крстичам. Импульс для творческих исканий дало выдающееся произведение сербского средневекового зодчества — храм Успения Богородицы в Грачанице. Архитектурная композиция фасадов церкви Св. Марка в Белграде строится на основе элементов архитектурной композиции храма в Грачанице и прежде всего пирамидальность композиции, что в первую очередь характерно для прототипа. Основная часть храма представляет собой слегка вытянутый в плане объем, который венчает легкий пологий центральный купол на повышенном барабане, в верхней части которого проходит пояс полукружий, как во многих византийских церквях. Интерьер церкви Св. Марка отличается своеобразием, которое как и в церкви в Грачанице заключается в ступенчато повышающихся к подкупольному объему сводах. Эффектное подкупольное пространство покоится на четырех круглых с византийскими капителями колоннах.

Византийское влияние отмечено на самом грандиозном пятикупольном храме в православном мире — кафедральном соборе Саввы Сербского в Белграде на Врачаре (рис. 7, 8). Его строительство по ряду причин затянулось на долгие годы. Строительство храма началось в 1894 г. и только в 1989 г. было завершено. Его официальное открытие состоялось в 2004 г. Однако еще сегодня в нем продолжают внутренние работы. В результате проведенного в 1926 г. конкурса на строительство собора третью премию (первые две не были присуждены) получил архитектор Богдан Несторович [7]. Особенность типологического решения собора Св. Саввы определялась его религиозной и общественно-культурной спецификой. Собор должен был стать главным зданием при общественном центре столицы, патриаршим храмом.

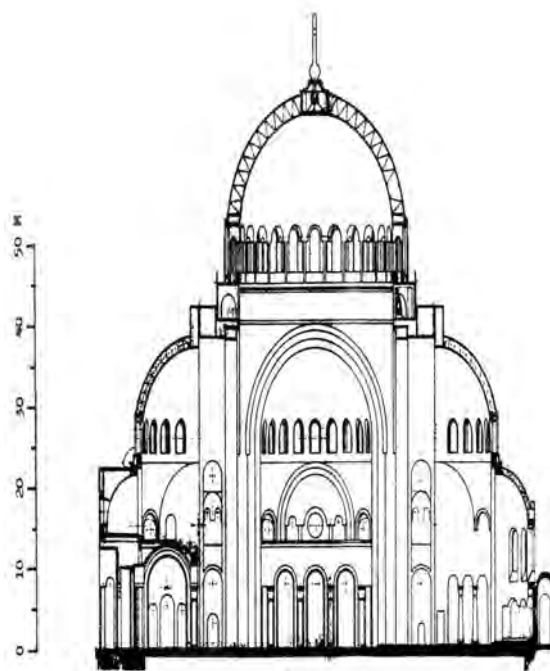


Рис. 7. Собор Саввы Сербского в Белграде (1894—1989). Разрез

По своим размерам собор Св. Саввы ( $91 \times 81$  м, высота 65 м, диаметр купола 34 м) превосходит Софийский собор в Константинополе ( $75 \times 70$  м, высота 40 м, диаметр 33 м). Сходство с собором Св. Софии выразилось в том, что как и в соборе Св. Софии над всем сложным сооружением господствует купол на низком барабане, прорезанном большим количеством окон, обширные высокие экседры примыкают к подкупольному объему. Однако по своему планировочному решению собор Св. Саввы принципиально отличается от собора Св. Софии. В планировке собора Св. Софии наблюдается отход от базилики и начало формирования крестово-купольного типа храма. В соборе Св. Саввы в основе плана лежит греческий равноконечный крест. В интерьере достигнуто единство всего пространства. В убранстве интерьера широко используется богатейшая резьба капителей, орнамента соответствующая византийским образцам.



Рис. 8. Собор Саввы Сербского в Белграде (1894—1989). Фото автора

Наряду с пятиглавыми храмами в неовизантийском стиле в обеих странах возведено немало одноглавых храмов. Композиционно они соприкасались со средневековой архитектурой Сербии и Древней Руси. В архитектуре Древней Руси прослеживаются те же принципы и концепции, что и в балканских странах, однако они выражались в национальных формах. На Руси преобладание таких храмов начинается на рубеже XI—XII вв. и продолжается до XV в.

В Сербии на протяжении XI—XIV вв. получили распространение небольшие одноглавые храмы крестово-купольной системы в варианте вписанного креста, которая следовала принципам и тенденциям архитектуры ближайшей византийской провинции — Греции. Сербские храмы даже в большей степени связаны с храмами Афонской горы. Например, в Семендрии при Дунае (XI в.), в монастыре Жича на реке Ибаре (XII в.), в монастыре Студенице (XII в.) и др. Опираясь на византийские источники, во второй половине XIX в. в России и Сербии начинают возводить крупные одноглавые храмы, рассчитанные на большой круг молящихся.

К композиции тетраконха при проектировании Владимирского собора в городе Астрахани (1895—1904) обращается один из видных представителей неовизантийского стиля в России, выдающийся петербургский архитектор В. А. Косяков (рис. 9). Он был хорошо знаком с подлинниками византийской архитектуры в Константинополе и на Афоне и приложил немало сил для возрождения ее композиционных приемов и декоративных мотивов на русской почве.



Рис. 9. Владимирский собор в г. Астрахани (1895—1904). В. А. Косяков. Фото автора

Среди одноглавых четырехстолпных крестово-купольных храмов неовизантийского стиля в Южном регионе Владимирский собор является самым значительным произведением. В его объемно-пространственной композиции доминирует купол на утяжеленном барабане с полукружиями в карнизе. К столпообразному центральному объему прижаты экседры. Апсида окружена высокой полуколыцевой ризницей. Узкий переход соединяет храм с возвышающейся небольшой колокольней. Таким образом, вертикальность тетраконха в общей компоновке масс достигается не за счет колокольни, а за счет самого собора.

Рассмотрим одноглавый храм Преображения (1874—1878) в Панчеве в неовизантийском стиле, построенный по проекту Святозара Ивачковича [8]. Церковь в Панчеве Преображенская церковь — первая построенная в Сербии в неовизантийском стиле. Структура храма — крестово-купольное ядро, увенчанное мощным световым барабаном с высоким сферическим куполом и миниатюрным фонариком. В этом сооружении прослеживается связь сербско-византийской и западной архитектуры. Форма и размер купола по очертаниям близка к куполам ренессанса и классицизма, на смену которому пришел новый стиль. Примечательна эта церковь своей колокольней. Прежде всего, поражает ее высота. Несомненно, архитектор находился под влиянием многочисленных башен-колоколен и башен итальянских палаццо в первую очередь периода проторенессанса. Святозар Ивачкович в этой церкви использует не столько прямой образец, сколько обобщенный образ исторического наследия.

Базиликальные композиции в неовизантийском стиле русской архитектуры практически не получили распространение. В регионе, о котором идет речь в статье, воспроизведена схема базиликального типа храма в Казанском соборе (1875—1885) в Спасо-Преображенском Усть-Медведицком монастыре (Волгоградская область) (рис. 10) [12]. Собор построен по проекту одного из зачинателей византийского стиля академика И. И. Горностаева. Работы

проводились под наблюдением А. А. Ященко. В основе плана лежит трехнефная базилика. Нефы разделены двумя рядами прекрасных мраморных колонн по три в каждом. Резные капители колонн точно скопированы с византийских прототипов.



Рис. 10. Казанский собор (1875—1885) в Спасо-Преображенском Усть-Медведицком монастыре. И. И. Горностаев. Фото автора

Свой вклад в развитие неовизантийского стиля в Сербии внесли архитекторы из России, которые после событий 1917 г. обрели здесь вторую родину. Им был известен богатый опыт русской архитектуры в этом направлении. Храмы архитекторов В. Андросова, И. А. Рика, В. Лукомского, Н. Краснова, В. Сташевского, Г. Самойлова и многих других отличаются разнообразием и высочайшим профессионализмом.

Анализ, проведенный нами, храмов неовизантийского стиля в Сербии и на Юге России свидетельствует об интенсивной строительной деятельности зодчих этих стран во второй половине XIX — первой половине XX вв., их активное обращение к византийским истокам.

Возводятся как пятиглавые, так и одноглавые храмы, композиционно наиболее соприкасающиеся со средневековой традицией своих стран, что, однако, не противоречило византийским источникам. Надо отметить форму куполов. Она имеет ряд вариантов — от купола на низком барабане эпохи царствования Юстиниана как в Софии в Константинополе и более позднего времени на высоких барабанах с поясом полукружий в их завершении, полусферирических.

Храмы в неовизантийском стиле, созданные зодчими в России и Сербии, характеризуются богатством декора. Большое значение в декоре храмов в Сербии и России имело кирпичное узорочье. В России декорация храмов неовизантийского стиля определялась влиянием византийской архитектуры периода

Палеологов и балканских стран. Обращались русские архитекторы и к элементам декора на древнерусских храмах и храмах кирпичного стиля, получившего широкое распространение в России во второй половине XIX в. не только в культовой архитектуре. При всем при этом в стилистике культовых сооружений в неовизантийском стиле преобладала византийская составляющая.

Исходя из анализа храмовой архитектуры, проведенного в контексте сложившегося в России (на примерах Юга России) и Сербии неовизантийского стиля, надо отметить, что как русские, так и сербские архитекторы были талантливыми стилизаторами византийской архитектуры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ПРОТОЋАКОН ДР ПРИБИСЛАВ СИМИЋ. Црквена уметност. Београд, 2000. С. 376.
2. Барановский Г. В. Архитектурная энциклопедия второй половины XIX века : В 4 т. Спб., 1902. Т.1.
3. Гримм Д. И. Памятники Византийской архитектуры в Грузии и Армении. СПб., 1866; Гагарин Г. Г. Собрание византийских, грузинских и древнерусских орнаментов и памятников архитектуры : В 3 кн. СПб., 1897—1903; Кондаков Н. Н. Византийские церкви и памятники Константинополя // Труды VI Археологического съезда. Одесса, 1886. Т. 3.
4. Кириченко Е. И. Судьба России в судьбе храма Христа Спаситель в Москве (Об историчности проблемы национального) // Региональные и национальные аспекты в архитектуре: наследие и перспективы. Казань, 2003. С. 49.
5. К истории сооружения соборного храма в Царицыне Саратовской губернии. М., 1902; ГАВО. Ф. 71. Оп.1.Д. 592; РГИА. Ф. 1284. Оп. 187. Д. 108. Л. 1,2; ГАСО Ф. 25. Оп. 1. Д. 917. Л.Л. 634-634 об.
6. Слободан Ћурчић. Грачаница. Историја и архитектура. Београд, 1999.
7. Дерекo А. Монументална и декоративна архитектура у средњевијековној Србији. Београд, 1953.
8. ПРОТОЋАКОН ДР ПРИБИСЛАВ СИМИЋ. Указ. соч. С. 375.
9. ГАРО. Ф. 226. Оп. 3. Д. 7683.
1. ПРОТОЋАКОН ДР ПРИБИСЛАВ СИМИЋ. Тsrkvena umetnost. Beograd, 2000. S. 376.
2. Baranovskiy G. V. Arkhitekturnaya entsiklopediya vtoroy poloviny XIX veka : V 4 t. Spb., 1902. T.1.
3. Grimm D. I. Pamyatniki Vizantiyskoy arkhitektury v Gruzii i Armenii. SPb., 1866; Gagarin G. G. Sobranie vizantiyskikh, gruzinskikh i drevnerusskikh ornamentov i pamyatnikov arkhitektury : V 3 kn. SPb., 1897—1903; Kondakov N. N. Vizantiyskie tserkvi i pamyatniki Konstantinopolya // Trudy VI Arkheologicheskogo s"ezda. Odessa, 1886. T. 3.
4. Kirichenko E. I. Sud'ba Rossii v sud'be khrama Khrista Spasitel' v Moskve (Ob istorichnosti problemy natsional'nogo) // Regional'nye i natsional'nye aspekty v arkhitekture: nasledie i perspektivy. Kazan', 2003. S. 49.
5. K istorii sooruzheniya sobornogo khrama v Tsaritsyne Saratovskoy gubernii. M., 1902; GAVO. F. 71. Op.1.D. 592; RGIA. F. 1284. Op. 187. D. 108. L. 1,2; GASO F. 25. Op. 1. D. 917. L.L. 634-634 ob.
6. Slobodan ħurchiћ. Grachanitsa. Istorja i arkhitektura. Beograd, 1999.
7. Dereko A. Monumental'na i dekorativna arkhitektura u srednevekovnoĴ SerbĴi. Beograd, 1953.
8. ПРОТОЋАКОН ДР ПРИБИСЛАВ СИМИЋ. Ukaz. soch. S. 375.
9. GARO. F. 226. Op. 3. D. 7683.

© Серебряная В. В., 2013

Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Серебряная В. В. Общность развития композиции в культовой архитектуре византийского стиля на Юге России и в Сербии во второй половине XIX — первой половине XX вв. // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 276—288.



## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ**

УДК 502.5 : 519.816

**Б. Х. Санжапов, А. А. Мурадов, Р. Б. Санжапов**

### **ОЦЕНКА РИСКА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ**

Рассмотрены принципы формирования механизма поддержки принятия решений для оценки риска реализации программы стратегического развития урбанизированной территории. Представлена схема формализации исходной качественной информации при использовании теории нечетких множеств. Показана целесообразность предложенных процедур при стратегическом экологическом оценивании проектов развития городских территорий.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** экологическая безопасность, стратегическое экологическое оценивание, поддержка принятия решений, нечеткие множества, риск, экспертные оценки.

The formation principles of the mechanism of decision-making support for risk assessment of the implementation of the program of strategic development of the urbanized territory are considered. The scheme of formalization of the initial qualitative information when using the fuzzy sets theory is represented. The authors show the advisability of the offered procedures at the strategic ecological estimation of the projects on the development of urban areas.

**Key words:** ecological safety, strategic ecological estimation, decision-making support, fuzzy sets, risk, expert estimates.

Планирование развития городских территорий и анализ функционирования существующих связаны в первую очередь с оценкой антропогенного воздействия объектов хозяйственной деятельности на окружающую среду. В связи с этим необходимо использовать существующие и разрабатывать новые методы принятия проектных решений, с помощью которых можно прогнозировать развитие городской среды с учетом экологической безопасности. Возникает необходимость стратегического экологического оценивания предлагаемых вариантов реализации программ развития урбанизированных территорий. Стратегическое экологическое оценивание (СЭО, SEA (Strategic Environmental Assessment)) направлено на оценку возможных экологических последствий (включая воздействие на здоровье населения) реализации разрабатываемых прогнозных и программных документов и выбор приемлемой альтернативы развития, что способствует повышению качества и эффективности системы планирования, а также увеличению доверия общественности к процессу принятия управленческих решений [1].

На сегодняшний день наиболее значимым законодательным документом, который определяет минимальные общие процедуры для СЭО является

Европейская Директива 2001/42/ЕС по оценке экологических последствий реализации отдельных планов и программ [2]. В Директиве прописана процедура проведения систематической, превентивной, основанной на экологической оценке проектов и открытой с участием различных заинтересованных сторон и общественностью процедуры СЭО.

Использование СЭО в исследовании перспективности реализации планов развития территорий должно также включать вопросы управления этими территориями. Традиционно эти вопросы изучались в рамках подхода, базирующегося на оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС). Тем не менее СЭО позволяет исследовать вопросы экологической безопасности в более широкой постановке, чем в рамках ОВОС.

В настоящее время принятая система проектирования развития урбанизированных территорий основывается на информации, носящей нередко качественный характер, задаваемой в виде экспертных оценок.

Экспертные оценки отражают субъективное мнение специалистов в данной предметной области — экспертов. Они задаются как в количественном, так и в качественном виде. Поэтому при реализации последнего случая возникают трудности с количественной интерпретацией полученных качественных результатов для их использования в системах принятия решений. В связи с этим необходима разработка информационной поддержки принимаемых решений на основе использования методов обработки информации и компьютерных технологий.

Таким образом, решаемая проблема состоит в разработке и развитии моделей и методов обработки нечеткой информации в процессе проведения экологической экспертизы и мероприятий при СЭО объектов градостроительной деятельности.

Одним из основных аспектов при этом является идентификация рисков — выявление угроз и определение степени их опасности в дальнейшем. Для этого необходимо собрать и проанализировать информацию, в том числе качественную, характеризующую виды и особенности угроз экологической безопасности, определить параметры воздействия. Выявить источники угроз и недостатки организации системы безопасности. Под рисками экологической безопасности будем понимать нарушение экологического баланса, превышение допустимой антропогенной нагрузки, превышение допустимого уровня загрязнения различных сред.

В дальнейшем будем считать, что для обеспечения гарантий экологической безопасности и устойчивого развития города необходимы поиск управляющих воздействий и создание условий для снижения риска до приемлемого уровня и минимизации возможных потерь, вызванных его реализацией.

В настоящий момент считается, что экологический риск — это ущерб от наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и антропогенного характера. Для обоснования общеметодологических принципов и подходов для анализа и управления экологическими рисками недостаточно оценивать только вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия. Необходимо учитывать степень этого воздействия на окружающую среду. Поэтому, далее, под экологическим риском  $R$  будем понимать

произведение вероятности  $P$ , зависящей, в общем случае, от реализации отдельным источником угрозы и отдельной потенциальной уязвимости, и результирующего влияния  $I$  этого события на экосистему города:  $R = PI$ .

Заметим, что величина риска  $R$ , в случае количественных оценок вероятности  $P$  и ущерба  $I$ , представляет собой значение математического ожидания ущерба при неблагоприятном для окружающей среды событии.

Сложная система нелинейных связей, определяющих взаимовлияние различных угроз и отсутствие необходимой информации для получения статистических или экспертных оценок, значительно осложняет задачу оценки экологических рисков. Использование аппарата нечетких множеств для решения задач оценки рисков позволяет включать в анализ качественные переменные и использовать стандартные правила преобразования нечетких данных в четкие числа и алгоритмы нечеткого вывода.

Будем считать, что риск  $R$ , вероятность  $P$  и ущерб  $I$  являются лингвистическими переменными с соответствующими терм-множествами  $T_R = \{\text{отсутствует, незначительный, низкий, средний, высокий, очень высокий, недопустимый}\}$ ,  $T_P = \{\text{невероятно, более или менее вероятно, вполне вероятно, достаточно вероятно, вероятно, очень вероятно, близкое к 1}\}$ ,  $T_I = \{\text{приемлемый, средний, выше среднего, существенный, критический, катастрофический}\}$ . Функции принадлежности каждого значения терм-множеств определены на отрезке  $[0,1]$  и являются функциями гауссовского типа. База знаний записывается в виде следующих продукционных правил [3]:

ЕСЛИ  $(x_1 = a_{1,j_1})$  И  $(x_2 = a_{2,j_1})$  И...И  $(x_n = a_{n,j_1})$  с весом  $w_{j_1}$   
 ИЛИ  $(x_1 = a_{1,j_2})$  И  $(x_2 = a_{2,j_2})$  И...И  $(x_n = a_{n,j_2})$  с весом  $w_{j_2}$   
 ...  
 ИЛИ  $(x_1 = a_{1,k_j})$  И  $(x_2 = a_{2,k_j})$  И...И  $(x_n = a_{n,k_j})$  с весом  $w_{k_j}$   
 ТО  $y = d_j, j = \overline{1, m}$ .

Здесь  $x_i$  — название лингвистических переменных;  $i = \overline{1, n}$ ,  $a_{i,j_p} (p = \overline{1, k_j})$  — значения переменной  $x_i$  в строке  $p$  для правила  $j (j = \overline{1, m})$ ,  $w_{j_1}$  — вес предпосылки в правиле  $j, i = \overline{1, k_j}$ , принимающий значение из отрезка  $[0,1]$ ;  $k_j$  — количество предпосылок в правиле с номером  $j$ ;  $m$  — количество термов-значений выходной переменной;  $y$  — величина риска  $R$ ;  $d_j$  — значения из терм-множества  $T_R$ .

Введем следующие обозначения:  $\mu_{ij_p}(u_i)$  — функция принадлежности значения  $u_i$  нечеткому терму  $a_{i,j_p}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $p = \overline{1, k_j}$ , тогда нечеткое множество запишется как

$$a_{i,j_p} = \int_0^{u_i^+} \mu_{ij_p}(u_i) / u_i, \quad u_i \in [0, u_i^+],$$

где  $\mu_{d_j}(u_y)$  — функция принадлежности значения  $u_y$  нечеткому терму  $d_j$  из множества  $T$  (экологическое состояние), тогда это нечеткое множество представим в виде

$$d_j = \int_0^1 \mu_{d_j}(u_y) / u_y, \quad u_y \in [0,1].$$

Степень истинности условий для каждого правила системы нечеткого вывода определяется как минимальное значение каждого из подусловий, входящих в это правило. В результате применения правил получим набор нечетких множеств, объединив которые определим функции принадлежности выходных переменных. В качестве процедуры дефаззификации используется метод центра тяжести. Проектирование и реализация системы нечеткого вывода осуществлялась в системе Fuzzy Logic Toolbox (пакет расширения MATLAB) [4]. Вывод осуществлялся при использовании метода Мамдани [5].

Степень принадлежности измеренного вектора значений (варианта стратегического плана, существующего состояния и др.)  $U^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*)$  лингвистическим значениям  $d_j$  вычисляется следующим образом:

$$\mu_{d_j}(U^*) = \bigvee_{p=1, k_j} w_{jp} \cdot \bigwedge_{i=1, n} [\mu_{ij_p}(u_i^*)], \quad j = \overline{1, m},$$

где  $\vee$  и  $\wedge$  являются операциями из  $s$ - и  $t$ -норм, которые здесь используются как операции взятия максимума и минимума соответственно.

В результате вычислений получим нечеткое множество

$$\tilde{Y} = \frac{\mu_{d_1}(U^*)}{d_1} + \frac{\mu_{d_2}(U^*)}{d_2} + \dots + \frac{\mu_{d_m}(U^*)}{d_m}.$$

Для перехода к нечеткому множеству на  $[0,1]$  необходимо провести вычисления [6]:

$$\tilde{Y} = \max_{j=\overline{1, m}} \left( \int_0^1 \min(\mu_{d_j}(u_j^*), \mu_{d_j}(u_y) / u_y) \right).$$

Для принятия решений по обеспечению экологической безопасности необходимо вычислить четкое значение  $y$ , которое соответствует состоянию (вектору входных параметров)  $U^*$ . Для этого будем вычислять дефаззификацию по методу центра тяжести:

$$y = \frac{\int_0^1 u_y \cdot \mu_{\tilde{Y}}(u_y) du_y}{\int_0^1 \mu_{\tilde{Y}}(u_y) du_y}.$$

В качестве примера приведем одно из используемых правил, которое имеет вид

ЕСЛИ  $P$  = более или менее вероятно И  $I$  = выше среднего  
 ИЛИ  $P$  = вполне вероятно И  $I$  = средний,  
 ИЛИ  $P$  = невероятно И  $I$  = критический,  
 ТО  $R$  = незначительный, вес этого правила  $w = 1$ .

Следует заметить, что при выборе методов оценки альтернатив необходимо учитывать, что определение способа формализации процесса принятия решений зависит от многих факторов, свойства которых могут меняться в зависимости от задачи, типа экспертной информации, типа шкал измерения, системы предпочтений и пр. Для определения понятий и аксиом, определяющих основные условия применимости методов поддержки принятия решений, учитывающих неопределенность при формализации и обработки информации, может быть построена онтология, на основе которой сгенерирована система ограничений интерпретации понятий составляющих основу данных методов и даны рекомендации по выбору механизма решения задач. Более того, система приоритетов может носить иерархический характер, и для этого необходимо использовать методы обработки информации, заданной при учете, в общем случае, полимодальности функций принадлежности [6]. Также необходимо учитывать согласованность уровней решаемых задач при учете возможности реализации характеристик входящих в систему средств [7].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Протокол по стратегической экологической оценке к конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте (2003) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.unece.org/env/eia/sea\\_protocol.htm](http://www.unece.org/env/eia/sea_protocol.htm) (дата обращения: март 2013 г.).
2. EC, European Commission (2001). Directive no 2001/42/EC on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment.
3. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М. : Мир, 1976. 165 с.
4. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (дата обращения: март 2013 г.).
5. Mamdani E. H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7. № 1. P. 1—13.
6. Санжапов Б. Х. Упорядочение объектов в иерархических системах при полимодальных экспертных оценках // Изв. ВолгГТУ. Сер.: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. 2009. № 6. Т. 6. С. 105—109.
7. Санжапов Б. Х., Садовникова Н. П. Согласование целей при эколого-экономическом обосновании градостроительного проекта с учетом ограничений на значения характеристик входящих в систему средств в условиях нечеткой информации // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. Вып. 21(40). С. 151—159.

1. Protokol po strategicheskoy ekologicheskoy otsenke k konventsii ob otsenke vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu v transgranichnom kontekste (2003) [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: [http://www.unece.org/env/eia/sea\\_protocol.htm](http://www.unece.org/env/eia/sea_protocol.htm). (data obrashcheniya: mart 2013 g.).
2. EC, European Commission (2001). Directive no 2001/42/EC on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment.
3. Zade L. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh resheniy. M. : Mir, 1976. 165 s.
4. Shtovba S. D. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (data obrashcheniya: mart 2013 g.).
5. Mamdani E. H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7. № 1. P.1—13.

6. Sanzhapov B. Kh. Uporyadochenie ob"ektov v ierarkhicheskikh sistemakh pri polimodal'nykh ekspertnykh otsenkakh // Izv. VolgGTU. Ser.: Aktual'nye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh. 2009. № 6. Т. 6. S. 105—109.

7. Sanzhapov B. Kh., Sadovnikova N. P. Soglasovanie tseley pri ekologo-ekonomicheskom obosnovanii gradostroitel'nogo proekta s uchetom ogranicheniy na znacheniya kharakteristik vkhodyashchikh v sistemu sredstv v usloviyakh nechetkoy informatsii // Vestnik VolgGASU. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2011. Vyp. 21(40). S. 151—159.

© Санжапов Б. Х., Мурадов А. А., Санжапов Р. Б., 2013

*Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Санжапов Б. Х., Мурадов А. А., Санжапов Р. Б. Оценка риска реализации программы стратегического развития урбанизированной территории // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 289—294.*

**ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ,  
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ  
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ**

УДК 621.92

**В. А. Деменков**

**ПОВЫШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ  
СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ ПУТЕМ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ  
ЕЕ ПОДАЧИ В ЗОНУ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

Показана актуальность проблемы рационального применения смазочно-охлаждающих технологических сред при процессе шлифования. Дано описание устройства для подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) гидроаэроинерционным напором через поровое пространство шлифовального круга, позволяющего управлять процессом засаливания инструмента с целью минимизации этого явления. Представлены экспериментальные исследования данного устройства. Показаны эпюры распределения жидкости по периферии и высоте шлифовального круга, свидетельствующие о значительном снижении активного ее расхода.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** шлифование, смазочно-охлаждающие технологические среды, устройство для подачи СОЖ, гидроаэроинерционный напор, поровое пространство шлифовального круга, эпюры распределения жидкости, снижение активного расхода жидкости.

Urgency of the problem of rational use of cutting technological environments when grinding is proved. The author gives the description of the device for injection of cutting liquid by hydroaero inertial pressure through pore space of the grinding circle, allowing control the process of tool blunting in order to minimize this phenomenon. Pilot studies of this device are presented. Curves of liquid distributions in the periphery and height of the grinding circle testifying a considerable decrease of its active consumption are shown.

**Key words:** grinding, cutting technological environments, the device for injection of cutting liquid, hydroaero inertial pressure, pore space of a grinding circle, curves of liquid distributions, decrease of an active liquid consumption.

Решение проблемы качества выпускаемых машин и оборудования неразрывно связано с совершенствованием абразивной обработки. Шлифование как один из видов финишной обработки деталей в значительной степени призвано решить указанную проблему. Учитывая, что формирование геометрических, точностных, физико-механических, микрогеометрических и топографических показателей обработанных поверхностей заготовок реализуется в процессе шлифования, существует проблема ускорения его прогресса, необходимость проникновения в его физическую сущность и рациональное использование технологических факторов.

Процесс шлифования как метод чистовой обработки материалов является малоотходным и высокопроизводительным, обеспечивает значительную (в пределах до 2...3 мкм) размерную точность сопряжения деталей, высокую

геометрическую точность их формы, а также позволяет при незначительном съеме материала заготовки управлять микрогеометрическими показателями поверхностей обрабатываемых деталей. Широкое распространение шлифования обеспечивается научно-техническим прогрессом в технологии машиностроения.

Шлифование — массовое скоростное микрорезание поверхностных слоев твердых тел большим числом абразивных зерен, сцементированных в инструмент с помощью связки. Оно имеет сложную физическую природу и представляет собой комплекс тепловых, механических, диффузионных, химических и других одновременно протекающих процессов. Особую роль играют тепловые и механические процессы, которые определяют как интенсивность протекания всех других процессов, так и выходные показатели шлифования.

Качество шлифованной детали определяется комплексом геометрических показателей (точностью размеров, формы, относительного положения поверхностей, волнистостью, шероховатостью) и физико-механических свойств поверхностного слоя (величиной и знаком остаточных напряжений, глубиной их распространения, микротвердостью, наличием прижогов и микротрещин).

Источником теплоты, выделяющейся при шлифовании, является главным образом работа деформирования обрабатываемого материала и работа внешнего трения инструмента о поверхность заготовки. В связи с чем, термический процесс, протекающий в поверхностном слое детали, обладает высокой скоростью и мгновенной температурой нагрева, кратковременностью выдержки при такой температуре и высокой скоростью охлаждения.

Очевидно, при прочих равных условиях уменьшение контактной температуры в зоне резания приводит к уменьшению величины термических остаточных напряжений и глубины их распространения. Поэтому интенсивность теплового процесса при шлифовании является одним из наиболее важных, оказывающих воздействие на формирование качества шлифованных деталей. С учетом того, что обеспечение заданных показателей качества изделий является фактором, ограничивающим производительность обработки и, следовательно, определяющим себестоимость и конкурентоспособность продукции, вопросы управления тепловым процессом при шлифовании имеют важное практическое значение.

Радикальным средством воздействия как на интенсивность теплообразования, так и на теплораспределение в зоне шлифования является своевременная эвакуация стружки из зоны обработки, осуществляемая путем применения высокоэффективных смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) и рациональных способов их подачи в зону шлифования.

При шлифовании применяют технологические среды, находящиеся в различных агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном. Наиболее широкое распространение получили жидкости, что обусловлено их более высокими (по сравнению с твердыми и пластичными смазочными веществами) охлаждающей, проникающей и моющей способностями.

Функциональные свойства жидкости зависят не только от ее химического состава, но и от своевременной ее транспортировки в необходимом количестве к обрабатываемой поверхности. Опыт использования технологических



сред при шлифовании показывает, что максимальной эффективности процесса можно достичь только при поступлении среды непосредственно в зону контакта шлифовального круга с обрабатываемой заготовкой.

Способ и техника подачи СОЖ должны обеспечить благоприятные условия контакта подаваемой в зону шлифования жидкости с рабочей поверхностью абразивного круга и поверхностью обрабатываемой детали, т. е. гарантировать активное участие СОЖ в процессах резания и трения.

В основе развития техники подачи СОЖ в зону резания лежат три основных принципа:

- 1) повышение скорости движения СОЖ относительно объектов процесса резания (так называемая динамическая активизация СОЖ);
- 2) рационализация траектории движения жидкости;
- 3) оптимизация количества (расхода) СОЖ, активно участвующей в процессе резания.

Наиболее часто применяется динамическая активизация СОЖ путем сообщения ей дополнительной энергии. Однако перспективным является использование с этой целью энергии двигателя привода шлифовального круга с последующей передачей жидкости в обход генерируемых им воздушных потоков.

Из практики шлифования известно, что, несмотря на существенные недостатки, наибольшее распространение получил способ подачи охлаждающей жидкости в клиновую зону, вероятно из-за простоты техники его реализации. Однако, как показывают экспериментальные исследования, способ подачи жидкости через поровое пространство шлифовального круга имеет значительные преимущества перед предыдущим по мощности шлифования, производительности, качеству обрабатываемой поверхности, расходу абразивного инструмента и другим параметрам.

Через поровое пространство круга СОЖ может перемещаться под действием капиллярных, гравитационных и центробежных сил. Но при подаче СОЖ данным способом жидкость транспортируется к контактной зоне в основном за счет центробежных сил вращения круга, ввиду значительного их преобладания над остальными из вышеперечисленных. Поэтому при такой подаче частично используется эффективность СОЖ, находящейся в распыленном состоянии. Тем не менее существуют и недостатки этого способа, заключающиеся в следующем:

- 1) возникает необходимость в более тонкой очистке СОЖ, так как в противном случае происходит осаждение шлама на внутренней поверхности круга и, как следствие, снижение расхода через его поры;
- 2) наблюдается вытеснение жидкости из пор вращающегося круга через его торцовые поверхности, в связи с чем, в средней части высоты круга ее выделяется больше, чем у кромок, где и происходит наиболее интенсивный съем материала;
- 3) случайный характер расположения пор в теле круга отрицательно влияет на его дисбаланс при заполнении их жидкостью, а также на равномерность вытекания жидкости из поверхностных пор и, как следствие, качество охлаждения.

Кроме того, в научно-технической литературе практически не обращается внимание на то, что при подаче охлаждающей жидкости через поры круга

вокруг него образуется аэрозоль, дисперсной фазой которой является СОЖ. В случае использования данного способа подачи одновременно на нескольких шлифовальных станках, она может распространяться по всему производственному помещению. С учетом того, что сами СОЖ далеко не всегда экологически безопасны, требуется применение мощных вентиляционных систем и сложных рекуперационных установок, что, с нашей точки зрения, также является существенным недостатком.

Резервом для устранения данного недостатка при круглом наружном и плоском шлифовании может служить разработка устройств, обеспечивающих разбрызгивание жидкости не по всей периферии круга, а лишь по ее участку некоторой длины, превышающей длину дуги контактной зоны и достаточной для смазывания и охлаждения зоны резания, а также эвакуации (ре-эвакуации) оттуда продуктов диспергирования. При этом зона резания должна находиться в зоне разбрызгивания.

Решение данной проблемы потребовало пересмотра математической модели движения СОЖ в контактную зону по порам круга при подводе ее к его торцам, разработанной В. В. Ефимовым [1]. Ему удалось получить аналитическим путем и проверить экспериментально уравнение траектории относительного (относительно шлифовального круга) движения СОЖ сквозь поры круга.

С нашей точки зрения, с учетом поставленных задач интерес представляла траектория абсолютного (т. е. относительно системы, «станок — приспособление — инструмент — деталь») движения единичной массы СОЖ в теле шлифовального круга. Уравнения данной траектории получены нами с учетом краевых условий, в качестве которых выступали координаты точек подвода СОЖ к кругу и точек зоны резания.

Данная траектория представляет собой часть пространственной спирали, вытянутой вдоль оси вращения шлифовального круга. Анализ ее уравнений показал, что изменяя параметры струи, подводимой к кругу СОЖ, по определенному закону, можно достичь ее разбрызгивания в заданной области периферии шлифовального круга.

На основе полученной модели, с учетом вышерассмотренных основ развития техники подачи жидкости, нами было разработано устройство закрытого типа для внезонной подачи СОЖ гидроаэроинерционным напором через поровое пространство круга при шлифовании его периферией.

Для определения его эффективности был проведен эксперимент. С целью выявления закономерностей истечения СОЖ с периферии круга и попадающей непосредственно в зону резания были изготовлены экспериментальная модель устройства и специальный стенд. Установка представляла собой смонтированные на жестком каркасе подшипниковый узел, имитирующий шпиндель шлифовального станка, и однофазный электродвигатель, в качестве которого использовалась ручная шлифовальная машина модели Е-252. Шпиндель и электродвигатель соединялись эластичной муфтой. Частота вращения вала определялась визуально с помощью стробоскопического тахометра марки 2 СТ32-456, а ее регулирование осуществлялось, бесступенчато, лабораторным автотрансформатором ЛАТР-2М.

Время отбора СОЖ с одной из точек периферии регламентировалось временем ее истечения, через сопло с диаметром выходного отверстия  $2 \times 10^{-3}$  м

и объемом  $2 \times 10^{-3} \text{ м}^3$  из резервуара, расположенного выше оси вращения круга. Оно было определено экспериментально и составило 470 с. Следовательно, средняя подача СОЖ на лопасти жидкостной крыльчатки устройства равнялась  $0,26 \pm 0,04 \text{ л/мин}$ .

Для определения расхода СОЖ в любой точке окружности периферии круга, в том числе и в наивысшей, был изготовлен жидкостный приемник в форме пространственной одновитковой «улитки», с шириной приемного отверстия равной высоте круга. «Улитка» устанавливалась с помощью постоянного магнита на плите стенда, расположенной за шлифовальным кругом, что способствовало легкой и быстрой ее перестановке в процессе эксперимента. СОЖ с периферии круга под напором, создаваемым центробежными силами, в распыленном состоянии попадала в приемное отверстие «улитки». Далее, отражаясь внутри от наклонной стенки, стекала в ее «хвост», куда был вмонтирован небольшой штуцер с надетой на него гибкой трубкой, по которой жидкость транспортировалась в мерный сосуд (мензурку). Результаты данных измерений для круга с типоразмером  $1250 \times 20 \times 76$  представлены на рис. 1 и 2. На рис. 1 положение «улитки» на периферии круга определяется центральным углом, отсчитываемым в направлении вращения от нулевого радиуса, проходящего через точку подвода СОЖ.

Распределение расхода жидкости по высоте круга определялось в плоскости, проходящей через его ось вращения и образующую, совпадающую с точкой предположительного расположения зоны резания (через  $15^\circ$  по длине периферии круга в направлении его вращения от максимального расхода). На рис. 1 эта плоскость обозначена следом  $OA$ .

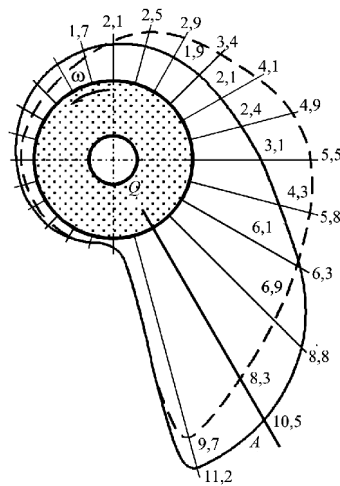


Рис. 1. Эпюра расхода СОЖ по периферии шлифовального круга,  $\lambda \times 10^{-4} \text{ л/мин}$ :

— частота вращения круга 800 об/мин  
 - - - частота вращения круга 1500 и 2000 об/мин

Было рассмотрено четыре варианта подачи воздуха:

- 1) при полностью закрытых отверстиях подачи воздуха;
- 2) при полностью открытых отверстиях подачи воздуха;
- 3) при уменьшенной площади отверстий воздухоподачи.

В данном случае СОЖ отбиралась «улиткой» по конструкции, принципу действия, размерам и форме во фронтальной плоскости, идентичной рассмотренной выше, однако ее ширина соответствовала трети высоты круга. Кроме того, этот приемник при установке на стенде имел возможность перемещения вдоль образующей шлифовального круга. Закономерности изменения расхода по высоте вышеуказанного круга, отсчитываемой от торца подачи СОЖ, приведены на рис. 2.

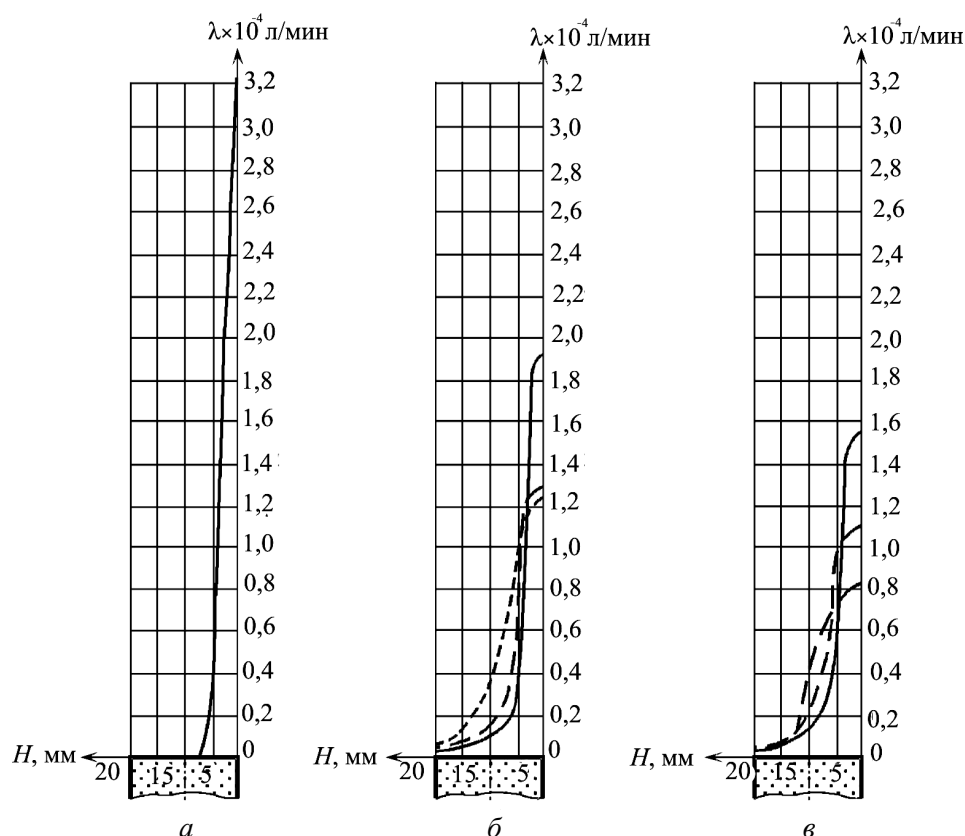


Рис. 2. Эпюра расхода СОЖ по высоте шлифовального круга: *а* — отверстия подачи воздуха полностью перекрыты; *б* — отверстия подачи воздуха полностью открыты; *в* — при уменьшенной площади отверстий воздухоподачи

----- частота вращения круга 800 об/мин;  
 - · - частота вращения круга 1500 об/мин;  
 — частота вращения круга: 2000 об/мин

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Эпюра расхода СОЖ по периферии шлифовального круга в плоскости его торцов сильно искажена. В условиях, близких к реальному процессу шлифования (при частоте вращения вала стенда равной 2000 об/мин), предлагаемое нами устройство обеспечивает распределение 75 % СОЖ от общего ее расхода по длине дуги периферии круга, соответствующей центральному углу в 150°, что позволяет существенно снизить активный расход жидкости (в отличие от подачи СОЖ во внутреннюю полость шлифовального круга, при которой происходит равномерное ее разбрызгивание по всей длине периферии на выходе из круга).

2. При подаче жидкости с перекрытыми отверстиями для подачи воздуха весь объем жидкости расходуется на участке, составляющем менее трети высоты круга. Под влиянием воздуха происходит отклонение жидкости от торца подачи в тело круга и при уменьшенных выпускных отверстиях воздухоподачи 80 % общего ее количества распределяется уже по половине его высоты. Дополнительная подача воздуха приводит к смещению того же расхода жидкости по образующей за ее отметку, соответствующую 60 % высоты круга.

3. Предлагаемый нами способ изменения траектории движения СОЖ в пористой среде шлифовального круга, основанный на разности скоростей жидкостного и воздушного потоков и используемый для равномерного распределения жидкости по высоте круга, может быть использован, наряду со способом ее изменения, путем наложения на СОЖ ультразвуковых колебаний.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ефимов В. В.* Научные основы техники подачи СОЖ при шлифовании. Саратов : Издательство Саратовского университета, 1985.

1. *Efimov V. V.* Nauchnye osnovy tekhniki podachi SOZh pri shlifovanii. Saratov : Izdatel'stvo Saratovskogo universiteta, 1985.

© *Деменков В. А.*, 2013

*Поступила в редакцию  
в марте 2013 г.*

*Ссылка для цитирования:*

*Деменков В. А.* Повышение функциональных свойств смазочно-охлаждающей жидкости путем рационализации ее подачи в зону резания при шлифовании // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 32(51). С. 295—301.

## НАШИ АВТОРЫ

**Абуова Галина Бекмуратовна**  
Abuova Galina Bekmuratovna

**Азаров Валерий Николаевич**  
Azarov Valeriy Nikolaevich

**Азаров Денис Валерьевич**  
Azarov Denis Valerevich

**Алексиков Сергей Васильевич**  
Aleksikov Sergey Vasilevich

**Анопин Владимир Николаевич**  
Anopin Vladimir Nikolaevich  
**Арзамаскова Лариса Михайловна**  
Arzamaskova Larisa Mikhaylovna

**Батманов Виктор Павлович**  
Batmanov Viktor Pavlovich

**Башова Сильвия**  
Bashova Silvia  
Bašova Silvia

**Беликов Георгий Иванович**  
Belikov Georgiy Ivanovich

**Богомолов Александр Николаевич**  
Bogomolov Aleksandr Nikolaevich

**Богомолова Оксана Александровна**  
Bogomolova Oksana Aleksandrovna

**Боровков Дмитрий Павлович**  
Borovkov Dmitriy Pavlovich

**Боронина Людмила Владимировна**  
Boronina Lyudmila Vladimirovna

**Будрудинова Амина Нажмудиновна**  
Budrudinova Amina Nazhmudinovna

**Бурба Иван Владимирович**  
Burba Ivan Vladimirovich  
**Васильев Юрий Иванович**  
Vasilev Yuriy Ivanovich

**Власова Оксана Сергеевна**  
Vlasova Oksana Sergeevna

**Волченко Светлана Викторовна**  
Volchenko Svetlana Viktorovna

**Воробьев Владимир Иванович**  
Vorobev Vladimir Ivanovich

**Воронкова Галина Вячеславовна**  
Voronkova Galina Vyacheslavovna

канд. техн. наук, декан факультета инженерных систем и энергетики, Астраханский инженерно-строительный институт  
Candidate of Engineering Science, Dean of Engineering Systems and Energetics Faculty, Astrakhan Engineering and Construction Institute  
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ  
Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Life Safety in Technosphere Department, VSUACE  
канд. техн. наук, доц. кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ  
Candidate of Engineering Science, Docent of Life Safety in Technosphere, VSUACE  
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ  
Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Construction and Operation of Transport Works Department, VSUACE  
д-р географ. наук, зав. кафедрой геодезии, ВолгГАСУ  
Doctor of Geographic Science, the Head of Geodesy Department, VSUACE  
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры сопротивления материалов, ВолгГАСУ  
Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Resistance of Materials Department, VSUACE  
д-р мед. наук, проф. кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ  
Doctor of Medical Science, Professor of Life Safety in Technosphere Department, VSUACE  
д-р философии, старший преподаватель кафедры градостроительства и районной планировки, Словацкий университет технологий в Братиславе  
Doctor of Philosophy, Senior Lecturer of Urban and Regional Planning Department, Slovak University of Technology in Bratislava  
д-р техн. наук, доц., кафедра сопротивления материалов, ВолгГАСУ  
Doctor of Engineering Science, Docent, Resistance of Materials Department, VSUACE  
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, проректор по научной работе, ВолгГАСУ; проф. кафедры технологии строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, [banzaritcyn@mail.ru](mailto:banzaritcyn@mail.ru)  
Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Vice-Rector for Scientific Research, VSUACE; Professor of Technology of Construction Operations and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnical University  
канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ  
Candidate of Engineering Science, Docent of Application Mathematics and Computer Science Department, VSUACE  
канд. техн. наук, доц. кафедры пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, ВолгГАСУ, [friggate@yandex.ru](mailto:friggate@yandex.ru)  
Candidate of Engineering Science, Docent of Fire Safety and Protection in Emergency Situations Department, VSUACE  
канд. техн. наук, доц., проректор по научной работе, Астраханский инженерно-строительный институт, [boroninalv@gmail.com](mailto:boroninalv@gmail.com)  
Candidate of Engineering Science, Docent, Provost for Research, Astrakhan Engineering and Construction Institute  
аспирантка кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ  
Postgraduate student of Construction and Operation of Transport Works Department, VSUACE  
ВолгГАСУ, [Fireproof@mail.ru](mailto:Fireproof@mail.ru)  
VSUACE  
д-р с.-х. наук, зав. сектором защиты почв от дефляции, Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации  
Doctor of Agricultural Science, the Head of the Sector for Protection of Soils Against Deflation, All-Russian Research Institute of Agricultural Afforestation  
канд. техн. наук, доц. кафедры пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, ВолгГАСУ, [vlasova-oksana@mail.ru](mailto:vlasova-oksana@mail.ru)  
Candidate of Engineering Science, Docent of Fire Safety and Protection in Emergency Situations Department, VSUACE  
аспирантка кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ  
Postgraduate student of Construction and Operation of Transport Works Department, VSUACE  
канд. техн. наук, доц., проф. кафедры экологического строительства и городского хозяйства, ВолгГАСУ, [vorobiov\\_51\\_vi@list.ru](mailto:vorobiov_51_vi@list.ru)  
Candidate of Engineering Science, Docent, Professor of Environmental Engineering and Urban Economy Department, VSUACE  
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительной механики, ВолгГАСУ  
Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Structural Mechanics Department, VSUACE

|                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Гиззатова Гульнара Линуровна</b><br>Gizzatova Gulnara Linurovna           | ассистент кафедры химии, Волгоградский государственный аграрный университет<br>Assistant of Chemistry Department, Volgograd State Agricultural University                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Гончар Юрий Николаевич</b><br>Gonchar Yuriy Nikolaevich                   | генеральный директор, ЗАО «Главный контрольно-испытательный центр питьевой воды», Москва<br>Director General, "Main Controlling and Testing Center of Drinking Water" CJSC, Moscow                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Грачева Юлия Вячеславовна</b><br>Gracheva Yuliya Vyacheslavovna           | канд. техн. наук, доц. кафедры оснований и фундаментов, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, <a href="mailto:gracheva_iv@mail.ru">gracheva_iv@mail.ru</a><br>Candidate of Engineering Science, Docent of Bases and Foundations Department, Penza State University of Architecture and Construction                                                       |
| <b>Гридюшко Анна Дмитриевна</b><br>Gridyushko Anna Dmitrievna                | преподаватель кафедры архитектуры промышленных зданий, Московский архитектурный институт (государственная академия), <a href="mailto:anindom@mail.ru">anindom@mail.ru</a><br>Lecturer of Architecture of Industrial Buildings Department, Moscow Architectural Institute (the State Academy)                                                                                            |
| <b>Деменков Владимир Алексеевич</b><br>Demenkov Vladimir Alekseevich         | старший преподаватель, ВолгГАСУ<br>Senior Lecturer, VSUACE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Демьянова Валентина Серафимовна</b><br>Demyanova Valentina Serafimovna    | д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой инженерной экологии, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, <a href="mailto:penza-ruslan@mail.ru">penza-ruslan@mail.ru</a><br>Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Engineering Ecology Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering                                      |
| <b>Дяркин Руслан Азымович</b><br>Dyarkin Ruslan Azyimovich                   | аспирант, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, <a href="mailto:penza-ruslan@mail.ru">penza-ruslan@mail.ru</a><br>Postgraduate student, Penza State University of Architecture and Civil Engineering                                                                                                                                                      |
| <b>Ермаков Олег Васильевич</b><br>Ermakov Oleg Vasilevich                    | канд. техн. наук, докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ<br>Candidate of Engineering Science, Postdoctoral student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE                                                                                                                                                                                 |
| <b>Жук Петр Михайлович</b><br>Zhuk Petr Mikhaylovich                         | канд. техн. наук, доц., доц. кафедры архитектурного материаловедения, Московский архитектурный институт (государственная академия), <a href="mailto:peter_05@bk.ru">peter_05@bk.ru</a><br>Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Architectural Material Engineering Department, Moscow Architectural Institute (the State Academy)                                         |
| <b>Калашников Владимир Иванович</b><br>Kalashnikov Vladimir Ivanovich        | д-р техн. наук, проф., проф. кафедры технологии бетонов, керамики и вяжущих, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, <a href="mailto:techbeton@pguas.ru">techbeton@pguas.ru</a><br>Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Concrete, Ceramics and Binding Materials Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering |
| <b>Калиновский Сергей Андреевич</b><br>Kalinovskiy Sergey Andreevich         | аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ<br>Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Карасев Георгий Михайлович</b><br>Karasev Georgiy Mikhaylovich            | канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительной механики, ВолгГАСУ<br>Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Structural Mechanics Department, VSUACE                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Кижватова Татьяна Сергеевна</b><br>Kizhvatova Tatiana Sergeevna           | студентка, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,<br>Student, Penza State University of Architecture and Construction                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Клименти Николай Юрьевич</b><br>Klimenti Nikolay Yurevich                 | доцент кафедры пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, ВолгГАСУ, <a href="mailto:kolya-klimenti@yandex.ru">kolya-klimenti@yandex.ru</a><br>Docent of Fire Safety and Protection in Emergency Situations Department, VSUACE                                                                                                                                             |
| <b>Ковылин Андрей Васильевич</b><br>Kovylin Andrey Vasilevich                | кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ<br>Candidate of Engineering Science, Senior Professor of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE                                                                                                                                                                         |
| <b>Кожевников Александр Михайлович</b><br>Kozhevnikov Aleksandr Mikhaylovich | зав. кафедрой архитектуры сельских населенных мест, Московский архитектурный институт (государственная академия)<br>the Head of Architecture of the Rural Settlements Department, Moscow Architectural Institute (the State Academy)                                                                                                                                                    |
| <b>Корнеев Александр Дмитриевич</b><br>Korneev Aleksandr Dmitrievich         | д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительных материалов, Липецкий государственный технический университет, <a href="mailto:kad@stu.lipetsk.ru">kad@stu.lipetsk.ru</a><br>Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Construction Materials Department, Lipetsk State Technical University                                                                           |
| <b>Косицына Эльвира Сергеевна</b><br>Kositsyna Elvira Sergeevna              | канд. техн. наук, проф. кафедры экологического строительства и городского хозяйства, ВолгГАСУ, <a href="mailto:kositsyna_elvira@mail.ru">kositsyna_elvira@mail.ru</a><br>Candidate of Engineering Science, Professor of Environmental Engineering and Urban Economy Department, VSUACE                                                                                                  |
| <b>Краюхин Валентин Иванович</b><br>Krayukhin Valentin Ivanovich             | канд. техн. наук, доц., доц., Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина<br>Candidate of Engineering Science, Docent, Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin                                                                                                                                                                           |
| <b>Кудрявцев Леонид Витальевич</b><br>Kudryavtsev Leonid Vitalevich          | канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, ВолгГАСУ<br>Candidate of Engineering Science, Docent, the Head of Heat and Gas Supply and Ventilation Department, VSUACE                                                                                                                                                                                         |
| <b>Кукса Лев Владимирович</b><br>Kuksa Lev Vladimirovich                     | д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой сопротивления материалов, ВолгГАСУ, (8442)96-98-60<br>Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Resistance of Materials Department, VSUACE                                                                                                                                                                                             |

**Лихачева Наталья Николаевна**  
Likhacheva Natalya Nikolaevna

**Марышев Константин Геннадьевич**  
Maryshev Konstantin Gennadevich  
**Масляев Александр Викторович**  
Maslyayev Aleksandr Viktorovich

**Мельников Валерий Васильевич**  
Melnikov Valeriy Vasilevich

**Мельников Сергей Васильевич**  
Melnikov Sergey Vasilevich  
**Мензелинцев Надежда Васильевна**  
Menzelintseva Nadezhda Vasilevna

**Миненко Екатерина Юрьевна**  
Minenko Ekaterina Yurevna

**Могилевич Лев Ильич**  
Mogilevich Lev Ilich

**Муравьева Людмила Викторовна**  
Muraveva Lyudmila Viktorovna

**Мурадов Азиз Алхейат оглы**  
Muradov Aziz Alkheyat ogly  
**Мягков Михаил Сергеевич**  
Myagkov Mikhail Sergeevich

**Нестеров Родион Сергеевич**  
Nesterov Rodion Sergeevich

**Офрихтер Вадим Григорьевич**  
Ofrikhter Vadim Grigorevich

**Пономарев Андрей Будимирович**  
Ponomarev Andrey Budimirovich

**Попов Виктор Сергеевич**  
Popov Viktor Sergeevich

**Попова Анна Владимировна**  
Popova Anna Vladimirovna

**Прокопенко Вячеслав Валентинович**  
Prokopenko Vyacheslav Valentinovich

**Проскурякова Анастасия Олеговна**  
Proskuryakova Anastasiya Olegovna

**Романов Сергей Иванович**  
Romanov Sergey Ivanovich

**Рулев Глеб Александрович**  
Rulev Gleb Aleksandrovich  
**Рыльцева Татьяна Федоровна**  
Ryltseva Tatyana Fedorovna

**Санжапов Булат Хизбуллович**  
Sanzhapov Bulat Khizbullovich

**Санжапов Ринат Булатович**  
Sanzhapov Rinat Bulatovich

канд. физ.-мат. наук, доц., Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Perm National Research Polytechnical University  
аспирант кафедры общей и прикладной химии, ВолгГАСУ  
Postgraduate student of General and Applied Chemistry Department, VSUACE  
канд. техн. наук, эксперт ГУ РИНКЦЭ по сейсмологии и сейсмостойкому строительству, Научно-исследовательская сейсмологическая лаборатория, ВолгГАСУ  
Candidate of Engineering Science, Expert of GA RRSCCE on Seismology and Antiseismic Construction, R&D Seismological Laboratory, VSUACE  
старший преподаватель кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ  
Senior Lecturer of Construction and Operation of Transport Works Department, VSUACE  
мастер, ООО «ДСК — дорожно-строительная компания», [melnikova@mail.ru](mailto:melnikova@mail.ru)  
Master, "DSK — Road Construction Company" Ltd.  
д-р техн. наук, проф., декан факультета инженерных систем и техносферной безопасности, ВолгГАСУ  
Doctor of Engineering Science, Professor, Dean of Engineering Systems and Technosphere Safety Faculty, VSUACE  
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры оптимизации и безопасности движения, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, [cat.minenko@mail.ru](mailto:cat.minenko@mail.ru)  
Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Optimization and Traffic Safety Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering  
д-р техн. наук, проф., Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, [mogilevich@sgu.ru](mailto:mogilevich@sgu.ru)  
Doctor of Engineering Science, Professor, Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin  
канд. техн. наук, доц. кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, ВолгГАСУ  
Candidate of Engineering Science, Docent of Building Constructions, Basis and Reliability of Constructions Department, VSUACE  
аспирант, ВолгГАСУ, [AzizMuradov2509@yandex.ru](mailto:AzizMuradov2509@yandex.ru)  
Postgraduate student, VSUACE  
канд. техн. наук, проф. кафедры архитектурной физики, Московский архитектурный институт (государственная академия)  
Candidate of Engineering Science, Professor of Architectural Physics Department, Moscow Architectural Institute (the State Academy)  
аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ  
Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE  
канд. техн. наук, доц., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, [ofrikhter@mail.ru](mailto:ofrikhter@mail.ru)  
Candidate of Engineering Science, Docent, Perm National Research Polytechnical University  
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 8-919-443-0975  
Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Construction Production and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnical University  
д-р техн. наук, доц., Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, [vic\\_p@bk.ru](mailto:vic_p@bk.ru)  
Doctor of Engineering Science, Docent, Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin  
учебный мастер кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, 8-902-313-4915  
Training master of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE  
аспирант кафедры экологического строительства и городского хозяйства, ВолгГАСУ, [v.v.p.\\_24@mail.ru](mailto:v.v.p._24@mail.ru)  
Postgraduate student of Environmental Engineering and Urban Economy Department, VSUACE  
аспирантка кафедры строительных материалов, Липецкий государственный технический университет, [pao2010@rambler.ru](mailto:pao2010@rambler.ru)  
Postgraduate student of Construction Materials Department, Lipetsk State Technical University  
д-р техн. наук, проф., проф. кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ  
Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Construction and Operation of Transport Works Department  
аспирант кафедры геодезии, ВолгГАСУ  
Postgraduate student of Geodesy Department, VSUACE  
ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения, ВолгГАСУ, (8442)96-99-13, [viv\\_vgasu@mail.ru](mailto:viv_vgasu@mail.ru)  
Assistant of Water Supply and Disposal Department, VSUACE  
д-р физ.-мат. наук, проф., проф. кафедры информационных систем и математического моделирования, ВолгГАСУ  
Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor of Data Systems and Mathematical Modeling Department, VSUACE  
студент, ВолгГАСУ, (8442)94-73-92  
Student, VSUACE



|                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Сапожкова Наталья Васильевна</b><br>Sapozhkova Natalya Vasilevna          | канд. техн. наук, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ, sapozhkovanv@rambler.ru<br>Candidate of Engineering Science, Docent of Construction and Operation of Transport Works Department, VSUACE                                                                 |
| <b>Серебряная Валентина Васильевна</b><br>Serebryanaya Valentina Vasilevna   | канд. ист. наук, доц., <a href="mailto:val38@mail.ru">val38@mail.ru</a><br>Candidate of Historical Science, Docent                                                                                                                                                                                       |
| <b>Серова Елена Юрьевна</b><br>Serova Elena Yurevna                          | канд. техн. наук, доцент кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ<br>Candidate of Engineering Science, Docent of Construction and Operation of Transport Works Department, VSUACE                                                                                          |
| <b>Сидельникова Ольга Петровна</b><br>Sidelnikova Olga Petrovna              | д-р техн. наук, проф., проф. кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ<br>Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Life Safety in Technosphere, VSUACE                                                                                                                 |
| <b>Соловьев Александр Владимирович</b><br>Solovlev Aleksandr Vladimirovich   | канд. техн. наук, соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ<br>Candidate of Engineering Science, Degree-seeking student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE                                                                                               |
| <b>Стадник Александр Юрьевич</b><br>Stadnik Aleksandr Yurevich               | аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ<br>Postgraduate student of Construction and Operation of Transport Works Department, VSUACE                                                                                                                              |
| <b>Старов Александр Васильевич</b><br>Starov Aleksandr Vasilevich            | канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительной механики, ВолгГАСУ, <a href="mailto:starov1954@mail.ru">starov1954@mail.ru</a><br>Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Structural Mechanics Department, VSUACE                                                                          |
| <b>Стефаненко Инна Владимировна</b><br>Stefanenko Inna Vladimirovna          | аспирантка кафедры общей и прикладной химии, ВолгГАСУ<br>Postgraduate student of General and Applied Chemistry Department, VSUACE                                                                                                                                                                        |
| <b>Сурсанов Дмитрий Николаевич</b><br>Sursanov Dmitriy Nikolaevich           | ассистент кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет<br>Assistant of Construction Production and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnical University                                                       |
| <b>Ушаков Андрей Николаевич</b><br>Ushakov Andrey Nikolaevich                | докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ<br>Postdoctoral student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE                                                                                                                                                      |
| <b>Фокин Владимир Михайлович</b><br>Fokin Vladimir Mikhaylovich              | д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ<br>Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE                                                                                                              |
| <b>Фомина Екатерина Олеговна</b><br>Fomina Ekaterina Olegovna                | аспирантка кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ<br>Postgraduate student of Life Safety in Technosphere Department, VSUACE                                                                                                                                                       |
| <b>Чausкин Андрей Юрьевич</b><br>Chauskin Andrey Yurevich                    | студент, ВолгГАСУ, <a href="mailto:a.chauskin@gmail.com">a.chauskin@gmail.com</a><br>Student, VSUACE                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Чebанова Светлана Александровна</b><br>Chebanova Svetlana Aleksandrovna   | ассистент кафедры технологии строительного производства, ВолгГАСУ, <a href="mailto:sveta_nes@mail.ru">sveta_nes@mail.ru</a><br>Assistant of Construction Technology Department, VSUACE                                                                                                                   |
| <b>Чентемирова Екатерина Георгиевна</b><br>Chentemirova Ekaterina Georgievna | преподаватель кафедры архитектуры сельских населенных мест, Московский архитектурный институт (государственная академия), <a href="mailto:chentemirova@mail.ru">chentemirova@mail.ru</a><br>Lecturer of Architecture of Rural Settlements Department, Moscow Architectural Institute (the State Academy) |
| <b>Чесноков Андрей Владимирович</b><br>Chesnokov Andrey Vladimirovich        | канд. техн. наук, доцент кафедры строительного производства, Липецкий государственный технический университет, <a href="mailto:avchesnokov@lipetsk.ru">avchesnokov@lipetsk.ru</a><br>Candidate of Engineering Science, Docent of Civil Engineering Department, Lipetsk State Technical University        |
| <b>Шаталов Геннадий Анатольевич</b><br>Shatalov Gennadiy Anatolevich         | главный инженер, ИП «Шаталов», <a href="mailto:shatalov@lipetsk.ru">shatalov@lipetsk.ru</a><br>Chief Engineer, individual entrepreneur "Shatalov"                                                                                                                                                        |
| <b>Шиян Станислав Иванович</b><br>Shiyan Stanislav Ivanovich                 | канд. техн. наук, докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ<br>Candidate of Engineering Science, Postdoctoral student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE                                                                                                  |
| <b>Шлапакова Оксана Игоревна</b><br>Shlapakova Oksana Igorevna               | студентка, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства<br>Student, Penza State University of Architecture and Construction                                                                                                                                                        |
| <b>Штефанцова Люция</b><br>Shtefantsova Lyutsiya<br>Štefanová Lucia          | аспирантка кафедры градостроительства и районной планировки, Словацкий университет технологий в Братиславе<br>Postgraduate student of Urban and Regional Planning Department, Slovak University of Technology in Bratisla                                                                                |
| <b>Эюбов И. Дж.</b><br>Eyubov I.J.                                           | АзНИИКА<br>AzNIISA                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

**Примечание.** С авторами статей — аспирантами, докторантами и сотрудниками ВолгГАСУ — можно связаться по e-mail: [info@vqasu.ru](mailto:info@vqasu.ru) (в теме письма указать наименование структурного подразделения, фамилию и инициалы адресата).

#### 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/science/journals/herald-volggasu/preparation-requirements/>), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/preparation-requirements/>), *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 7 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office (Word 2003)*; шрифт *основного текста* — Times New Roman (Сур) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

*Векторные рисунки*, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата A4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9–10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в 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).

Пристатейные *библиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. 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). Разде-

лительные 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 на латинице, 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.

*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).*

ISSN 1815-4360. Серия «Строительство и архитектура»

#### **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-градоостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГАСУ [www.vgasu.ru](http://www.vgasu.ru), в разделе *Издательская деятельность / 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 ВолгГАСУ». 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 ВолгГАСУ. 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 **Е 29507**. Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, **утвержденный ВАК** Министерства образования и науки Российской Федерации. Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ ([www.elibrary.ru](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  
2013. Вып. 32 (51)**

Редакторы *О.А. Шипунова, М.Л. Песчаная*  
Перевод на английский язык *О.Ю. Юшко*  
Компьютерная правка и верстка *Н.Е. Никиташинной, Н.А. Кашириной, А.Г. Сиволобовой*  
Компьютерный дизайн обложки *О.Ю. Мелешин*  
Информационно-библиографическое обслуживание выпуска *Е.В. Хромова*

Подписано в печать 30.06.2013. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.  
Уч.-изд. л. 21,0. Усл. печ. л. 27,0. Тираж 500 экз. Заказ №

---

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»  
Редакционно-издательский отдел  
Отдел оперативной полиграфии  
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1