

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК  
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**Серия: Строительство и архитектура**

**Выпуск  
19 (38)**

Научно-теоретический и производственно-практический  
журнал

**2010**

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. СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- Богомолов А.Н., Якименко И.В., Богомолова О.А.** Повышение несущей способности основания как следствие использования составных ленточных фундаментов 5
- Габибов Ф.Г.** Исследование напряженно-деформированного состояния и несущей способности линейных сооружений при набухании глинистых оснований на основе вероятностного подхода 12
- Соколов О.Л.** Алгоритм расчета понтонов и паромов с продольной ориентацией отсеков 20
- Старов А.В.** Динамика жесткопластических пологих оболочек вращения с шарнирно-неподвижным опиранием и жестким защемлением края 26
- Медведева С.В.** Анализ проявлений опасных геологических процессов на территории действующих предприятий 33
- Богомолов А.Н., Богомолова О.А., Шиян С.И., Кужель В.Н.** Назначение коэффициентов запаса при расчете грунтовых откосов и оснований сооружений на устойчивость 39

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

- Киреев С.Н.** Прогноз расчетной влажности грунта земляного полотна в засушливых районах 44
- Пыжов А.С.** Технология дорожного цементного бетона с дисперсным битумом 51

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Иващенко Ю.Г., Павлова И.Л., Страхов А.В., Иващенко Н.А.** Модифицирование силикатнатриевых композиций кальций- и углеродсодержащими наполнителями 58
- Разинкова О.А., Малкандуев Ю.А., Маришев М.Х., Слонов А.Л.** Пути использования отвальных кеков гидрометаллургии в производстве строительных материалов и изделий 64
- Тимохин Д.К., Козлов Н.А.** Структурообразование цементного камня, модифицированного гидроксилсодержащими добавками углеводов 69

<b>Стефаненко И.В.</b> Радиационные технологии модифицирования бетонов в производстве высокоэффективных строительных материалов для использования в особых условиях эксплуатации	76
<b>ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ</b>	
<b>Тишин В.Г.</b> Разработка целевой функции и анализ решения оптимизационной задачи по обеспечению безопасности объектов экономики	82
<b>Стефаненко И.В.</b> Экономические аспекты создания производства радиационномодифицированных строительных материалов	89
<b>Стрыгин Ф.И.</b> Оперативные технические системы охраны труда и безопасности производства	93
<b>ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ</b>	
<b>Титова Е.В., Фокин В.М.</b> Использование альтернативных источников энергии для теплоснабжения объектов подземного хранилища газа	98
<b>Крутилин А.А., Акчурин Т.К.</b> Повышение технологичности глинистого сырья для производства эффективных керамических материалов и изделий введением добавок шламовых отходов	101
<b>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ</b>	
<b>Бойков А.Г.</b> Температурная характеристика электрического нагревателя в начале нестационарного распространения тепла в шаровом слое	105
<b>Усадский Д.Г., Карпенко А.Н., Фокин В.М.</b> Экспериментальное определение теплопроизводительности нагревателя жидкого теплоносителя в стационарном тепловом режиме	108
<b>Ковылин А.В., Фокин В.М.</b> Методика определения коэффициентов теплопроводности, теплоусвоения, тепловой инерции, температуропроводности и объемной теплоемкости строительных и теплоизоляционных материалов методом неразрушающего контроля	112
<b>Диденко В.Г., Остриков А.С., Беломутенко С.В.</b> Построение расчетной модели вентиляционной приточной струи с изменяющейся конфигурацией	118
<b>Шубин О.В., Диденко В.Г., Голубева С.И.</b> Модель оценки конструктивных параметров вихревого отсоса местной локализирующей вентиляции	124
<b>Аверкин А.Г., Коршунова Н.В.</b> Лабораторный стенд для тепловлажностной обработки воздуха	128
<b>ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ</b>	
<b>Дровозовова Т.И., Кулакова Е.С.</b> Экологизация систем водоснабжения малых сельских поселений	133
<b>ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО</b>	
<b>Курбанов С.О., Созаев А.А.</b> Основы проектирования и расчетного обоснования транзитных лотков полигонального профиля	136
<b>ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ. АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ</b>	
<b>Игнатов Г.Е.</b> Парадигма проектного сознания и утопия футуризма	143
<b>ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА. УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ</b>	
<b>Бачурина Е.С., Иванова Н.В., Соколов М.С.</b> Градостроительная преемственность в развитии наземной инфраструктуры авиации на примере аэроузла Волгоградской области	149
<b>ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА</b>	
<b>Тюкова (Тур) И.Н.</b> Оценка визуального комфорта городского пространства методами формально-декоративного анализа и эмоционального отклика (на примере г. Волгограда)	155
<b>Ковалева Г.Н.</b> Состояние рекреационных пространств в г. Волгограде на современном этапе и их влияние на социокультурную жизнь города	163
<b>НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ. МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН СТРОИТЕЛЬНОГО И АРХИТЕКТУРНОГО НАПРАВЛЕНИЙ В ВУЗЕ</b>	
<b>Иванова Н.В., Антонова Н.Н., Карпенко А.Г.</b> Творческий потенциал педагогических технологий начального этапа обучения в вузе как критерий формирования конкурентоспособного специалиста-архитектора	171
<b>НАШИ АВТОРЫ</b>	180

## C o n t e n s

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

<b>Bogomolov A.N., Yakimenko I.V., Bogomolova O.A.</b> Increase of bearing capacity of foundation bed as a result of usage of compound strip foundations	5
<b>Gabibov F.G.</b> Studying stressed-deformed state and bearable capacity of linear constructions under swelling of clay bases basing on probability way	12
<b>Sokolov O.L.</b> The analysis of pontoons and ferryboats with longitudinal orientation of emptiness	20
<b>Starov A.V.</b> Dynamics of rigidly plastic shallow shells of rotation with hinged support fixed and rigid fixing of edge	26
<b>Medvedeva S.V.</b> Analysis of dangerous geological processes development at the territory of operating enterprise	33
<b>Bogomolov A.N., Bogomolova O.A., Shiyani S.I., Kuzhel V.N.</b> The function of stability factors during the analysis of ground slopes and structure bases	39

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

<b>Kireyev S.N.</b> Forecasting the rated moisture content of the subgrade soil in arid areas	44
<b>Pizhov A.S.</b> Technology of road concrete with disperse bitumen	51

## BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

<b>Ivashchenko J.G., Pavlova I.L., Strahov A.V., Ivashchenko N.A.</b> Modification sodium silicate compositions calcium- and carbon fillers	58
<b>Razinkova O.A., Malkanduev Yu.A., Marishev M.X., Slonov A.L.</b> Ways of using falling off cakes of hedometallurgy in the production of building material and articles	64
<b>Timokhin D.K., Kozlov N.A.</b> Structurization of cement stone modify hydroxyl containing admixture of carbohydrates	69
<b>Stephanenko I.V.</b> Radiation technologies of modification of concretes in production of high-performance construction materials for the usage in special operating conditions	76

TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION. LIFE SAFETY  
END LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION

<b>Tishin V.G.</b> The working out of criterion function and the analyze of the decision of the optimizing problem on safety of economy's objects	82
<b>Stefanenko I.V.</b> Economic aspects of making radiation modified building materials production	89
<b>Strygin F.I.</b> Operative technical security system of the labour and safety production	93

## INNOVATIONS IN CONSTRUCTION, INTENSIFICATION, ENERGY SAVING

<b>Titova E.V., Fokin V.M.</b> Use of alternative energy sources for heat supply of the objects of underground gas storage	98
<b>Krutilin A.A., Akchurin T.K.</b> Increase of technological effectiveness of clay raw material for production of effective ceramic materials and articles by adding of sludge waste additives	101

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

<b>Boikov A.G.</b> Temperature characteristics of electric heater early unsteady heat distribution in a spherical layer	105
<b>Usadskiy D.G., Karpenko A.N., Fokin V.M.</b> Experimental determination of heat productivity of heat-carrying fluid heater under steady-state thermal condition	108
<b>Kovylin A.V., Fokin V.M.</b> Methodology of determination of heat conductivity, thermal absorptivity, coefficient of thermal inertia, thermal conductivity and volumetric heat capacity of construction and heat-insulating materials using the nondestructive method of testing	112
<b>Didenko V.G., Ostrikov A.S., Belomutenko S.V.</b> Making of calculation model of ventilating supply air jet with the changing configuration	118
<b>Shubin O.V., Didenko V.G., Golubeva S.I.</b> Model of the assessment of design parameters of eddy exhaust of local exhaust ventilation	124
<b>Averkin A.G., Korshunova N.V.</b> Laboratory bench for thermal and moisture air treatment	128

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

<b>Drovovozova T.I., Kulakova E.S.</b> Ecologization of water-supply systems for small rural settlements	133
--	-----

## HYDROTECHNICAL ENGINEERING

<b>Curbanov S.O., Sozaev A.A.</b> Basic principles of projecting and calculation of transit chute with broken section	136
---	-----

THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF THE HISTORIC AND ARCHITECTURAL HERITAGE. ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	
<b>Ignatov G.E.</b> The paradigm of project consciousness and the utopia of futurism	143
URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT. CONTROL OF INVESTMENT URBAN PLANNING ACTIVITY	
<b>Bachurina E.S., Ivanova N.V., Sokolov M.S.</b> The urban planning continuity in the development of ground-based infrastructure of aviation (development of air complex in Volgograd region as an example)	149
ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING. LANDSCAPE ARCHITECTURE	
<b>Tyukova(Tur) I.N.</b> Assessment of visual comfort urban methods of formal and decorative analysis and emotional response (on the example Volgograd)	155
<b>Kovalyova G.N.</b> Condition of recreational spaces in Volgograd at the present stage and their influence on sociocultural life of city	163
SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL SECTION. TEACHING METHODOLOGY OF DISCIPLINES OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURAL TRENDS IN INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION	
<b>Ivanova N.V., Antonova N.N., Karpenko A.G.</b> Creative potential of pedagogical technologies of the elementary stage in university education as the formation of the competitive specialist-architect	171
OUR AUTHORS	180

Научное издание

ВЕСТНИК  
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура  
2010. Вып. 19 (38)**

Редактор *О.Е. Горячева*

Корректоры *М.Л. Песчаная, О.В. Горячева*

Перевод на английский язык *Д.Р. Гарифуллина*

Компьютерная правка и верстка *О.Е. Горячева, О.В. Горячева, А.Г. Чурзина*

Компьютерный дизайн обложки *О.Ю. Мелешин*

Информационно-библиографическое обслуживание выпуска *Е.В. Хромова*

Подписано в печать 03.08.10. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.  
Уч.-изд. л. 14,9. Усл. печ. л. 16,1. Тираж 500 экз. Заказ №

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»  
Редакционно-издательский отдел  
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1

Отпечатано в ООО «Царицынская полиграфическая компания»  
400117, г. Волгоград, б-р 30-летия Победы, 11а

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

УДК 624.15

**А.Н. Богомолов, И.В. Якименко, О.А. Богомолова**

**ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЯ  
КАК СЛЕДСТВИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОСТАВНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ**

Рассматривается вопрос о несущей способности оснований «составных» фундаментов на основе анализа процесса образования и развития областей пластических деформаций, определенные моменты которого обуславливают величины критических нагрузок и расчетного сопротивления.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** составной фундамент, области пластических деформаций, несущая способность, расчетное сопротивление.

The authors consider the issue of bearing capacity of “composite” foundation beds on the base of analysis of the process of formation and development of plastic deformation areas. Some moments of this process condition the values of buckling loads and design resistance.

**К e y w o r d s:** composite foundation, plastic deformation areas, bearing capacity, design resistance.

В работах многих исследователей рассматривается вопрос о взаимном влиянии близрасположенных ленточных фундаментов [1, 2].

Нами отмечалось [3], что напряженно-деформированное состояние основания нескольких параллельных близрасположенных незаглубленных ленточных фундаментов одинаковой ширины при всех прочих равных условиях существенным образом отличается от напряженно-деформированного состояния одиночного фундамента такой же ширины. Чем ближе расположены друг относительно друга фундаменты, тем меньше, при всех прочих равных условиях, области пластических деформаций, образующиеся под их краями. При некотором предельном значении расстояния между фундаментами области пластических деформаций образуются только под внешними краями первого и последнего фундамента. Поэтому существует возможность увеличить полезную нагрузку на «внутренние» фундаменты на некоторую величину, определяемую расчетом. Уменьшение зазора между фундаментами создает ситуацию, когда выпирание грунта в промежутки между ними становится невозможным вследствие исчезновения между «луковицами» сжимающих вертикальных напряжений  $\sigma_z$ , расположенных непосредственно под фундаментами, зон растягивающих напряжений  $\sigma_z$ , которые изначально существо-

вали, и, как следствие, переориентации площадок наиболее вероятного сдвига в точках грунтового основания. При некотором значении расстояния между фундаментами система ленточных фундаментов начинает оказывать на грунтовое основание действие, эквивалентное действию ленточного фундамента, ширина которого равна суммарной ширине рассматриваемых фундаментов, включая промежутки между ними. В этом случае под рассматриваемой системой фундаментов образуется единое грунтовое ядро, обеспечивающее эффект «непродавливания» грунта в просветы между отдельными фундаментами, составляющими систему. Глубина развития единой области пластических деформаций, объемлющей грунтовое ядро, резко увеличивается, что будет определять снижение величины несущей способности грунтового основания.

Приведенные выше данные наводят на мысль о возможности проектирования «составных» ленточных и плитных фундаментов, представляющих собой систему близрасположенных лент и длинных плит, чьи основания будут способны воспринимать большие нагрузки, чем основания отдельно взятых фундаментов эквивалентной ширины.

Рассмотрим пример. Пусть имеется незаглубленный ленточный фундамент шириной  $L = 2$  м, возведенный на однородном связном основании, сложенном грунтом со следующими физико-механическими характеристиками: объемный вес грунта  $\gamma = 2$  т/м<sup>3</sup>; удельное сцепление  $C = 0,052$  МПа; угол внутреннего трения  $\varphi = 15^\circ$ ; коэффициент бокового давления  $\xi_o = 0,75$ .

На рис. 1 и 2 приведены соответственно расчетная схема с областью пластических деформаций и картины изолиний безразмерных (в долях  $\gamma L$ ) компонент вертикальных  $\sigma_z$ , горизонтальных  $\sigma_x$  и касательных  $\tau_{zx}$  напряжений

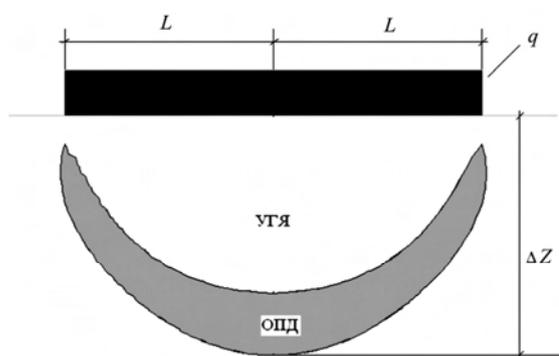


Рис. 1. Расчетная схема фундамента двойной ширины и область пластических деформаций

в грунтовом основании при условии, что расстояние между фундаментами  $d = 0$  и они воспринимают равномерно распределенную нагрузку интенсивности  $q/\gamma L = 5$ . Отметим, что вычисления проведены при помощи компьютерной программы [4], в которой формализовано решение [5].

Сравнивая эти рисунки, приходим к выводу, что распределение напряжений в грунтовом основании претерпело существенные изменения, что, в свою очередь, сказалось на размерах и форме областей пластических деформаций (ОПД): вместо одной области появилось две, но в несколько раз меньшего размера, а глубина их развития уменьшилась почти в два раза.

На рис. 3 изображена расчетная схема, отличающаяся от предыдущей только тем, что  $d = 0,1$  м, а на рис. 4 приведены картины изолиний соответствующих напряжений.

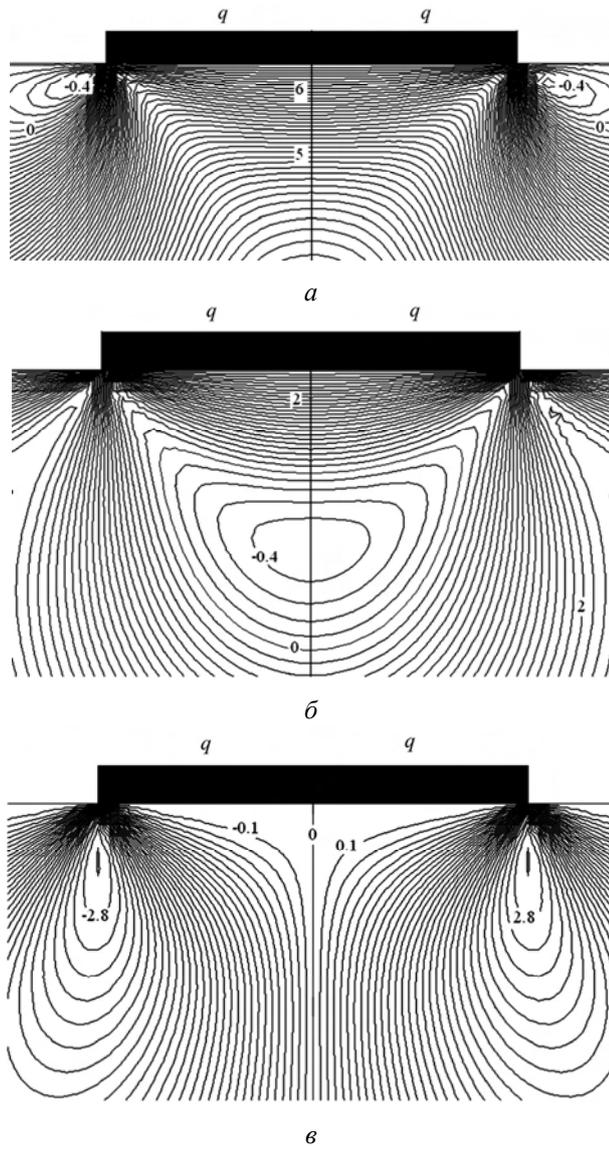


Рис. 2. Картины изолиний безразмерных вертикальных  $\sigma_z$  (а), горизонтальных  $\sigma_x$  (б) и касательных  $\tau_{zx}$  (в) напряжений в основании фундамента двойной ширины

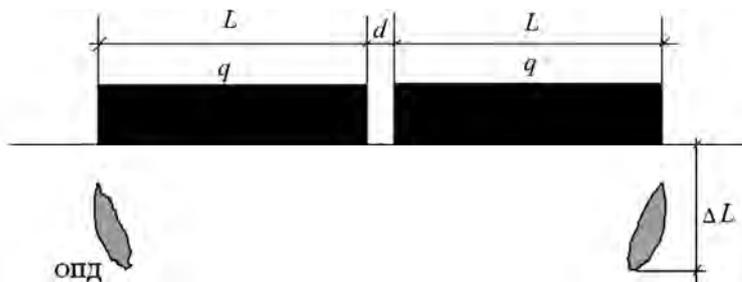


Рис. 3. Расчетная схема двух близрасположенных фундаментов одинарной ширины и области пластических деформаций

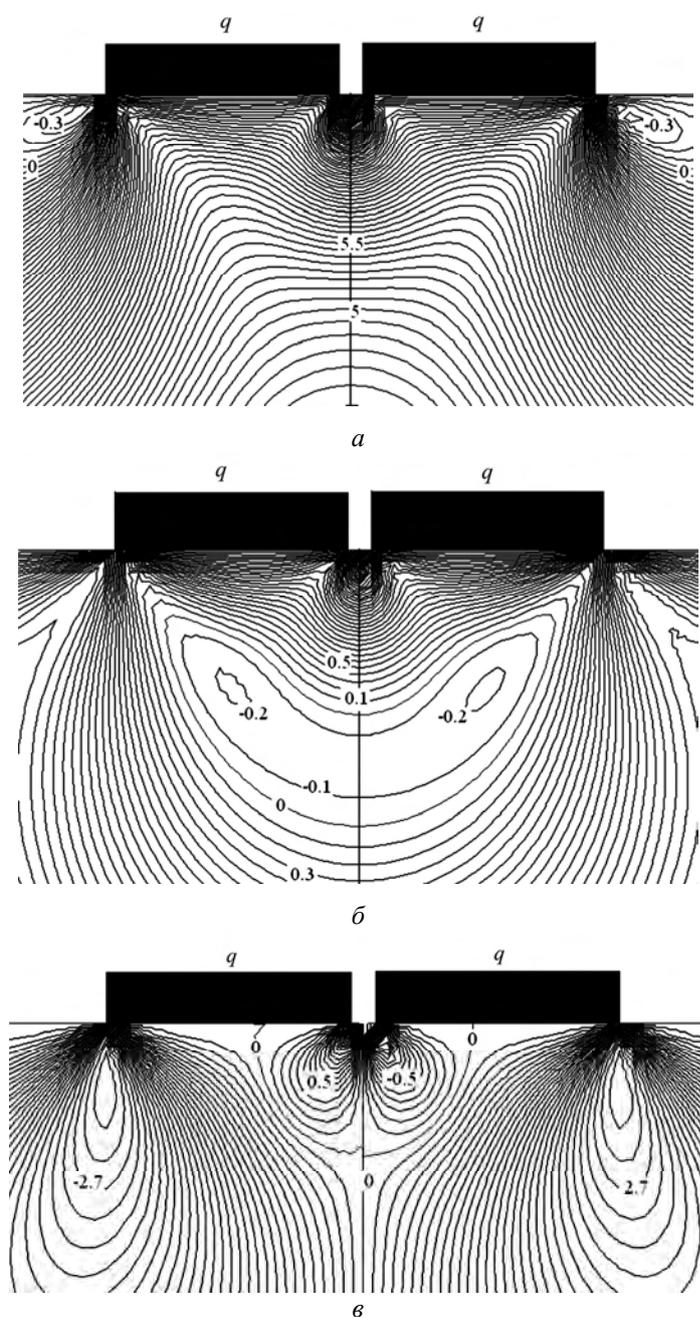


Рис. 4. Картины изолиний безразмерных вертикальных  $\sigma_z$  (а), горизонтальных  $\sigma_x$  (б) и касательных  $\tau_{zx}$  (в) напряжений в основании двух близрасположенных фундаментов одинаковой ширины

Посмотрим, как будет меняться глубина развития областей пластических деформаций при условии:

1) если постепенно раздвигать в стороны фундаменты, не изменяя величины интенсивности равномерно распределенной нагрузки;

2) не изменяя положения фундаментов на основании и величины интенсивности нагрузки, постепенно расширять зазор между ними за счет симметричного уменьшения ширины плит (при этом будет уменьшаться главный вектор нагрузки);

3) проводить процедуру, описанную в п. 2, но увеличивая интенсивность нагрузки таким образом, чтобы главный вектор нагрузки оставался неизменным.

Графические интерпретации результатов соответствующих вычислений приведены на рис. 5, 8, 9.

Из рис. 5 видно, если постепенно раздвигать фундаменты, то глубина развития областей пластических деформаций под их внешними краями [3] сначала резко уменьшается и, достигнув некоторого минимума, начинает постепенно возрастать. Процесс развития ОПД начинается при таком расстоянии между фундаментами, когда их взаимное влияние начинает ослабевать (сплошная линия). При величине  $d \approx L$  происходит резкое развитие внутренней пластической области (пунктир) и ее смыкание с внешней ОПД (рис. 6).

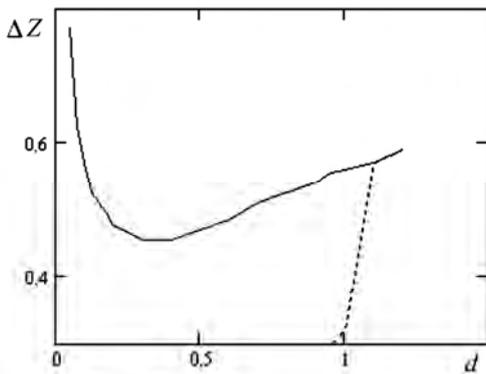


Рис. 5. Графики зависимости вида  $\Delta Z = f(d)$  глубины развития областей пластических деформаций от расстояния между фундаментами (сплошная линия для внешних, пунктир для внутренних ОПД)

Из графика, приведенного на рис. 5, видно, что при  $d = 0,3$  м глубина развития областей пластических деформаций составляет  $\Delta Z = \Delta Z_{\min}$ . При этом эквивалентная ширина фундамента  $L_{\text{экв}} = 2L + 2d = 2,6$  м. Расчетами установлено, если величину интенсивности равномерно распределенной нагрузки увеличить на 10 %, то для ситуации, изображенной на рис. 7,  $\Delta Z = 0,65$  м =  $0,25L_{\text{экв}}$ . Таким образом, величина интенсивности равномерно распределенной нагрузки  $q = 5,5 \gamma L$  соответствует величине расчетного сопротивления. Однако, если  $d = 0$  (рис. 1), то  $\Delta Z = 1,162$  м  $\geq 0,5$  м =  $0,25L_{\text{экв}}$  при

$q = 5 \gamma L$ . Следовательно, в этом случае величина равномерно распределенной нагрузки существенно превышает интенсивность нагрузки, которая эквивалентна расчетному сопротивлению.



Рис. 6. Слияние «внешних» и «внутренних» областей пластических деформаций при ослаблении взаимного влияния фундаментов

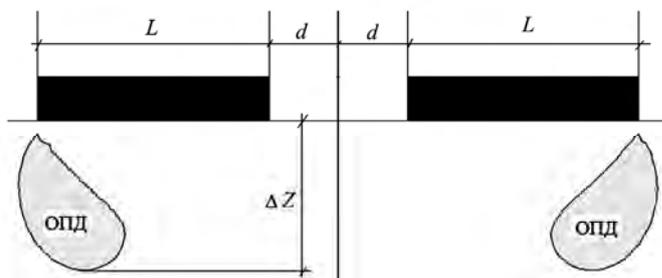


Рис. 7. Области пластических деформаций в основании двух близрасположенных фундаментов при их максимальном взаимном влиянии

На графике, приведенном на рис. 9, изображена зависимость вида  $\Delta Z = f(d^*)$ . В этом случае, как говорилось ранее, образование зазора между фундаментами  $d^*$  происходит за счет уменьшения ширины последних, причем ширина эквивалентного фундамента остается постоянно равной  $2L$ , а главный вектор нагрузки уменьшается прямо пропорционально уменьшению величины  $L - d^*$  (рис. 8).

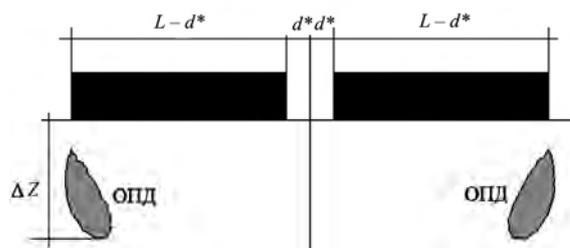


Рис. 8. Расчетная схема для второго рассматриваемого варианта

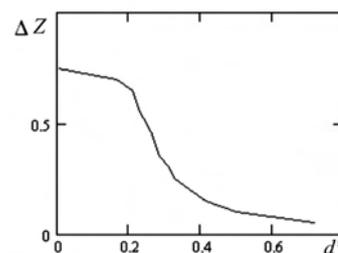


Рис. 9. Графики зависимости вида  $\Delta Z = f(d^*)$

Понятно, что в рассмотренном случае при условии  $d^* \rightarrow L$  будет выполняться условие  $\Delta Z \rightarrow 0$ , так как предыдущее условие соответствует отсутствию фундамента.

В третьем рассмотренном нами варианте условие сохранения величины главного вектора нагрузки приводит к тому, что, в конце концов, бесконечно малый по ширине фундамент должен воспринимать нагрузку бесконечно большой интенсивности, что соответствует неограниченному развитию ОПД.

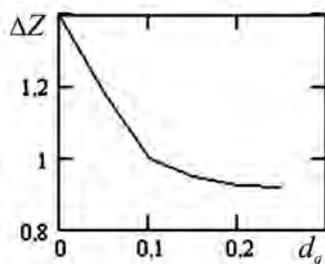


Рис. 10. График зависимости вида  $\Delta Z = f(d_q)$

**Выводы.** Использование системы параллельных ленточных фундаментов позволяет повысить полезные нагрузки на основание по сравнению со сплошной фундаментной плитой. Разница в нагрузках будет зависеть от геометрических параметров фундаментов и физико-механических свойств грунтов основания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Холмянский М.Л.* Напряженное состояние грунта при действии периодической системы полосовых нагрузок // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2005. № 5. С. 2—6.

2. *Федоровский В.Г.* Предельное давление на ряд ленточных штампов и эффект «непродавливания» // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. № 3. С. 9—13.

3. О взаимном влиянии параллельных незаглубленных ленточных фундаментов / А.Н. Богомолов, О.А. Богомолова, Я.В. Качурин, И.В. Якименко // Малоэтажное строительство : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. С. 131—136.

4. *Богомолов А.Н., Вихарева О.А., Редин А.В.* Пакет прикладных компьютерных программ ASV32 для исследования устойчивости грунтовых массивов // Город, экология, строительство : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Каир, 1999. Волгоград : ВолгГАСА, 1999. С. 33—34.

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

1. *Holmyanskiy M.L.* Napryazhonnoye sostoyaniye grunta pri deystvii periodicheskoy sistemy polosovyyh nagruzok // Osnovaniya, fundamenti i mehanika gruntov. 2005. № 5. S. 2—6.

2. *Fiodorovskiy V.G.* Predelnoye davleniye na ryad lentochnyh shtampov i effect “neprodavlianiya” // Osnovaniya, fundamenti i mehanika gruntov. 2006. № 3. S. 9—13.

3. O vzaimnom vliyaniy paralellynyh nezaglublionnyh lentochnyh fundamentov / A.N. Bogomolov, O.A. Bogomolova, Ya.V. Kachurin, YV. Yakimenko // Maloetazhnoye stroitelstvo : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Volgograd : VolgGASU, 2009. S. 131—136.

4. *Bogomolov A.N., Vihareva O.A., Redin A.V.* Paket prikladnyh kompyuternykh program ASV32 dlya issledovaniya ustoychivosti gruntovykh massivov // Gorod, ekologiya, stroitelstvo : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Kair, 1999. Volgograd : VolgGASA, 1999. S. 33—34.

5. *Bogomolov A.N.* Raschotn nesushey sposobnosti osnovaniy sooruzheniy i ustoychivosti gruntovykh massivov v uprugo-plasticheskoy postanovke. Perm : PGTU, 1996. 150 s.

© *Богомолов А.Н., Якименко И.В., Богомолова О.А., 2010*

*Поступила в редакцию  
в июле 2010*

УДК 624.138

**Ф.Г. Габиев**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ НАБУХАНИИ ГЛИНИСТЫХ ОСНОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА**

Приведены результаты натурных наблюдений, показавшие, что набухание глинистого основания линейного сооружения носит случайный характер. Задача оценки прочности при воздействии на линейное сооружение набухающих грунтов рассмотрена как стохастическая. Приведено уравнение изгиба линейного сооружения с функцией начальных неровностей. Определены спектральная плотность, искомая корреляционная функция прогиба, дисперсия напряжений и моментов. Приведена методика определения несущей способности линейных сооружений при набухании глинистого основания.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** сооружение, основание, набухание, глина, вероятность, стохастический, неровность, линейный, дисперсия, прочность.

The results of field tests showed the swelling of clay bases of linear constructions has chance nature. The aim of estimating the durability of linear constructions which are abetted by swelling soils is considered as stochastic. They give the equation of the bend of a linear construction with the functions of the initial function of bending deformations, the dispersion of tensions and moments. They give the method of finding the bearable capacity of linear constructions under the swelling of clay soil.

**K e y w o r d s:** construction, bases, swelling, clay, probability, stochastic, roughness, linear, dispersion, durability.

В отдельных исследованиях убедительно показана полезность вероятностного подхода для регулирования надежности и обеспечения безаварийности сооружений на структурно-неустойчивых грунтах. Особенно здесь можно отметить работы А.П. Пшеничкина [1] и Б.А. Гарагаша [2].

Как известно, набухание глинистых грунтов при их замачивании является сложным физико-химическим и физико-механическим процессом. Характер процесса изменяется как в пространстве, так и во времени случайным образом, поэтому процесс можно рассматривать как стохастический [3]. В прикладном аспекте применительно к линейным водохозяйственным сооружениям (лотковая оросительная сеть, закрытые оросительные трубопроводы, каналы, ленточные фундаменты трубчатых переходов и т.д.) это приводит к рассмотрению перемещений или нагрузок набухания как случайных функций. Основной задачей будет получение представительной входной информации — вероятностных характеристик процесса набухания. Такую информацию получают из натурных исследований. Процессы набухания можно подразделить на сезонные и многолетние. Анализ натурных измерений показывает, что с точки зрения прочности более опасно сезонное набухание, которое создает нагрузки большой интенсивности на линейные водохозяйственные сооружения.

Результаты натурных наблюдений можно рассматривать в качестве случайных величин из-за случайности величины набухания глинистого основания, обусловленного действием большого количества факторов, или в качестве реализации случайной функции пространственных координат и времени. Практический интерес представляет характеристика суммарного наблюдения. Статистическая обработка этой величины по длине линейного водохозяйст-

венного сооружения выполняется в соответствии с правилами математической статистики [4]. Вычислялись: оценка среднего значения набухания  $h$ ; дисперсия набухания  $S^2$ ; среднее квадратичное отклонение  $S$ ; коэффициент изменчивости набухания  $\omega$ ; погрешность оценки среднего значения набухания при доверительной вероятности 0,9  $\Delta_{0,9}$ . Данные вычислений приведены в таблице.

Профили	Период наблюдений, годы	Число точек наблюдений	Статистические характеристики			
			$h$ , мм	$S$ , мм	$S^2$	$\omega$ , %
Трасса Самур-Апшеронского канала Трасса канала для сброса катастрофических паводков Виляшчайского гидроузла	1985—1990	8	92	23	529	24
	1980—1986	5	38	16	252	51,3

Была выполнена проверка гипотезы статистической однородности. Оценка однородности проводилась с применением критерия Фишера

$$F_T < F_{\text{ЭМП}} \frac{S_{\text{max}}^2}{S^2} \quad (1)$$

для дисперсий и средних значений набухания для сравниваемых площадок:

$$\bar{h}_1 - \bar{h}_2 < t_p \sqrt{\frac{S_1^2(n_1 - 1) + S_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}. \quad (2)$$

В пределах рассматриваемых участков исследуемых линейных водохозяйственных сооружений расчеты подтвердили априорно предполагаемую однородность значения набухания.

Оценка точности среднего значения суммарного набухания выполнена при уровне значимости 0,9, который принят при обработке инженерно-геологической информации.

Натурные наблюдения показали, что набухание проявляется неравномерно по трассе линейного водохозяйственного сооружения. Для оценки неравномерности составлена пространственная автокорреляционная функция по формуле

$$r(0) = \frac{\sum_{j=1}^{n-\xi} (h_j - \bar{h})(h_{j+\xi} - \bar{h})}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n-\xi} (h_j - \bar{h})^2 \sum_{j=1}^{n-\xi} (h_{j+\xi} - \bar{h})^2}}, \quad (3)$$

где  $\xi$  — расстояние между точками измерений;  $r(0)$  — коэффициент корреляции между значениями набухания в точках;  $h_{j+\xi}$ ,  $h_j$  — набухание в точках измерения по профилю;  $\bar{h}$  — среднее набухание для профиля;  $n$  — число точек измерений на профиле.

Полученные корреляционные функции могут быть аппроксимированы простейшими функциями типа произведения экспоненциальной на тригоно-

метрическую. Это позволяет проводить аналитические решения стохастических прочностных задач, где в качестве входных нагрузок будут корреляционные функции набухания глинистого грунта. Одна из характерных задач изложена ниже.

Нагрузки от набухания глинистого грунта создают в линейном водохозяйственном сооружении напряжения, которые могут приводить к аварийным ситуациям.

Задача исследования напряженно-деформированного состояния линейного водохозяйственного сооружения в набухающих глинистых грунтах является новой, и необходимо изучить несколько подходов и дать их сравнительную оценку. Рассмотрим задачу в общей постановке, исходя из того, что процессы увлажнения глинистого грунта зависят от ряда факторов, не поддающихся учету, и носят случайный характер. В связи с этим задача оценки прочности при воздействии набухающего глинистого грунта может быть рассмотрена как стохастическая. Подобный подход ранее изложен В.В. Харионовским [5] при расчете магистральных трубопроводов.

Изучим поставленную задачу, следуя [6, 7]. Уравнение изгиба стержня имеет вид

$$EJ \frac{d^4 \varpi}{dx^4} + c\varpi = q(x) + cu(x), \quad (4)$$

где  $q(x)$  — нагрузка на грунт засыпки погонной длиной 1 м (если она имеет место) и собственный вес линейного водохозяйственного сооружения;  $c\varpi$  — реакция основания;  $cu(x)$  — функция начальных неровностей.

Правую часть представим, считая процесс центрированным, в виде

$$r = q + cu(r/c = u + q/c); \quad (5)$$

$$r(x) = \int_{-\infty}^{\infty} R(k) \exp(ikx) dk, \quad (6)$$

где  $k$  — волновое число;  $R(k)$  — спектр функции  $r(x)$ .

Искомую функцию  $\varpi(x)$  представим в аналогичном виде

$$\varpi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} W(k) \exp(ikx) dk. \quad (7)$$

Рассмотрим конкретную задачу, когда корреляционная функция набухания грунта основания, полученная по результатам натурных измерений, представлена выражением

$$K = k_0 \exp(-\alpha|\xi|) \cos \beta \xi, \quad (8)$$

где  $\alpha, \beta$  — параметры, имеющие размерность  $m^{-1}$ .

Коэффициент  $k_0$  удобно выразить через безразмерный коэффициент  $\varphi$ :

$$k_0 = \varphi^2 u_0^2. \quad (9)$$

С учетом выражения для  $r$  можем записать:

$$\varphi^2 = \frac{\langle (u - u_0)^2 \rangle}{u_0^2}. \quad (10)$$

Входную спектральную плотность  $\Phi_r(k)$  определим, следуя спектральному методу, с применением формул (8) и (9):

$$\begin{aligned} \Phi_r(k) &= \frac{1}{\pi} \frac{\alpha k_0}{(k - \beta)^2 + \alpha^2} + \frac{1}{\pi} \frac{\alpha k_0}{(k + \beta)^2 + \alpha^2} = \\ &= \frac{\alpha \varphi^2 u_0^2}{\pi} \left[ \frac{1}{(k - \beta)^2 + \alpha^2} + \frac{1}{(k + \beta)^2 + \alpha^2} \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Искомая корреляционная функция прогиба линейного водохозяйственного сооружения

$$\begin{aligned} K_{\varpi} &= \frac{\alpha \varphi^2 u_0^2}{\pi} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(ik\xi) dk}{(k^4 EJ + c_0)^2 [(k - \beta)^2 + \alpha^2]} + \right. \\ &\quad \left. + \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(ik\xi) dk}{(k^4 EJ + c_0)^2 [(k + \beta)^2 + \alpha^2]} \right\}. \end{aligned} \quad (12)$$

Представляет практический интерес вычислить дисперсию и среднеквадратическое отклонение прогибов. По определению формула для дисперсии:

$$S_{\varpi}^2 = K_{\varpi}(x) = \frac{\alpha \varphi^2 u_0^2}{\pi} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dk}{(k^4 EJ + c_0)^2 [(k - \beta)^2 + \alpha^2]} + \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dk}{(k^4 EJ + c_0)^2 [(k + \beta)^2 + \alpha^2]} \right\}. \quad (13)$$

Дисперсию напряжений можно вычислить, используя соотношение

$$S_{\sigma}^2 = 144 \frac{z^2}{h^2} S_M^2; \quad S_{\sigma}^2 = \frac{36}{h^4} S_M^2 \left( z = \frac{h}{2} \right), \quad (14)$$

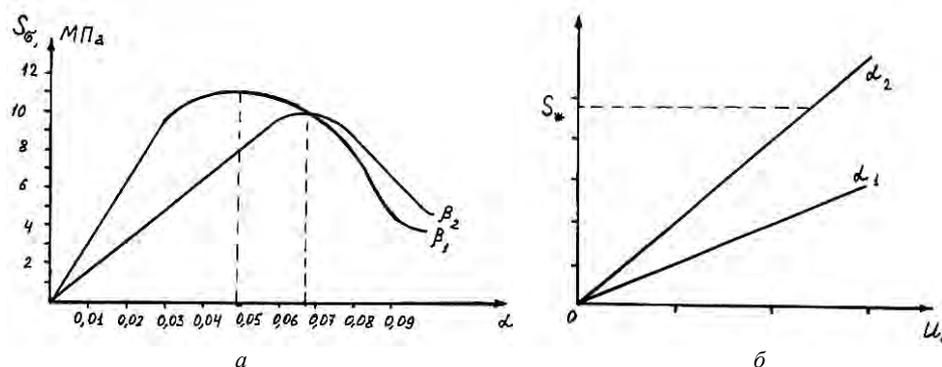
где  $S_M^2$  — дисперсия изгибающего момента;  $h$  — толщина стенки линейного водохозяйственного сооружения;  $z$  — текущая координата.

Из формул (11), (12), (13) и (14) получаем:

$$\begin{aligned} S_{\sigma}^2 &= \frac{36 \alpha \varphi^2 u_0^2 c^3}{\pi h^4} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dk}{(k^4 EJ + c_0)^2 [(k - \beta)^2 + \alpha^2]} + \right. \\ &\quad \left. + \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dk}{(k^4 EJ + c_0)^2 [(k + \beta)^2 + \alpha^2]} \right\} (c = c_0 b). \end{aligned} \quad (15)$$

Результаты проведенных вычислений интенсивности напряжений  $S_{\sigma}$ , возникающих в железобетонном лотковом сооружении, в зависимости от параметра  $\alpha$  приведены на рис. 1, *a* и *б*. Вычисления показывают, что при достижении некоторого  $\alpha$  величина  $S_{\sigma}$  достигает максимума, т.е. для конкретного сечения линейного водохозяйственного сооружения существует такой радиус корреляции бугра набухания грунта, который приводит к наибольшим напряжениям в сечении сооружения. Зависимость интенсивностей напряжений  $S_{\sigma}$  от высоты бугра набухания грунта  $u_0$  является линейной с разными углами наклона для каждого  $\alpha_i$ . Из рассмотренных графиков видно, что существуют такие практические случаи нагружения, при которых интенсивность напряжений с учетом средних значений превышает допустимые напряжения. Из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что нагрузки от набухания глинистого грунта основания сооружения нужно учитывать в прочностных расчетах и предусматривать в проектных решениях мероприятия по обеспечению прочности линейного водохозяйственного сооружения.

Как нами показано, набухание глинистого грунта при его случайном увлажнении можно представить как случайный процесс. Исходными функциями будут нагрузки набухания (нормальные и касательные) или профиль набухания под линейным сооружением. При вероятностном подходе предпочтительно в расчетной схеме задавать функцию набухания, например невозмущенный профиль набухания представлять в виде случайной функции координаты и времени.



Зависимость интенсивности напряжений от параметра  $\alpha$  (*a*) и высоты (*б*) бугра набухания грунта

Рассмотрим данный метод расчета при следующих предположениях. Предположим, что линейное водохозяйственное сооружение контактирует с бугром набухания, на отдельных участках отсутствует контакт линейного сооружения с грунтом. Система линейное сооружение — грунт описывается моделью Винклера с односторонними связями. При таком подходе необходимо задать распределение бугров набухания. Пусть случайная величина  $\lambda$  подчиняется закону Вейбулла

$$F_{\lambda}(\lambda) = 1 - \exp\left[-(\lambda/\lambda_c)^{\alpha_{\lambda}}\right], \quad (16)$$

где  $\lambda \geq 0$ ,  $1 \leq \alpha_{\lambda} \leq 4$ ,  $\lambda_c \approx 5$  м.

Аналогично представим ненабухающий участок грунта  $\mu$ :

$$F_{\mu}(\mu) = 1 - \exp\left[-(\mu/\mu_c)^{\alpha_{\mu}}\right], \quad (17)$$

с параметрами  $\mu \geq 0$ ,  $1 \leq \alpha_{\mu} \leq 4$ ,  $\mu_c \approx 10$  м.

Пусть профиль бугра набухания аппроксимирован функцией

$$\varpi_S(x) = h \sin^2 \pi x / \alpha, \quad (18)$$

в которой высота бугра набухания

$$h = \beta th(\lambda/\lambda_c)\varphi(t). \quad (19)$$

Здесь  $\beta$  характеризует общее сезонное набухание глинистого грунта;  $\lambda_c$  — характерная длина набухающей зоны грунта, при превышении которой высота бугра набухания практически не зависит от  $\lambda$ ; функция  $\varphi(t)$  описывает сезонное набухание. Пусть  $\beta$  распределена по логарифмическому нормальному закону с плотностью вероятности

$$f(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S_{\beta}} \beta \exp\left[-\frac{(\ln\beta - \ln\beta_c)^2}{2S_{\beta}^2}\right]. \quad (20)$$

Поскольку величина набухания мало меняется по годам,  $\beta_c$  можно выразить через уравнение

$$\frac{d\beta_c}{dt} = c(\beta_c^0 - \beta_c)\gamma \quad (21)$$

с постоянными  $\gamma$ ,  $c$ ,  $\beta_c^0$ . Наконец, будем считать, что коэффициенты жесткости грунтов — случайные величины с гауссовским законом распределения, плотность вероятности которых

$$f_c(c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}S_c} \exp\left[-\frac{(c - a_c)^2}{2S_c^2}\right]. \quad (22)$$

Для данной расчетной схемы используем уравнение изгиба линейного водохозяйственного сооружения на набухающем глинистом грунте

$$EJ \frac{d^4\varpi}{dx^4} + c_{\mu} \varpi \eta(-\varpi) + c_{\lambda} (\varpi_S - \varpi) \eta(\varpi_S - \varpi) = q(x), \quad (23)$$

где  $EJ$  — изгибная жесткость линейного сооружения;  $c_{\lambda}$ ,  $c_{\mu}$  — коэффициенты жесткости бугра набухания и набухающей зоны грунта основания сооружения;  $\varpi(x)$  — функция, описывающая профиль набухания под линейным сооружением;  $\eta(x)$  — функция Хевисайда;  $q(x)$  — внешняя нагрузка на сооружение.

Решение уравнения (23) можно произвести с использованием метода конечных элементов, для чего линейное сооружение разбивается на  $N$  элементов длиной  $l$  и аппроксимирующая функция представляется в виде

$$\varpi(\xi) = a_1 + a_2\xi + a_3\xi^2 + a_4\xi^3. \quad (24)$$

Обозначим угол поворота поперечного сечения сооружения

$$\varphi = \frac{\partial \varpi}{\partial \xi} \quad (\xi = x/l) \quad (25)$$

и запишем связь между обобщенными узловыми перемещениями  $\{\varpi_j; \varphi_j\}$  и постоянными  $a_j$  в матричной форме:

$$\{W\} = [A]\{a\}. \quad (26)$$

Неопределенные постоянные  $a_j$  получим из выражения (26):

$$\{a\} = [A]^{-1}\{W\}. \quad (27)$$

Полный вектор перемещений в произвольной точке элемента будет

$$\varpi = \{B\}^* [A]^{-1} \{W\} = \{Z\}^* \{W\}. \quad (28)$$

Отсюда изгибающие моменты примут вид

$$M(\xi) = EJ\varpi = \frac{EJ}{l^2} \{\Phi\}^* \{W\}. \quad (29)$$

Необходимо знать матрицы жесткости элемента, для чего применим принцип равенства работы узловых сил и потенциальной энергии упругой деформации элемента

$$\frac{l}{2} \{W\}^* [K_M] \{W\} = \frac{l}{2} \int_0^l \varpi(\xi) M(\xi) d\xi. \quad (30)$$

После подстановки выражений для  $\varpi$  и  $M$  получим матрицу жесткости элемента  $[K_M]$ .

Матрицу жесткости от реакции основания элемента формируем, считая, что на длине одного элемента контакт с основанием может быть нарушен только раз.

Матрица жесткости всей конструкции  $K$  и окончательные свободные члены получаются методом наложений вычислением  $K$  по элементам и суммированием компонент по узлам.

Неизвестный вектор перемещений  $W$  определим из системы уравнений

$$KW = R. \quad (31)$$

Зная  $W$ , можно определить обобщенные узловые силы  $R_q$ :

$$R_q = K_l W, \quad (32)$$

где  $K_l$  — матрица жесткости элемента.

Деформации линейного водохозяйственного сооружения определяем методом последовательных приближений, поскольку истинный размер зоны контакта сооружения с набухающим глинистым грунтом неизвестен. Для определения деформаций линейного сооружения с погрешностью  $\varepsilon = \max(\varpi_n - \varpi_{n-1}) < 1$  см достаточно 3...4 итераций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пишеничкин А.П., Лялин Я.Д., Гарагаш Б.А.* К расчету осадок статистически неоднородных лессовых оснований // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1972. № 7. С. 31—36.

2. *Гарагаш Б.А.* Аварии и повреждения системы «здание — основание» и регулирование надежности ее элементов. Волгоград : Изд-во Волгогр. гос. ун-та, 2000. 384 с.

3. *Габиров Ф.Г.* Вероятностный подход в нагрузкам набухания глинистых оснований мелиоративных сооружений // Строительство на структурно-неустойчивых грунтах : сб. тезисов докладов I Регион. конф. Самарканд, 1992. С. 112—113.

4. *Хальд А.* Математическая статистика с техническими приложениями. М. : Изд-во иностр. лит., 1956. 664 с.

5. *Харионовский В.В.* Применение корреляционной теории к расчету магистральных трубопроводов // Аннотации докладов V Всесоюзного съезда по теоретической и прикладной механике. Алма-Ата : Наука, 1981.

6. *Болотин В.В.* Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М. : Стройиздат, 1982. 351 с.

7. *Харионовский В.В.* Стохастические задачи в расчетах магистральных газопроводов // Аннотации докладов VI Всесоюзного съезда по теоретической и прикладной механике. Ташкент : Наука, 1996.

8. *Москаленко В.Н., Харионовский В.В.* Прочность элементов теплообменных устройств в условиях случайных пульсаций температур. М. : Атомиздат, 1979. 167 с.

1. *Pshenichkin A.P., Lyalin Ya.D., Garagash B.A.* K raschotu osadok statisticheski neodnorodnyh lyossovyyh osnovaniy // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo i arhitektura. 1972. № 7. S. 31—36.

2. *Garagash B.A.* Avarii i povrezhdeniya sistemy “zdaniye — osnovaniye” i regulirovaniye nadiozhnosti eyo elementov. Volgograd : Izd-vo Volgogr. gos. un-ta, 2000. 384 s.

3. *Gabibov F.G.* Veroyatnostnyj podhod k nagruzkam nabuhaniya glinistykh osnovaniy meliorativnykh sooruzheniy // Stroitelstvo na strukturno-neustoychivyyh gruntah : sb. tezisov dokladov i region. konf. Samarkand, 1992. S. 112—113.

4. *Hald A.* Matemeticheskaya statistika s tehnicheskimi prilozheniyami. M. : Izd-vo inostr. lit., 1956. 664 s.

5. *Harionovskiy V.V.* Primeneniye korellyatsionnoy teorii k raschyotu magistralnykh truboprovodov // Annotatsii dokladov V Vsesoyuz. s'ezda po teoreticheskoy i prikladnoy mehanike. Alma-Ata : Nauka, 1981.

6. *Bolotin V.V.* Metoda teorii veroyatnostey i teorii nadiozhnosti v raschyotah sooruzheniy. M. : Stroyizdat, 1982. 351 s.

7. *Harionovskiy V.V.* Stohasticheskiye zadachi v raschyotah magistralnykh truboprovodov // Annotatsii dokladov VI Vsesoyuz. s'ezda po teoreticheskoy i prikladnoy mehanike. Tashkent : Nauka, 1996.

8. *Moskalenko V.N., Harionovskiy V.V.* Prochnost elementov teploobmennykh ustroystv v usloviyah sluchaynykh pulsatsiy temperature. M. : Atomizdat, 1979. 167 s.

© Габиров Ф.Г., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010

УДК 539.4:624.872; 629.122.5; 656.211.7

**О.Л. Соколов**

### **АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПОНТОНОВ И ПАРОМОВ С ПРОДОЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ ОТСЕКОВ**

Предложена новая конструктивная схема понтонов и паромов с отсеками продольной ориентации, что обеспечивает большую живучесть и лучшие мореходные качества при аварии. Параметры напряженно-деформированного состояния исследуются с позиций теории призматических оболочек многоконтурного сечения в податливой среде.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** понтон, паром, продольные отсеки, оболочки призматические, многоконтурное сечение, упругое основание.

Suggests a new contraction schem of pontoons and ferryboats with longitudinal orientation of emptiness which secured a bigger vital power and best sea-faring propertys by wreck. The characters of strains and deformations investigated by theory of prismatic shells with polycontour section in flexible environment.

**K e y w o r d s:** pontoon, ferryboat, longitudinal emptiness, prismatic shells, polycontour section, elastic foundation.

В современном судостроении внутреннее пространство судна делится на отсеки с помощью водонепроницаемых переборок. Так, в пассажирских судах применяются только поперечные переборки, в наливных судах и рудовозах — поперечные и продольные. Количество продольных переборок зависит от ширины корпуса. Паромы снабжаются поперечными переборками, а продольные стенки часто не являются непроницаемыми, а вводятся для усиления грузовой палубы. Что касается понтонов, то они иногда имеют поперечные переборки, но чаще всего не имеют никаких внутренних переборок.

Совершенно очевидно, что конструкция, снабженным только поперечными переборками, присущ тот серьезный недостаток, что возникающий при затоплении крайнего отсека дифферент либо на нос, либо на корму резко снижает мореходные качества. Те же конструкции, в которых не предусмотрены никакие переборки, совершенно лишены свойства живучести.

Между тем сообщить судовым корпусам свойство живучести и сохранить мореходные качества при аварии можно путем изменения конструктивной схемы.

Проведенные путем численных экспериментов исследования показали:

1) поперечные диафрагмы в призматических оболочках замкнутого сечения никак не влияют на жесткость кручения, равно как на продольную и изгибную жесткости, их роль заключается в существенном снижении деформируемости контура поперечного сечения и повышении поперечной жесткости. В тех сечениях, где расположены диафрагмы, деформируемость контура отсутствует, но между диафрагмами она имеет место. Однако при достаточно частом расположении диафрагм по длине оболочки можно считать, что конструкция обладает жестким, недеформируемым контуром;

2) введение продольных стенок вместо поперечных диафрагм, т.е. замена одноконтурного сечения многоконтурным так же существенно снижает деформируемость контура и, как следствие, депланацию поперечных сечений

оболочки. При этом продольная жесткость существенно увеличивается, жесткости изгибная и жесткость кручения возрастают, но в гораздо меньшей степени.

Полученные результаты позволяют предложить новую конструктивную схему понтонов и паромов в виде призматической оболочки с продольной ориентацией отсеков. Такая схема, при сохранении или даже улучшении жесткостных параметров традиционной конструкции без переборок или с поперечными переборками, приобретает два новых качества, которые оказываются несомненными преимуществами:

а) живучесть (в сравнении с конструкциями без переборок);

б) сохранение мореходных качеств. В случае затопления крайнего отсека не возникает дифферента, что позволяет сохранять скорость движения.

А поскольку новая конструкция не наделяется априори недеформируемостью контура и отсутствием деформации поперечных сечений, то расчет ее должен строиться как расчет оболочки. Соотношения габаритных размеров существующих типов понтонов и паромов диктуют и выбор наиболее подходящей теории: это вариационная теория призматических оболочек средней длины В.З. Власова [1].

Плавающая конструкция представляет собой оболочку в упруго-податливой среде, а вода при этом идеально отвечает винклеровской модели упругого основания. Техническая теория расчета призматических оболочек многоконтурного сечения в податливой среде подробно изложена и обоснована автором в статьях последних лет [2— 4] и монографии [5]. Это обстоятельство дает возможность здесь ограничиться описанием расчетных схем и особенностей алгоритма.

Рассмотрим действие полосовой нагрузки, равномерно распределенной по длине корпуса. Она может быть разложена на симметричную относительно диаметральной плоскости корпуса (рис. 1, а) и обратносимметричную (рис. 1, б) составляющие.

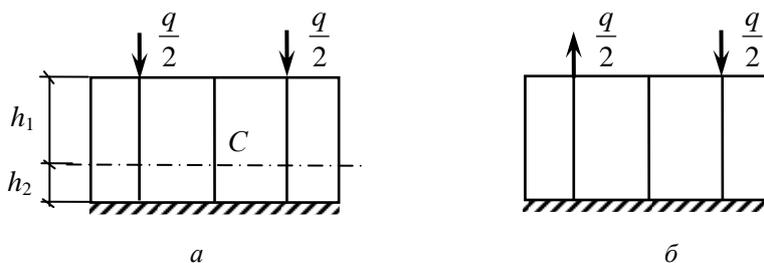


Рис. 1

Под действием симметричной составляющей нагрузки корпус может изгибаться как балка с жестким контуром на упругом основании (состояние I) и как оболочка за счет деформации контура поперечного сечения (состояние II). А под действием обратносимметричной составляющей нагрузки общего изгиба не произойдет, а будет только изгиб за счет деформации контура (состояние III). Таким образом, любой параметр НДС оболочки складывается из трех слагаемых: как результат состояния I, состояния II и состояния III.

Состояние I (рис. 2) описывается известным дифференциальным уравнением изгиба балки постоянного сечения на упругом винклеровском основании с коэффициентом постели, численно равным удельному весу воды  $k = \gamma$ :

$$\frac{d^4 M_z}{dz^4} + 4\alpha^4 M_z = \frac{d^2 q}{dz^2}, \text{ где } \alpha = \sqrt[4]{\frac{\gamma b}{4EI}}.$$

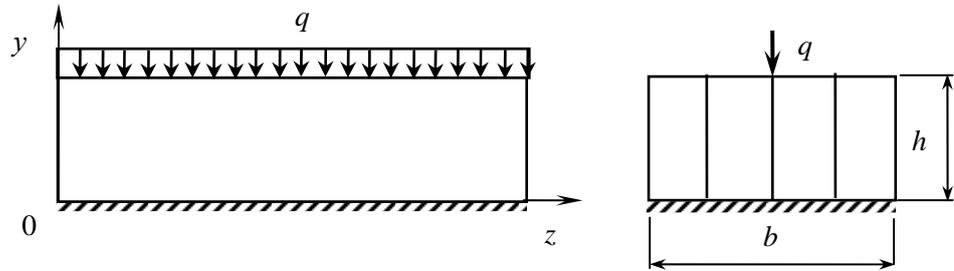


Рис. 2

Решение этого уравнения методом начальных параметров дано академиком А.Н. Крыловым [6].

Для расчета корпуса в состояниях II и III предлагается использовать теорию призматических оболочек средней длины В.З. Власова [1], применение которой в случае граней сплошной структуры позволяет пренебрегать влиянием деформаций сдвига, следствием чего функции обобщенных продольных и поперечных перемещений и аппроксимирующие функции оказываются связанными следующим соотношением:

$$U_i(z) = -V_i'(z); \quad \varphi_i'(s) = \psi_i(z). \quad (1)$$

Если задавать аппроксимирующие функции статическим способом, то с достаточной степенью точности, как это показано, в частности, в [5], можно ограничиваться одной итерацией, и тогда разрешающие уравнения как для состояния II, так и для состояния III примут вид

$$a_0 V^{IV}(z) + s_0 V(z) = \frac{q_1(z)}{E}, \quad (2)$$

которые могут быть представлены и в ином виде:

$$V^{IV}(z) + 4\beta^4 V(z) = \frac{q_1}{Ea_0}, \quad (2')$$

$$\text{где } \beta = \sqrt[4]{\frac{s_0}{4a_0}}; \quad a_0 = \delta \int_{\cup} \varphi^2(s) ds; \quad s_0 = \frac{1}{E} \int_{\cup} \frac{\overline{M}^2(s)}{EI_1} ds, \quad (3)$$

$\overline{M}(s)$  — функции изгибающих моментов в элементах рамы-полоски от действия единичных сил в ее узлах.

«Единичные» загрузки и соответствующие им эпюры аппроксимирующих функций для состояния II и для состояния III показаны соответственно на рис. 3 и 4.

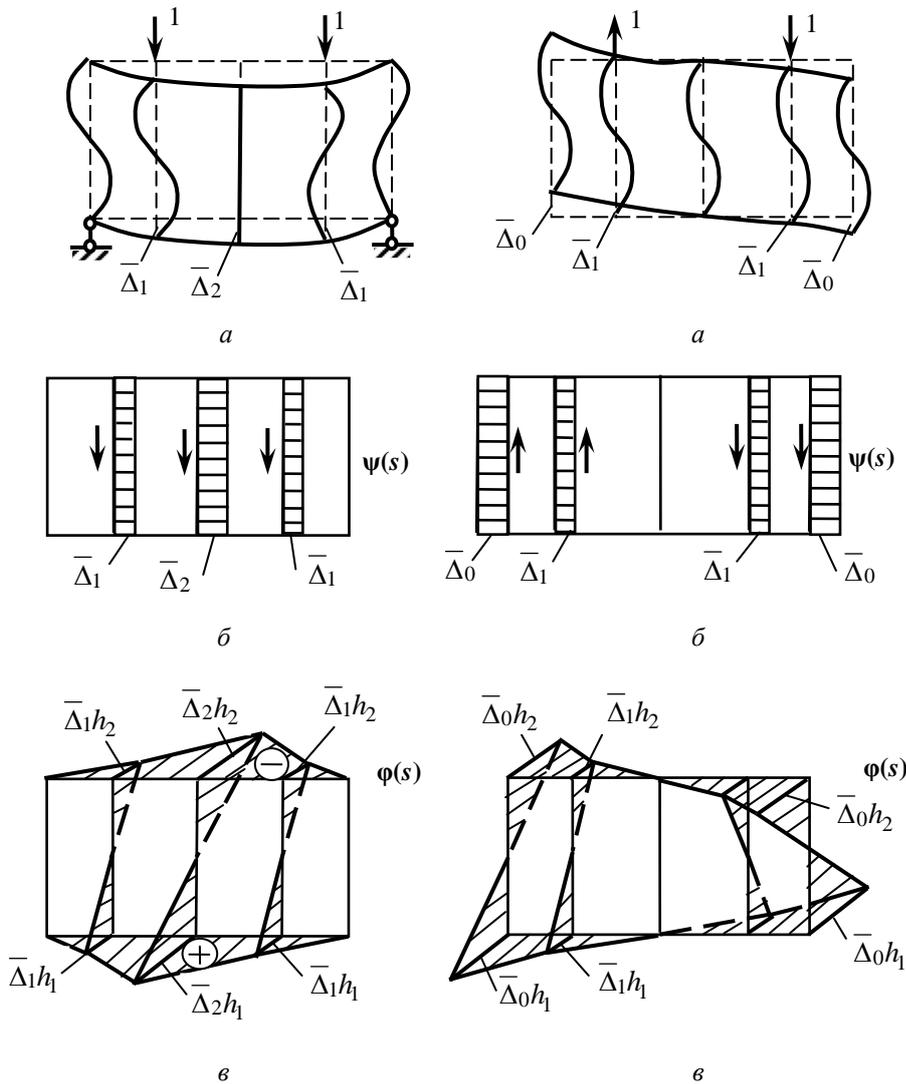


Рис. 3

Рис. 4

В каждом из состояний (II и III) строятся эпюры изгибающих моментов, по которым вычисляются коэффициенты  $s_0$ , а по эпюрам  $\varphi(s)$  определяются коэффициенты  $a_0$  в соответствии с формулами (3).

Грузовые члены разрешающих уравнений в состояниях II и III определяются как работа нагрузки на возможных перемещениях, заданных единичными загрузками. Так, для рассматриваемой схемы загрузки находим для обоих состояний

$$q_1 = \frac{q}{2} \bar{\Delta}_1 + \frac{q}{2} \bar{\Delta}_1 = q \bar{\Delta}_1.$$

Несмотря на то, что формула получилась одна, значения  $\bar{\Delta}_1$  в состояниях II и III, конечно же, различны.

Для построения эпюр  $\overline{M}(s)$  и для определения ординат в эпюрах  $\psi(s)$  применяется метод перемещений. При этом для элементов основной системы, принадлежащих нижнему поясу рамы-полоски, связанному с упругим винклеровским основанием, требуются значения конечных усилий и эпюры моментов, алгоритм определения которых подробно изложен в [5].

Разрешающее уравнение (2') по форме совпадает с уравнением изгиба балки на упругом основании с характеристикой « $\beta$ » по (3). Поэтому и его решение легко может быть представлено в форме метода начальных параметров. Выражения функции обобщенного прогиба  $V(z)$  и ее производных будут:

$$\begin{aligned} V(z) &= \overline{y}_0 A_z + \overline{\varphi}_0 B_z + \overline{M}_0 C_z + \overline{Q}_0 D_z + \frac{q_1}{Es_0} (1 - A_z), \\ V'(z) &= \beta \left[ -4\overline{y}_0 D_z + \overline{\varphi}_0 A_z + \overline{M}_0 B_z + \overline{Q}_0 C_z \right] + \frac{q_1}{Es_0} 4\beta D_z, \\ V''(z) &= \beta^2 \left[ -4\overline{y}_0 C_z - 4\overline{\varphi}_0 D_z + \overline{M}_0 A_z + \overline{Q}_0 B_z \right] + \frac{q_1}{Es_0} 4\beta^2 C_z, \\ V'''(z) &= \beta^3 \left[ -4\overline{y}_0 B_z - 4\overline{\varphi}_0 C_z - 4\overline{M}_0 D_z + \overline{Q}_0 A_z \right] + \frac{q_1}{Es_0} 4\beta^3 B_z, \\ V^{IV}(z) &= \beta^4 \left[ -4\overline{y}_0 A_z - 4\overline{\varphi}_0 B_z - 4\overline{M}_0 C_z + \overline{Q}_0 D_z \right] + \frac{q_1}{Es_0} 4\beta^4 A_z, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $A_z, B_z, C_z, D_z$  — функции А.Н. Крылова аргумента « $\beta z$ » [6]; начальные параметры, отмеченные чертой сверху, имеют простой физический смысл:

$\overline{y}_0 = y_0$  — прогиб сечения, расположенного в начале координат,

$\overline{\varphi}_0 = \frac{\varphi_0}{\beta}$ , где  $\varphi_0$  — угол поворота сечения в начале координат,

$\overline{M}_0 = \frac{M_0}{\beta^2 E a_0}$ , где  $M_0$  — момент в начале координат,

$\overline{Q}_0 = \frac{Q_0}{\beta^3 E a_0}$ , где  $Q_0$  — поперечная сила в начале координат.

Здесь представлены зависимости только для случая загрузки любой полосовой нагрузкой, равномерной по длине. Для иных вариантов загрузки соотношения несколько усложняются, но общий алгоритм остается таким же.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власов В.З. Тонкостенные пространственные системы. М. : Госстройиздат, 1958. 502 с.
2. Соколов О.Л. О необходимости пространственного расчета тоннельных обделок мелкого заложения // Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте : тезисы VII Междунар. конф. СПб. : ПГУПС, 2008. С. 155—157.
3. Соколов О.Л. К теории пространственного расчета обделок тоннелей мелкого заложения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2008. № 12 (31). С. 20—23.

4. *Соколов О.Л.* Пространственный расчет обделок тоннелей мелкого заложения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2009. № 14 (33). С. 59—65.
5. *Соколов О.Л.* Пространственный расчет подземных сооружений как призматических оболочек в податливой среде. Вологда : ВоПИ, 2010. 255 с.
6. *Крылов А.Н.* Расчет балок, лежащих на упругом основании. М. : АН СССР, 1931. 136 с.
1. *Vlasov V.Z.* Tonkostennye prostranstvennye sistemy. М. : Gosstroyizdat, 1958. 502 s.
2. *Sokolov O.L.* О необходимости пространственного расчета тоннельных обделок мелкого заложения // Problemy prochnosti materialov i sooruzheniy na transporte : tezisy VII Mezhdunar. Konf. SPb. : PGUPS, 2008. S. 155—157.
3. *Sokolov O.L.* К теории пространственного расчета обделок тоннелей мелкого заложения // Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arhit. 2008. № 12(31). S. 20—23.
4. *Sokolov O.L.* Пространственный расчет обделок тоннелей мелкого заложения // Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arhit. 2009. № 14(331). S. 59—65.
5. *Sokolov O.L.* Пространственный расчет подземных сооружений как призматических оболочек в податливой среде. Вологда : ВоПИ, 2010. 255 с.
6. *Krylov A.N.* Raschet balok, lezhaschih na uprugom osnovanii. М. : AN SSSR, 1931. 136 s.

© Соколов О.Л., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010 г.

УДК 624.072.2:539.214

**А.В. Старов**

### **ДИНАМИКА ЖЕСТКОПЛАСТИЧЕСКИХ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ С ШАРНИРНО-НЕПОДВИЖНЫМ ОПИРАНИЕМ И ЖЕСТКИМ ЗАЩЕМЛЕНИЕМ КРАЯ**

Рассмотрена задача пластического деформирования пологих оболочек вращения с шарнирно неподвижным опиранием и жестким защемлением края под действием ударной нагрузки с учетом физической и геометрической нелинейностей. Получены системы разрешающих уравнений, разработаны алгоритм и программа численной реализации задачи на основе метода конечных разностей.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** пологие оболочки вращения, динамика, ударные нагрузки, пластическое деформирование, физически и геометрически нелинейные задачи.

The problem of plastic deformation of shallow shells of rotation with hinged support fixed and rigid fixing of edge under action of impact loading in view of physical and geometrical nonlinearities is considered. Systems of the resolving equations are received, the algorithm and the program of numerical realization of a problem on the basis of a method of final differences is developed.

**К e y w o r d s:** shallow shells of rotation, dynamics, impact loadings, plastic deformation, physically and geometrically nonlinear problems.

Исследование динамического поведения пологих оболочек вращения при действии кратковременных нагрузок большой интенсивности, значительно превышающих несущую способность конструкции, является актуальной задачей динамической теории предельного сопротивления [1].

Решение подобных задач в упруго-вязко-пластической постановке с учетом волновых эффектов, зависимости предела текучести материала от скорости деформирования и других факторов на основе дискретных моделей (МКЭ, МКР и т.д.) связано с достаточно сложным алгоритмом численной реализации и вызывает необходимость оценки достоверности результатов [2].

Вследствие больших пластических деформаций возникает необходимость учета физической и геометрической нелинейностей. В этом случае целесообразно использование модели жесткопластического тела, пренебрегающей упругими деформациями, при условии, что пластические деформации на порядок превышают упругие.

Решение подобной задачи было получено в [3] на основе линеаризации поверхности текучести и применения квазистатического механизма деформирования для решения динамических задач.

Рассмотрим постановку задачи на основе полной системы уравнений динамики пластических оболочек [4]. В момент времени  $t = 0$  к оболочке мгновенно прикладывается давление, превышающее предельную статическую нагрузку, и действует в течение времени  $t = t_p$ . Движение оболочки прекращается в момент времени  $t = t_k$ . Форма оболочки определяется величиной остаточных пластических деформаций, остаточный прогиб в центре оболочки — величиной импульса. Целью исследования является оценка напряженно-деформированного состояния оболочки в каждый момент времени.

Уравнения движения для пологих оболочек вращения в безразмерных координатах и переменных без учета сил инерции в радиальном направлении:

$$n_2 = \frac{\partial}{\partial \rho}(\rho n_1); \quad \rho Q = m_2 - \frac{\partial}{\partial \rho}(\rho m_1); \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = P(\rho) - 2n\xi + n_1 \frac{\partial^2 w}{\partial \rho^2} + n_2 \frac{1}{\rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho}(\rho Q).$$

Граничные условия:  $m_1(1, t) = 0$  (шарнир);  $m_1(1, t) = -m$  (зашемление),

$$m_1(0, t) = m_2(0, t); \quad Q(0, t) = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial \rho}(0, t) = 0; \quad w(1, t) = 0; \quad u(1, t) = 0.$$

Начальные условия:  $\dot{w}(\rho, 0) = w(\rho, 0) = 0; \quad \dot{u}(\rho, 0) = u(\rho, 0) = 0.$

Скорости деформаций и скорости изменения кривизны срединной поверхности соответственно равны:

$$\dot{\varepsilon}_1 = \frac{h^2}{4\rho_0^2} \left( \frac{\partial \dot{u}}{\partial \rho} + \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} + \dot{w}\xi \right); \quad \dot{\varepsilon}_2 = \frac{h^2}{4\rho_0^2} \left( \frac{\dot{u}}{\rho} + \dot{w}\xi \right); \quad (2)$$

$$\dot{\chi}_1 = -\frac{h}{2\rho_0^2} \frac{\partial^2 \dot{w}}{\partial \rho^2}; \quad \dot{\chi}_2 = -\frac{h}{2\rho_0^2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho}.$$

В формулах (1) и (2):  $\rho = \bar{\rho}/\rho_0$  — радиус проекции произвольной точки срединной поверхности;  $2\rho_0$  — диаметр опорного контура;  $m_i = \bar{M}_i/\sigma_s h^2$  — изгибающие моменты;  $n_i = \bar{N}_i/2\sigma_s h$  — мембранные силы;  $w = 2\bar{w}/h$  — прогиб;  $u = 4\bar{u}\rho_0/h^2$  — радиальное перемещение;  $Q = \bar{Q}\rho_0/\sigma_s h^2$  — поперечная сила;  $P = \bar{P}\rho_0^2/\sigma_s h^2$  — параметр нагрузки;  $\sigma_s$  — предел текучести, не зависящий от скорости пластического деформирования;  $t = \bar{t}\sqrt{2\sigma_s h/\gamma\rho_0^2}$  — безразмерное время;  $2h$  — толщина оболочки;  $\xi = 2\rho_0^2/Rh$  — параметр начальной кривизны срединной поверхности;  $\gamma$  — масса единицы площади поверхности;  $R$  — радиус кривизны;  $i = 1, 2$  — индексы радиального и окружного направления. Горизонтальная черта указывает на размерность соответствующей величины.

Учет геометрической нелинейности целесообразен для пологих оболочек при отношении стрелы подъема в центре к толщине оболочки  $f/2h < 6$ . Стреле подъема, равной толщине оболочки, соответствует  $\xi = 8$ . Отсюда предельное значение параметра начальной кривизны  $\xi < 48$ .

Взаимное влияние продольных усилий и изгибающих моментов определяется условием пластичности для сплошных однослойных оболочек [1]

$$m_1^2 - m_1 m_2 + m_2^2 + n_1^2 - n_1 n_2 + n_2^2 = 1. \quad (3)$$

Заменим поверхность (3) тремя эквивалентными соотношениями:

$$m_1^2 - m_1 m_2 + m_2^2 = m^2; \quad n_1^2 - n_1 n_2 + n_2^2 = n^2; \quad m^2 + n^2 = 1. \quad (4)$$

Полагая  $n(\rho) = \text{const}$ , первое уравнение системы (1) и второе уравнение системы (4) имеют единственное решение  $n_1 = n_2 = n$ .

Мощность диссипации энергии в безразмерном виде

$$D = \int_0^1 (\dot{\varepsilon}_1 n_1 + \dot{\varepsilon}_2 n_2) \rho d\rho + \int_0^1 (\dot{\chi}_1 m_1 + \dot{\chi}_2 m_2) \rho d\rho + \left[ \left[ \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \right] m_1 \right]_{\rho=1} = D^n + D^m, \quad (5)$$

где  $D = \frac{2\rho_0^2 \bar{D}}{\sigma_s h^3}$ ,  $\dot{\varepsilon}_i = \frac{4\rho_0^2 \dot{\varepsilon}_i}{h^2}$ ,  $\dot{\chi}_i = \frac{2\rho_0^2 \dot{\chi}_i}{h}$  — безразмерные скорость диссипации, скорости деформации и изменения кривизны срединной поверхности;  $\left[ \left[ \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \right] \right]$  — разрыв в скорости наклона срединной поверхности при  $\rho = 1$ .

С учетом первого уравнения системы (1) и соотношений (2) будем иметь

$$D^n = \int_0^1 \left[ \frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} (\rho n_1 \dot{u}) + n_1 \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} + \dot{w} \xi (n_1 + n_2) \right] \rho d\rho = n \int_0^1 \left( \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} + 2\dot{w} \xi \right) \rho d\rho,$$

т.е. мощность диссипации энергии не зависит от вида кинематически допустимого поля скоростей радиальных перемещений.

На основании ассоциированного закона течения изгибающие моменты выражаются через скорости изменения кривизны срединной поверхности:

$$m_1 = \frac{m(2\dot{\chi}_1 + \dot{\chi}_2)}{\sqrt{3(\dot{\chi}_1^2 + \dot{\chi}_1 \dot{\chi}_2 + \dot{\chi}_2^2)}}; \quad m_2 = \frac{m(2\dot{\chi}_2 + \dot{\chi}_1)}{\sqrt{3(\dot{\chi}_1^2 + \dot{\chi}_1 \dot{\chi}_2 + \dot{\chi}_2^2)}}. \quad (6)$$

Подставив (6) в (5), получим

$$D = \frac{2m}{\sqrt{3}} \int_0^1 \sqrt{\dot{\chi}_1^2 + \dot{\chi}_1 \dot{\chi}_2 + \dot{\chi}_2^2} \rho d\rho + \left[ \left[ \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \right] m_1 \right]_{\rho=1} + n \int_0^1 \left( \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} + 2\dot{w} \xi \right) \rho d\rho. \quad (7)$$

Зависимость между  $n$  и  $m$  можно получить, используя условие максимума скорости диссипации энергии:

$$\frac{\partial D}{\partial n} = 0, \quad \frac{n}{m} = \frac{n \int_0^1 \left( \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} + 2\dot{w} \xi \right) \rho d\rho}{\frac{2}{\sqrt{3}} \int_0^1 \sqrt{\dot{\chi}_1^2 + \dot{\chi}_1 \dot{\chi}_2 + \dot{\chi}_2^2} \rho d\rho + \left[ \left[ \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \right] m_1 \right]_{\rho=1}}. \quad (8)$$

Интегрируя (5) по частям, можно получить другую формулу

$$D = m \int_0^1 \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left[ \bar{m}_2 - \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho \bar{m}_1) \right] \dot{w} \rho d\rho - n \int_0^1 \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} - 2\xi \right] \dot{w} \rho d\rho, \quad (9)$$

где  $\bar{m}_1 = m_1/m$ ,  $\bar{m}_2 = m_2/m$  — единичные (нормированные) векторы.

Условие максимума скорости диссипации дает зависимость

$$\frac{\partial D}{\partial n} = 0, \quad \frac{n}{m} = - \frac{\int_0^1 \left( \frac{\partial^2 w}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} - 2\xi \right) \dot{w} \rho d\rho}{\int_0^1 \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left[ \bar{m}_2 - \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho \bar{m}_1) \right] \dot{w} \rho d\rho}. \quad (10)$$

Зависимости (8) и (10) эквивалентны, но формула (10) предпочтительнее, так как не содержит разрывы скорости наклона срединной поверхности.

С введением новой функции

$$\psi = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho Q) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left[ m_2 - \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho m_1) \right] \quad (11)$$

система уравнений (1) с учетом физических соотношений (6), условия пластичности (3) и зависимостей (8) или (10) сводится к нелинейному дифференциальному уравнению в частных производных

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = P(\rho) - 2n\xi + n \left( \frac{\partial^2 w}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} \right) - \psi(\rho, t). \quad (12)$$

Дифференцируя первое уравнение системы (4) по пространственной координате, найдем соотношение между производными

$$\frac{\partial m_2}{\partial \rho} = - \frac{\partial m_1}{\partial \rho} k, \quad k = \frac{2m_1 - m_2}{2m_2 - m_1}. \quad (13)$$

Тогда соотношение (11) примет вид

$$\psi = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial m_1}{\partial \rho} (2+k) - \frac{\partial^2 m_1}{\partial \rho^2}, \quad \psi = P_S m \bar{\psi} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{m}_1}{\partial \rho} (2+k) - \frac{\partial^2 \bar{m}_1}{\partial \rho^2}, \quad (14)$$

где  $\bar{\psi}$ ,  $\bar{m}_1$  — нормированные векторы;  $P_S = \max \psi$  определяется из решения уравнения (14) или интегрального уравнения

$$P_S \int_0^1 \int_0^1 \bar{\psi} \rho d\rho = \int_0^1 m_2 d\rho - m_1 \Big|_{\rho=1} \text{ при } m=1.$$

Заменим нагрузку  $P = P(\rho)$  эквивалентной нагрузкой  $P = P_0 \bar{\psi}_0$ , где  $\bar{\psi}_0 = \bar{\psi}(\rho, 0)$ . Параметр начальной кривизны примем в виде функции  $\xi = \xi_0 \bar{\psi}_0$ . Определим  $\psi(\rho)$  в момент времени  $t = 0 + \Delta t$ ,  $\Delta t \rightarrow 0$ ,  $w \rightarrow 0$ .

Из уравнения (12) при  $t = 0 + \Delta t$  следует:

$$\dot{w} = (P_0 - 2n\xi_0 - P_S) \bar{\psi}_0 \Delta t,$$

$$\dot{\chi}_1 = - \frac{\partial^2 \dot{w}}{\partial \rho^2} = \frac{\partial^2 \psi_0}{\partial \rho^2} \Delta t, \quad \dot{\chi}_2 = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi_0}{\partial \rho} \Delta t.$$

Отношение скоростей изменения кривизны срединной поверхности на основании ассоциированного закона течения

$$\eta = \frac{\dot{\chi}_1}{\dot{\chi}_2} = \frac{\partial^2 \dot{w}}{\partial \rho^2} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \right)^{-1} = \frac{\partial^2 \psi_0}{\partial \rho^2} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi_0}{\partial \rho} \right)^{-1} = \frac{2m_1 - m_2}{2m_2 - m_1} = k. \quad (15)$$

Условие равенства мощностей заданной и приведенной нагрузок, а также равенства мощностей рассеивания энергии заданного и приведенного параметра начальной кривизны позволяет получить

$$P_0 = \int_0^1 P(\rho) \bar{\psi}_0 \rho d\rho \left( \int_0^1 \bar{\psi}_0^2 \rho d\rho \right)^{-1}, \quad \xi_0 = \xi \int_0^1 \bar{\psi}_0 \rho d\rho \left( \int_0^1 \bar{\psi}_0^2 \rho d\rho \right)^{-1}. \quad (16)$$

Из (14) и (15) следует система уравнений для определения начального поля изгибающих моментов и функции  $\psi_0$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial m_1}{\partial \rho} (2+k) + \frac{\partial^2 m_1}{\partial \rho^2} = -\psi_0, \quad \frac{\partial^2 \psi_0}{\partial \rho^2} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi_0}{\partial \rho} k. \quad (17)$$

Граничные условия для шарнирно неподвижного опирания и жесткого защемления:

$$m_1(0) = 1, \quad m_1(1) = 0, \quad m_1(1) = -m, \quad \frac{\partial \psi_0}{\partial \rho}(0) = 0, \quad \psi_0(1) = 0. \quad (18)$$

Последнее граничное условие соответствует отсутствию ускорения на опорном контуре.

Система разрешающих уравнений (12), (14) и (17) с учетом (6), (8), (10) и (16) принимает вид

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = (P_0 - 2n\xi_0) \bar{\psi}_0 + n \left( \frac{\partial^2 w}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial m_1}{\partial \rho} (2+k) + \frac{\partial^2 m_1}{\partial \rho^2}; \quad (19)$$

$$\frac{n}{m} = - \int_0^1 \left( \frac{\partial^2 w}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial w}{\partial \rho} - 2\xi_0 \right) \dot{w} \rho d\rho \left( P_s \int_0^1 \bar{\psi} \dot{w} \rho d\rho \right)^{-1}, \quad m^2 = 1 - n^2; \quad (20)$$

$$m_1 = \frac{m(2\eta+1)}{\sqrt{3(1+\eta+\eta^2)}}, \quad m_2 = \frac{m(\eta+2)}{\sqrt{3(1+\eta+\eta^2)}}, \quad \eta = \frac{\dot{\chi}_1}{\dot{\chi}_2} = \frac{\partial^2 \dot{w}}{\partial \rho^2} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho} \right)^{-1}. \quad (21)$$

Для исключения неопределенности в (21) при  $w_0 \rightarrow 0$  и устойчивого решения необходимо задать начальное поле скоростей перемещений, которое учитывается только при определении функции  $\eta$ . Кроме того, в условиях стоячей волны при вычислении функции  $\psi$  и соответствующих интегралов вектор скоростей перемещений можно заменить вектором перемещений.

Полученная система уравнений решалась численно дифференциально-разностным методом. В результате аппроксимации производных по про-

странственной координате конечно-разностными аналогами второго порядка точности система разрешающих уравнений сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 w_i}{\partial t^2} &= (P_0 - 2n\xi_0) \bar{\psi}_{0,i} + \frac{2n}{\Delta^2} (-\dot{w}_i + \dot{w}_{i+1}) - \psi_i, \quad \psi_i = \frac{8}{\Delta^2} (-m_{1,i} + m_{1,i+1}) \quad (i=1), \\ \frac{\partial^2 w_i}{\partial t^2} &= (P_0 - 2n\xi_0) \bar{\psi}_{0,i} + \frac{n}{\Delta^2} \left\{ w_{i-1} \left[ 1 + \frac{1}{2(i-1)} \right] - 2w_i + w_{i+1} \left[ 1 - \frac{1}{2(i-1)} \right] \right\} - \psi_i, \\ \psi_i &= -\frac{1}{\Delta^2} \left\{ m_{1,i-1} \left[ 1 - \frac{2+k_i}{2(i-1)} \right] - 2m_{1,i} + m_{1,i+1} \left[ 1 + \frac{2+k_i}{2(i-1)} \right] \right\} \quad (i=2\dots N). \end{aligned}$$

Начальное поле изгибающих моментов и функции  $\psi_0$  определяется системой алгебраических уравнений с переменными коэффициентами

$$\begin{aligned} -8m_{1,i} + 8m_{1,i+1} + \psi_{0,i} \Delta^2 &= 0 \quad (i=1); \\ m_{1,i-1} \left[ 1 - \frac{2+k_i}{2(i-1)} \right] - 2m_{1,i} + m_{1,i+1} \left[ 1 + \frac{2+k_i}{2(i-1)} \right] + \psi_{0,i} \Delta^2 &= 0, \quad i=2\dots N; \\ \psi_{0,i-1} \left[ 1 + \frac{k_i}{2(i-1)} \right] - 2\psi_{0,i} + \psi_{0,i+1} \left[ 1 - \frac{k_i}{2(i-1)} \right] &= 0, \quad i=2\dots N. \end{aligned}$$

Второе уравнение системы (17) обращается в тождество. Здесь  $N$  — число участков разбиения по радиусу;  $\Delta = 1/N$  — шаг;  $i=1\dots N+1$  — номер узла.

Полученные системы решались методом Рунге — Кутта четвертого порядка точности и методом последовательных приближений. Максимальные остаточные пластические деформации определялись из условия обращения в ноль скорости прогиба.

На рис. 1 и 2 приведены графики зависимости остаточного прогиба  $w_0$  в центре оболочки с шарнирно-неподвижным опиранием и жестким защемлением края от времени действия  $t_p$  нагрузки прямоугольного типа.

Все графики получены для значений  $\xi = 8$ ,  $P = 32, 48, 64, 80$ .

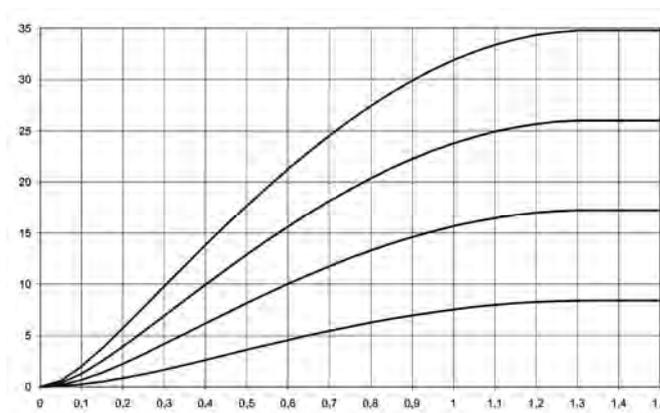
Предложенная методика и алгоритм численной реализации для решения задач динамического деформирования пологих оболочек вращения на импульсивные и ударные нагрузки имеют самостоятельное прикладное значение, а также могут быть использованы для тестирования результатов, полученных в программных комплексах на основе более сложных моделей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерхов М.И. Теория идеально-пластических тел и конструкций. М. : Наука, 1978. 352 с.
2. Кошур В.Д., Немировский Ю.В. Континуальные и дискретные модели динамического деформирования элементов конструкций. Новосибирск : Наука, 1990. 198 с.
3. Старов А.В. Нестационарное нагружение идеально пластических осесимметричных пологих оболочек с учетом больших прогибов // Численные методы решения задач теории упругости и пластичности : материалы XI Всесоюз. конф. Новосибирск : ИТПМ СО АН СССР, 1990. С. 207—211.

4. Старов А.В. Постановка задач и полная система уравнений динамического нагружения жесткопластических пологих оболочек вращения // Надежность и долговечность строительных конструкций и материалов : материалы III Междунар. науч.-техн. конф. Волгоград, 2003. С. 58—61.

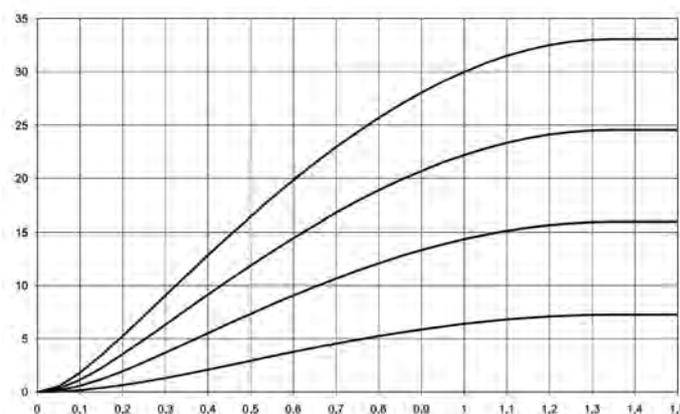
$w_0$



$t_p$

Рис. 1. Графики зависимости остаточного прогиба в центре оболочки с шарнирным краем от времени действия  $t_p$  нагрузки прямоугольного типа

$w_0$



$t_p$

Рис. 2. Графики зависимости остаточного прогиба в центре оболочки с защемлением края от времени действия  $t_p$  нагрузки прямоугольного типа

1. Erhov M.I. Teoriya ideal'no-plasticheskikh tel i konstrukcij. M. : Nauka, 1978. 352 s.
2. Koshur V.D., Nemirovskij Yu.V. Kontinual'nye i diskretnye modeli dinamicheskogo deformirovaniya elementov konstrukcij. Novosibirsk : Nauka, 1990. 198 s.
3. Starov A.V. Nestacionarnoe nagruzhenie ideal'no plasticheskikh osesimmetrichnyh plogih obolochek s uchetom bol'shih progibov // Chislennye metody resheniya zadach teorii uprugosti i plastichnosti : materialy XI Vsesoyuz. konf. Novosibirsk : ITPM SO AN SSSR, 1990. S. 207—211.
4. Starov A.V. Postanovka zadach i polnaya sistema uravnenij dinamicheskogo nagruzheniya zhestkoplasticheskikh plogih obolochek vrascheniya // Nadezhnost' i dolgovechnost' stroitel'nyh konstrukcij i materialov: materialy III Mezhdunar. nauch. tehn. konf. Volgograd, 2003. S. 58—61.

© Старов А.В., 2010

Поступила в редакцию в июне 2010 г.

УДК 624.131

**С.В. Медведева**

## **АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЙ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Приведен сравнительный анализ экспериментальных и теоретических данных по проявлению суффозионных процессов на территории действующего предприятия. Расчетными методами прогноза суффозии проведено количественное определение параметров конкретных проявлений суффозионных процессов и сравнение результатов с данными, полученными в ходе натурного рекогносцировочного обследования зон просадок.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** фильтрационные деформации, суффозия грунта, подтопление, провалообразование.

In this paper we carry out a comparative analysis of experimental and theoretical data on dangerous geological processes development at the territory of operating enterprise. Computational methods in suffusion forecasting we realized a quantitative characteristics determination of the specific suffusion processes development at the operating enterprise and compare results with data obtained during full-scale reconnaissance investigations of subsidence zones.

**К e y w o r d s:** filtrational deformations, ground suffusion, flooding, suffusion caving.

В настоящее время при проектировании зданий и сооружений промышленных предприятий в недостаточной мере осуществляются прогноз и учет изменений геологических условий промплощадок под влиянием техногенных воздействий. Последствием этого является создание ненормальных условий эксплуатации промпредприятий, возникновение и развитие опасных геологических процессов (ОГП), увеличение эксплуатационных затрат и себестоимости продукции, нарушение технологических процессов, что может приводить к возникновению ЧС. К наиболее распространенным опасным геологическим процессам на действующих промышленных предприятиях относится подтопление, которое активизирует и ряд других опасных геологических процессов, что приводит к серьезным осложнениям в работе промпредприятий. В связи с этим в последние годы все больше внимания уделяется работам, связанным с оценкой и управлением геологической безопасностью промышленных предприятий.

Проведем сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных по проявлению фильтрационных деформаций на территории действующего промышленного предприятия.

Представим кратко инженерно-геологические и гидрогеологические условия на промплощадке, где проводились экспериментальные исследования.

В результате нарушения естественного режима грунтовых вод в процессе строительства и эксплуатации завода из-за неконтролируемых утечек воды довольно быстро произошло повышение уровня грунтовых вод с образованием обширного купола подтопления. По результатам последних исследований глубина грунтовых вод на территории промплощадки составляет от 0,5 до 2,5 м.

На основании анализа пространственной изменчивости физико-механических свойств грунтов, их возраста, происхождения, текстурно-структурных особенностей и номенклатурного вида можно выделить следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

- 1) насыпные супесчано-суглинистые грунты;
- 2) пески пылеватые неоднородные средней плотности маловлажные;
- 3) пески пылеватые неоднородные средней плотности насыщенные водой;
- 4) суглинки тугопластичные;
- 5) глины тугопластичные.

В дисперсных породах неоднородного гранулометрического состава фильтрация воды может привести к выносу нерастворимых частиц сквозь поры. При этом происходит частичное фильтрационное разрушение несвязных дисперсных пород — суффозия. Суффозии особо подвержены насыпные песчаные грунты (с наличием мельчайших супесчано-суглинистых частиц).

Суффозия вызывает изменение структуры грунтов и способна проявиться на земной поверхности или под фундаментами зданий и сооружений. В зависимости от конкретных условий формы проявления суффозии разнообразны. Суффозионные проявления следует разделить на поверхностные и подземные. Первые представляют собой формы рельефа (псевдовулканы, провалы, оседания), а вторые — структурные элементы грунта (полости, псевдо-пльвинные зоны, зоны разуплотнения). Начальные стадии развития суффозии, как правило, протекают под землей и скрыты от прямого наблюдения. Процесс «открыто» заявляет о себе в тот катастрофический момент, когда на поверхности земли или под фундаментом сооружения внезапно образуются вызванные им оползень, провал или оседание грунта.

Основной причиной суффозии является фильтрация, т. е. движение жидкости в грунте. Такое движение может быть вызвано сезонным колебанием грунтовых вод, разностью давлений и температур, а также утечками технологических трубопроводов. Согласно проведенному анализу, до 40 % забираемой воды теряется в виде утечек и технологических проливов.

Выполним *оценку критической величины суффозионной полости, достаточной для образования провала*. Для этого воспользуемся геомеханической моделью обрушения дисперсных пород [1], которое как постсуффозионный геологический процесс происходит над суффозионными полостями.

Рассмотрим предположительное место образования суффозионной полости в районе расположения водонесущей коммуникации. Экспериментальные работы показали, что в районе установки У-1.732 произошел провал бетонного покрытия площадью 4 м<sup>2</sup> на 0,3 м в районе расположения канализационного коллектора [2].

Глубина заложения канализационного коллектора составляет 2 м. Грунты в месте образования провала песчаные. Глубина залегания грунтовых вод  $m_a = 1$  м, следовательно, мощность водонасыщенных песков, залегающих над полостью-приемником, составляет  $m_s = 1$  м.

Для песчаных грунтов определяется критическая ширина суффозионной полости  $a_{c2}$  по формуле

$$a_{c2} = 0,19z, \quad (1)$$

где  $z$  — расстояние до верхней точки суффозионной полости от дневной поверхности,  $z = m_s$ , величина  $a_{c2} = 0,19$  м. Следовательно, критическая ширина суффозионной полости, при которой образуется провал, равна 0,38 м.

При большей глубине расположения суффозионной полости критическая ширина ее, необходимая для образования провала, увеличивается.

Рассмотрим образование провала вне водонесущих коммуникаций. Экспериментальные работы по обследованию установки 2У-151 показали, что имеет место просадка бетонного покрытия на 0,2 м (начальная форма) площадью 6 м<sup>2</sup> [2].

Предположим, что суффозионная полость образовалась на глубине 3 м. Грунты в месте образования провала песчаные. Глубина залегания грунтовых вод  $m_a = 0,5$  м, мощность водонасыщенных песков, залегающих над полостью-приемником, составляет  $m_s = 2,5$  м.

Критическая ширина суффозионной полости  $a_{c2}$ , м:

$$a_{c2} = 0,19 \cdot 2,5 = 0,47.$$

Если же в процессе фильтрационного разрушения суффозионная полость не достигла своей критической величины, все-таки возможно обрушение пород, но без выхода на земную поверхность (внутреннее обрушение).

*Выполним расчеты зоны фильтрационного разрушения восходящим потоком.* Если существует водоупор, отделяющий водопроницаемые породы от полости-приемника, и напор воды в ней превышает его мощность, то фильтрационное разрушение этих пород может быть инициировано «прободением» водоупора. Восходящий поток также может возникнуть в результате прорыва технологического трубопровода.

Рассмотрим место провала канализационного коллектора. Экспериментальные данные в районе установки У-1.732 указали на провал бетонного покрытия площадью 4 м<sup>2</sup> на 0,3 м [2]. Грунты в районе расположения установки У-1.732 песчаные.

При прорыве воды под напором из подземной коммуникации может возникнуть восходящий поток. Максимально возможный радиус верхней части зоны фильтрационного разрушения несвязных пород  $r_a$  определим по формуле:

$$r_a = r_1 + M \left[ 1 - 0,56 \sqrt[3]{(e_{as} + 1)/e_{as}} \right] / \operatorname{tg} \alpha_{as}, \quad (2)$$

где  $e_{as}$  — коэффициент пористости несвязных пород;  $\alpha_{as}$  — угол внутреннего трения.

Для канализационного коллектора, расположенного на глубине 2 м, величина  $r_a$ , м, составит:

$$r_a = 2 \left[ 1 - 0,56 \sqrt[3]{(0,73 + 1)/0,73} \right] / \operatorname{tg} 26,8^\circ = 0,98 \text{ м.}$$

Сравниваем полученную величину  $r_a$ , м, с величиной  $a_{c2}$ , м, полученной ранее

$$r_a = 0,98 > a_{c2} = 0,38.$$

Следовательно, возможно образование суффозионного провала с диаметром, не превышающим  $2r_a$ .

Обследование сооружений аппаратного двора установки У-1.732 показало, что произошел провал бетонного покрытия у колодца К4.7 (2 м<sup>2</sup>) [2]. Провал произошел в месте расположения канализационного колодца, как и в предыдущем случае, на глубине 2 м. Грунты песчаные. Следовательно, при прорыве канализационной системы в районе расположения колодца мог возникнуть восходящий поток. Максимально возможный радиус верхней части зоны фильтрационного разрушения составит  $r_a = 0,98$  м.

В районе установки У-1.732 провалы в местах расположения водонесущих коммуникаций могли быть вызваны восходящим потоком, возникшим при прорыве коммуникаций. Диаметр провала при этом составит не более 2 м, что соответствует актам обследования.

По результатам обследования установки У-141 установлено, что произошло оседание асфальтового покрытия площадью  $3 \text{ м}^2$  на глубину до 0,6 м в месте расположения водопроводной линии В-3 [2]. Глубина заложения линии 2 м, грунты, как и в предыдущем случае, песчаные. Размеры провала соответствуют размерам зоны возможного фильтрационного разрушения восходящим потоком, рассчитанным выше. Следовательно, и в данном случае провал мог произойти вследствие прорыва водопроводной линии.

При более глубоком расположении полости-приемника радиус верхней части зоны разрушения увеличивается пропорционально глубине, на которой находится полость-приемник. Так, при нахождении полости-приемника на глубине 3 м провал может достигать 3...4 м в диаметре, а при глубине полости-приемника 5 м размеры провалов могут вырасти до 5...7 м.

На основании вышеприведенных расчетов можем сделать вывод о том, что провалы на промплощадке, образовавшиеся в местах расположения водонесущих коммуникаций, могут быть вызваны восходящим потоком, возникшим при прорыве водонесущей коммуникации.

*Проведем оценочные расчеты размеров зоны фильтрационного разрушения нисходящим потоком.* Закрытое (внутреннее) фильтрационное разрушение нисходящим потоком происходит над полостями-приемниками, в качестве которых могут выступать карстовые полости, полости искусственного происхождения и любые пустотные пространства.

Рассмотрим место провала, предположительно образовавшееся в результате разрушения нисходящим потоком. При этом используем данные обследования установки 2У-151, где обнаружена просадка бетонного покрытия на 0,1 м (начальная форма) площадью  $1 \text{ м}^2$ .

Предположительно суффозионная полость образовалась в месте расположения канализационного коллектора на глубине 2 м. Грунты в месте образования провала песчаные. Глубина залегания грунтовых вод —  $m_a = 1 \text{ м}$ , мощность водонасыщенных песков, залегающих над полостью-приемником, составляет  $m_s = 1 \text{ м}$ . Критическая ширина суффозионной полости, при которой образуется провал, равна 0,38 м.

Псевдопльвунная зона может выйти на контакт с верхней границей геофильтрационного потока только при условии [1]:

$$\gamma_w(m_s + h - H) \geq \sigma_y, \quad (3)$$

где  $h$  — пьезометрический напор присутствующих подземных вод.

$$\sigma_y = m_a \gamma_a \xi_a = 1 \cdot 16,3 \cdot 0,347 = 5,66 \text{ кПа}.$$

Применительно к условиям промплощадки, где несвязные породы — пески — являются первым от поверхности слоем, в котором заключен безнапорный водоносный горизонт, величина, стоящая в скобках в левой части формулы (3), представляет собой превышение свободной поверхности грунтовых вод над пьезометрической поверхностью вод, циркулирующих в полости-приемнике.

Из условия (3) следует, что для образования провала необходимо иметь превышение свободной поверхности грунтовых вод над пьезометрической поверхностью вод, циркулирующих в коллекторе (полости-приемнике), не менее чем на 0,57 м.

Определим радиус верхней части псевдоплавунной зоны  $r_d$ , м, образовавшейся вследствие фильтрационного разрушения нисходящим потоком, по формуле [1]

$$r_d = m_s [\gamma_w (m_s + h - H) + 2\sigma_y] / (2\gamma'_s m_s + 3\sigma_z) \operatorname{tg} \varphi_s, \quad (4)$$

$$r_d = 1 \cdot [10(1 - 0,43) + 2 \cdot 5,66] / (2 \cdot 10 \cdot 1 + 3 \cdot 16,3 \cdot 1) \operatorname{tg} 29^\circ = 0,44.$$

Провал же образуется только в том случае, если [1]

$$2r_d = d \geq 2a_c. \quad (5)$$

$$2r_d = 0,88 \geq 2a_c = 0,38.$$

Условие выполняется, следовательно, в месте расположения канализационного коллектора при фильтрационном разрушении нисходящим потоком образуется провал площадью, не превышающей 1 м<sup>2</sup>.

Канализационный коллектор — не единственное подземное сооружение на промплощадке, способное принимать в себя разжиженную массу песка в процессе провалообразования. Полостью-приемником могут стать, например, пустоты в грунтах обратной засыпки. Подобные пустоты могут оказаться на любой глубине.

Рассмотрим образование провала согласно данным обследования установки 2У-151, где обнаружена просадка бетонного покрытия на 0,2 м (начальная форма) площадью 6 м<sup>2</sup> [2].

Суффозионная полость образовалась на глубине 3 м. Грунты в месте образования провала песчаные. Глубина залегания грунтовых вод —  $m_a = 0,5$  м, мощность водонасыщенных песков, залегающих над полостью-приемником, составляет  $m_s = 2,5$  м. Критическая ширина суффозионной полости при заданных параметрах была определена ранее:  $a_{c2} = 0,19 \cdot 2,5 = 0,47$  м.

Псевдоплавунная зона может выйти на контакт с верхней границей геофильтрационного потока только при условии (3):

$$\sigma_y = m_a \gamma_a \xi_a = 0,5 \cdot 16,3 \cdot 0,347 = 2,828 \text{ кПа.}$$

Для образования провала необходимо иметь превышение свободной поверхности грунтовых вод над пьезометрической поверхностью вод, циркулирующих в коллекторе (полости-приемнике), не менее чем на 0,72 м.

Определим радиус верхней части псевдоплавунной зоны, образовавшейся вследствие фильтрационного разрушения нисходящим потоком:

$$r_d = 2,5 [10(2,5 - 0,72) + 2 \cdot 2,83] / (2 \cdot 10 \cdot 2,5 + 3 \cdot 16,3 \cdot 1) \operatorname{tg} 29^\circ = 1,07 \text{ м.}$$

Провал же образуется только в том случае, если выполняется условие (5)

$$2r_d = 2,16 \geq 2a_c = 0,86.$$

Возможно образование провала площадью до 5 м<sup>2</sup>. Значит, провал в месте расположения установки 2У-151 мог стать следствием разрушения грунта нисходящим потоком.

На основании вышеизложенного можем сделать вывод о том, что провалы на рассматриваемой промплощадке могут быть вызваны фильтрационным

разрушением нисходящим потоком, а площадь провалов определяется глубиной расположения первоначальной суффозионной полости и уровнем грунтовых вод.

Сравнивая результаты проведенных расчетов с данными, полученными в ходе натурного рекогносцировочного обследования зон просадок, можем сделать *вывод* о том, что на рассматриваемой территории наблюдается механическая суффозия — вымывание грунта и его разуплотнение. Данные, полученные в результате расчетов, довольно точно отражают картину суффозионных процессов, происходящих на территории действующего предприятия, и подтверждаются результатами натуральных исследований.

Для образования провала здесь достаточно иметь суффозионную полость или псевдоплывунную зону весьма незначительных размеров, диаметром в несколько десятков сантиметров.

Ориентировочные расчеты параметров провалообразования на промплощадке показали, что и теоретические представления и данные наблюдений указывают на несколько возможных причин возникновения провалов. Суффозионное разуплотнение и подземное разрушение грунтов может произойти вследствие утечек и протечек на водонесущих коммуникациях и технологических проливах, а также при колебаниях уровней грунтовых вод.

Одна из основных причин провалообразования в местах расположения водонесущих коммуникаций — утечки, а также наличие полостей-приемников в виде канализационных коллекторов или пустот в грунтах обратной засыпки.

Возможным фактором влияния на места проявления ОГП является плотность и неоднородность грунтов обратных засыпок при строительстве подземных сооружений, фундаментов и оснований зданий и сооружений. Образованию провалов и просадок способствует наличие полостей-приемников псевдоплывунных зон в виде неисправных канализационных коллекторов, не заделанных зон размыва при утечках, пустотах в грунтах обратной засыпки.

Результаты исследований могут быть положены в основу разрабатываемых мероприятий по решению проблем геологической безопасности на предприятии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Хоменко В.П.* Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М. : ГЕОС, 2003.
2. К методике оценки опасных геологических процессов на действующих предприятиях / Н.П. Куранов, В.В. Кузьмин, В.В. Кузьмин (мл) и др. // Водоснабжение, водоотведение, гидротехника и инженерная гидрогеоэкология : сб. М., 2007. Вып. 11.
3. *Кутепов В.М.* Оценка устойчивости закарстованных территорий методом анализа напряженного состояния массивов горных пород М. : ЦП НТГО, 1986. 68 с.
4. *Толмачев В.В., Троицкий Г.М., Хоменко В.П.* Инженерно-строительное освоение закарстованных территории. М. : Стройиздат, 1986. 176 с.
1. *Homenko V.P.* Zakonomernosti i prognoz suffozionnyh protsessov. M. : GEOS, 2003.
2. K metodike otsenki opasnyh geologicheskikh protsessov na deystvuyuschih predpriyatiyah / N.P. Kuranov, V.V. Kuzmin, V.V. Kuzmin (Jr.), A.D. Korostelev, N.A. Sadretdinova, S.V. Werle, E.A. Timofeeva, S.V. Medvedeva // Vodospabzheniye, vodootvedeniye, gidrotehnika i inzhenernaiya gidroekologiya : sb. M., 2007. Vyp. 11.
3. *Kutepov V.M.* Otsenka ustoychivosti zakarstovannyh territoriy metodom analiza napryazhennogo sostoyaniya massivov gornyh porod. M. : TsP NTGO, 1986. 68 s.
4. *Tolmachev V.V., Troitsky G.M., Homenko V.P.* Inzhenerno-stroitelnoye osvoyeniye zakarstovannyh territoriy. M. : Stroizdat, 1986. 176 s.

Поступила в редакцию в июне 2010

© *Медведева С.В.*, 2010

УДК 624.131.53

**А.Н. Богомолов, О.А. Богомолова, С.И. Шиян, В.Н. Кужель****НАЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗАПАСА ПРИ РАСЧЕТЕ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ И ОСНОВАНИЙ СООРУЖЕНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ**

Рассмотрены вопросы, связанные с назначением численных значений коэффициентов запаса при расчете оснований фундаментов и грунтовых откосов на устойчивость.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** коэффициенты запаса прочности и устойчивости, прочность, устойчивость, риск, вероятность разрушения.

The authors consider the issues which are connected with the function of numerical values of stability factor during the analysis of foundation beds and ground slopes.

**К е у w o r d s:** safety factor and stability factor, strength, stability, risk, failure probability.

Из названия нашей статьи вытекают два вопроса: какие коэффициенты — коэффициенты запаса устойчивости или запаса прочности — будем определять, так как оба они используются при оценке безопасности сооружений, и какую именно величину коэффициента запаса следует установить, чтобы гарантировать безаварийную эксплуатацию того или иного объекта, иными словами: какие коэффициенты запаса целесообразно использовать в том или ином случае и какой должна быть их задаваемая (проектная) величина? Подчеркнем, что в настоящей статье мы не будем подвергать анализу различные методы вычисления коэффициентов запаса.

Известно [1], что при расчете грунтовых массивов по первой группе предельных состояний (прочности и устойчивости) коэффициенты запаса могут быть определены на основе рассмотрения трех групп показателей: а) по сопоставлению фактически действующей и разрушающей нагрузок; б) по соотношению удерживающих и сдвигающих усилий, действующих вдоль наиболее опасной поверхности разрушения; в) по сопоставлению сдвиговых характеристик сдвига.

При рассмотрении показателей первой группы следует, по всей видимости, говорить о коэффициентах запаса прочности.

Под коэффициентом запаса прочности в точке грунтового массива в интерпретации авторов [2] понимается величина, которая определяется как отношение предельного касательного напряжения  $\tau_{\alpha пр}$  к действующему на рассматриваемой площадке  $\tau_{\alpha}$ , и вычисляется по формуле

$$\eta_{п} = \frac{\tau_{\alpha пр}}{\tau_{\alpha}} = 2\tau_{\max} \cos \varphi \left[ c + \operatorname{tg} \varphi \left( (\sigma_1 + \sigma_2) - 2\tau_{\max} \sin \varphi \right) \right]^{-1}, \quad (1)$$

где  $\tau_{\max}$ ;  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  — соответственно максимальное касательное и главные напряжения в рассматриваемой точке;  $\varphi$  и  $c$  — угол внутреннего трения и удельное сцепление грунта соответственно.

Построив изолинии  $\eta_{п}$ , можно определить положение, размер и форму областей предельного состояния (ОПС) грунта, если таковые имеются. При незначительных размерах ОПС можно утверждать, что массив в целом ус-

тойчив, что при анализе его напряженного состояния можно использовать решения задач линейной теории упругости. Однако для количественной оценки степени прочности (устойчивости) как грунтового откоса, так и основания сооружения эта величина не пригодна.

Величина коэффициента запаса прочности основания сооружения  $\eta_{\text{п}}$  определяется как отношение величины предельно допустимой нагрузки к величине фактически действующей расчетной нагрузки:

$$\eta_{\text{п}} = P_{\text{пд}} / P_{\text{р}}. \quad (2)$$

При этом возникает дополнительный вопрос о том, каким способом следует определять величину предельно допустимой (разрушающей) нагрузки? Ведь при определении этой величины разными методами ее численное значение будет разным.

Очевидно, что показатели второй группы используются в том случае, когда расчет основания сооружения проводится на сдвиг по прямолинейной, ломанной, криволинейной (не обязательно круглоцилиндрической) или комбинированной поверхности сдвига.

Под коэффициентом запаса устойчивости  $K$  рекомендуется [1] понимать величину отношения алгебраических сумм моментов удерживающих и сдвигающих сил, действующих по наиболее вероятной (опасной) поверхности скольжения, если речь идет об откосе, или выпора, если речь идет о выпоре грунта основания из под фундамента сооружения.

$$K = \Sigma M(F_{\text{уд}}) / \Sigma M(F_{\text{сд}}). \quad (3)$$

Следует подчеркнуть, что численные значения коэффициента запаса прочности  $\eta_{\text{п}}$  и коэффициента запаса устойчивости  $K$ , вычисленные для одного и того же объекта при одинаковых условиях, совпадать не будут.

Для использования третьей группы показателей необходимо знать численные значения удельного сцепления  $C^*$  и угла внутреннего трения  $\varphi^*$ , при которых численное значение коэффициента запаса устойчивости при действии на сооружение расчетной нагрузки будет равно  $K = 1$ . Тогда соответствующий коэффициент запаса  $K_{\text{сф}}$  будет определяться простым выражением

$$K_{\text{сф}} = C_{\text{д}} (C^*)^{-1} = \text{tg } \varphi_{\text{д}} (\text{tg } \varphi^*)^{-1}, \quad (4)$$

где  $C_{\text{д}}$  и  $\varphi_{\text{д}}$  — действительные (расчетные) значения соответственно удельного сцепления и угла внутреннего трения, определенные в лабораторных условиях.

Теперь обратимся ко второму вопросу, вопросу о том, какими именно следует назначать величины коэффициентов запаса. Ведь расчет устойчивости геотехнических объектов проводится с целью сопоставления численных значений нормативного коэффициента запаса и коэффициента запаса, полученного на основании расчета. Если величина коэффициента запаса, полученная на основании расчета, больше или равна нормативному (нормируемому, задаваемому, устанавливаемому), то устойчивость объекта обеспечена, если меньше, то надо предпринимать какие-то меры по обеспечению его безопасной эксплуатации.

В.А. Флорин [1] указывает: «...как правило, в зависимости от класса и типа сооружения, а также от степени достоверности определения расчетных параметров сопротивления сдвигу и применяемых методов расчета рекомендуемые значения коэффициентов запаса могут изменяться от 1 до 1,5 при среднем значении 1,25—1,3».

Как видно, данная рекомендация не отличается большой определенностью, но зато указывает три позиции, которые должны в обязательном порядке учитываться при назначении коэффициентов запаса. Тогда величина общего коэффициента запаса может быть определена выражением

$$n = n_1 n_2 n_3, \quad (5)$$

которое обеспечивает независимость коэффициентов запаса по отдельным позициям.

1. *Класс и тип сооружения.* Коэффициент запаса по этой позиции должен назначаться исходя из оценки стоимости сооружения, его значения для народного хозяйства, риска человеческих потерь и суммарного экологического и экономического ущерба, могущего возникнуть при разрушении сооружения.

2. *Расчетные параметры сопротивления сдвигу.* Коэффициенты запаса по этой позиции должны назначаться на основе оценки статистической погрешности при лабораторных испытаниях грунтов.

3. *Методы расчета.* Коэффициенты запаса по этой позиции должны назначаться исходя из оценки степени адекватности применяемых расчетных методов и расчетных схем реальным условиям эксплуатации объекта.

По нашему мнению, коэффициенты запаса  $n_1$  по первой позиции должны устанавливаться на государственном уровне и быть едиными и обязательными для применения.

Коэффициенты запаса  $n_2$  по второй позиции должны устанавливаться саморегулирующейся организацией, осуществляющей инженерно-геологические изыскания, она должна гарантировать максимальную достоверность расчетных характеристик, выдаваемых проектировщику, обеспечивая тем самым минимальные значения коэффициентов запаса по этой позиции.

Нам представляется, что для этих целей весьма подходит предложение Р.А. Муллера [3], которое заключается в том, что для определения коэффициента запаса по предельной нагрузке на фундамент необходимо найти дисперсию  $D_p$  кривой распределения предельной нагрузки  $p$  (или предельного давления  $P$ ).

Изменчивость предельной нагрузки будет равна

$$C_v = (D_p)^{0,5} (p_{срп})^{-1}, \quad (6)$$

где  $p_{срп}$  — средняя величина предельной нагрузки, вычисленная при нормативных величинах удельного сцепления  $C$ , угла внутреннего трения  $\varphi$ , объемного веса грунта  $\gamma$  и глубины заложения фундамента  $h_3$  (или боковой пригрузки  $q = \gamma h_3$ ).

Расчетное значение предельной нагрузки определяется по кривой распределения путем откладывания от средней величины  $n$  стандартов, т. е.

$$p_{расч} = p_{срп} - n \sqrt{D_p}. \quad (7)$$

Коэффициент запаса  $n_2$  найдем как отношение средней предельной нагрузки к величине расчетной нагрузки

$$n_2 = p_{\text{срп}} \left( p_{\text{срп}} - n_2 \sqrt{D_p} \right)^{-1} = (1 - n C_v)^{-1}. \quad (8)$$

Дисперсия кривой распределения предельной нагрузки функционально зависит от удельного сцепления, угла внутреннего трения, глубины заложения фундамента и объемного веса грунта, т. е.

$$p = f(c; \varphi; h_3; \gamma). \quad (9)$$

Если эта функция задана аналитически, то, как это принято в теории вероятностей, можно использовать приближенный метод линеаризации.

В этом случае величина  $D_p$  определяется как

$$D_p = D_c \left( \frac{\partial p}{\partial c} \right)^2 + D_\varphi \left( \frac{\partial p}{\partial \varphi} \right)^2 + D_{h_3} \left( \frac{\partial p}{\partial h} \right)^2 + D_\gamma \left( \frac{\partial p}{\partial \gamma} \right)^2, \quad (10)$$

где  $D_c$ ,  $D_\varphi$ ,  $D_{h_3}$ ,  $D_\gamma$  — соответственно дисперсии кривых распределения величин, входящих в правую часть формулы (9).

Подставляя величины, определенные по формулам (6) и (10), в формулу (7), получим статистически обоснованное необходимое значение коэффициента запаса  $n_2$ .

Здесь необходимо сделать следующее замечание. При проведении лабораторных исследований по установлению величин  $c$ ,  $\varphi$  и  $\gamma$ , входящих в выражение (9), их численные значения получаются изменяющимися в некоторых интервалах. Обычно в качестве расчетных значений этих величин принимаются значения, равные их математическим ожиданиям или меньшие последних [4]. Если в качестве расчетных приняты математические ожидания физико-механических свойств, то риск разрушения грунтового массива  $R$  при заданном коэффициенте запаса  $n_2$  будет составлять 50 %. Поэтому при необходимости степень риска должна регулироваться величиной этого коэффициента.

Для решения вопроса о приемлемом уровне риска А.И. Арсентьевым [5] на основе анализа результатов исследований, проведенных Дж.Л. Томпсоном и Дж.Г. Кемени [6], было предложено использовать функцию опасения последствий увеличения принимаемого параметра.

Выбор расчетных методов (*третья позиция*) — это выбор расчетчика и проектировщика, определяемый их опытом и эрудицией. И коэффициенты запаса  $n_3$ , назначаемые по этой позиции, должны устанавливаться исполнителем. Однако, осуществляя выбор расчетных методов, надо учитывать и рекомендации нормативных документов. Например, в п. 5.3 СНиП 33-01—2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» написано, что для обоснования надежности и безопасности гидротехнических сооружений должны выполняться «расчеты напряженно-деформированного состояния системы «сооружение — основание» на основе применения современных, главным образом, численных методов механики сплошной среды с учетом реальных свойств материалов и пород оснований. Обеспечение надежности системы «сооружение — основание» должно обосновываться результатами расчетов по методу предельных состояний их прочности, устойчивости».

Наши исследования показали, что в подавляющем большинстве случаев величина коэффициента запаса, вычисленная по формуле (5), больше величины коэффициента запаса, обеспечивающего присутствие качественного признака предложенного нами [7] критерия безопасной эксплуатации грунтовых массивов — отсутствия зон областей предельного состояния грунта. Таким образом, для назначения проектного значения коэффициента запаса устойчивости  $K$  или прочности  $\eta$  можно использовать рекомендации, приведенные в работах [7, 8].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Флорин В.А.* Основы механики грунтов. М. ; Л. : Госстройиздат, 1959. Т. I.
2. *Цытович Н.А., Тер-Мартirosян З.Г.* Основы прикладной геомеханики в строительстве. М. : Высш. шк., 1981.
3. *Муллер Р.А.* К обоснованию величины коэффициента запаса при расчете фундаментов на устойчивость // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1965. № 3.
4. *Арсентьев А.И.* Учет уровня риска и фактора времени при расчете устойчивости борта карьера // Физические процессы горного производства : всесоюз. межвуз. сб. Л. : ЛГИ, 1979. Вып. 6.
5. Определение главных параметров карьера / А.И. Арсентьев, О.В. Шпанский, Г.П. Константинов, В.Л. Бложе. М. : Недра, 1976.
6. Введение в конечную математику / Дж.Л. Томпсон, Дж.Г. Кемени и др. М. : Мир, 1965.
7. Определение критерия безопасной эксплуатации грунтового откоса / А.Н. Богомолов, С.И. Шиян, А.В. Соловьев, О.А. Богомолова // Будівельні конструкції : міжвід. наук.-техн. зб. наук. праць (будівництво) / Державний наук.-дослід. ін-т будівельних конструкцій Міністерства регіон. розвитку та будівництва України. Вип. 71 : в 2-х кн. Кн. 2. Київ : НДІБК, 2008.
8. К вопросу об обеспечении устойчивости откосов грунтовых сооружений и насыпей дорожного полотна / А.Н. Богомолов, С.И. Шиян, О.А. Богомолова, Т.А. Сабитова // Наука, техника и технология XXI века (НТТ-2007) : материалы III Междунар. науч.-техн. конф. Нальчик : КБГТУ, 2007.

1. *Florin V.A.* Osnovy mehaniki gruntov. M. : L. : Gosstroyizdat, 1959. T. I.
2. *Tsytovich N.A., Ter-Martirosyan Z.G.* Osnovy prikladnoy geomehaniki v stroitel'stve. M. : Vyssh. shk., 1981.
3. *Muller R.A.* K obosnovaniyu velichiny koeffitsienta zapasa pri raschete fundamentov na ustoychivost' // Osnovaniya, fundamenti i mehanika gruntov. 1965. № 3.
4. *Arsent'ev A.I.* Uchet urovnya riska i faktora vremeni pri raschete ustoychivosti borta kar'era // Fizicheskiye protsessy gornogo proizvodstva : vsesoyuz. mezhvuz. sb. L. : LGI, 1979. Vip. 6.
5. Opredeleniye glavnih parametrov kar'era / A.I. Arsent'ev, O.V. Shpanskiy, G.P. Konstantinov, V.L. Blozhe. M. : Nedra, 1976.
6. Vvedeniye v konechnuyu matematiku / D.L. Tompson, D.G. Kemeni i dr. M. : Mir, 1965.
7. Opredeleniye kriteriya bezopasnoy ekspluatatsii gruntovogo otkosa / A.N. Bogomolov, S.I. Shiyani, A.V. Solov'ev, O.A. Bogomolova // Budivel'ni konstrukcii : mizhvid. nauk.-tehn. zb. Nauk. Prac' (budivnitsvto) / Derzhavniy nauk.-doslid. in-t budivel'nih konstrukciy Min-va region. rozvitku ta budivnitsva Ukraini. Vip. 71 : v 2-h kn. Kn. 2. Kiyiv : NDIBK, 2008.
8. K voprosu ob obespechenii ustoychivosti otkosov gruntovyh sooruzheniy i nasypey dorozhnogo polotna / A.N. Bogomolov, S.I. Shiyani, O.A. Bogomolova, T.A. Sabitova // Nauka, tehnika i tehnologiya XXI veka (NTT-2007) : materialy III Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Nalchik : KBGTU, 2007.

© Богомолов А.Н., Богомолова О.А., Шиян С.И., Кужель В.Н., 2010

Поступила в редакцию  
в июле 2010 г.

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

УДК 625.5.7042.1

**С.Н. Куреев**

**ПРОГНОЗ РАСЧЕТНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА  
В ЗАСУШЛИВЫХ РАЙОНАХ**

Предложен метод прогноза расчетной влажности грунта рабочего слоя земляного полотна на участках с близким залеганием пресных грунтовых вод с учетом изменчивости влияющих на влажность факторов.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** земляное полотно, грунт рабочего слоя, расчетная влажность, метод прогноза, изменчивость влажности.

Method of forecasting the rated moisture content of the subgrade with the close boundary of soil waters is obtained. The method identifies factors, volatility affecting moisture.

**К e y w o r d s:** subgrade, working, grade, soil, rated moisture content, forecasting method, moisture volatility.

Влажность грунта рабочего слоя является основной характеристикой, определяющей его прочностные и деформационные показатели, используемые при расчете дорожных одежд. Поэтому от правильности назначения расчетной влажности в значительной степени зависят прочность и долговечность дорожных конструкций. Исследованиями [1—3] установлено, что в засушливых районах (в IV и в северной части V дорожно-климатических зон) при глубоком залегании грунтовых вод сезонное промерзание не представляет особой опасности для обеспечения прочности и устойчивости земляного полотна. Однако на участках с неблагоприятными условиями увлажнения (с близким залеганием пресных грунтовых вод и незасоленными пылевато-глинистыми грунтами), как свидетельствует опыт эксплуатации автомобильных дорог и данные наблюдений на специально оборудованных постах в IV и в северной части V дорожно-климатической зоны [4—9], промерзание сопровождается значительным зимним влагонакоплением и пучением грунта земляного полотна, что является одной из причин деформаций и разрушений дорожных одежд в весенний период.

В засушливых районах участки с близким залеганием пресных грунтовых вод встречаются в равнинной местности в поймах рек, вблизи орошаемых массивов, водохранилищ и озер, на подтопляемых застроенных территориях, в зонах выклинивания грунтовых вод в предгорьях [3, 4, 7—10]. Земляное полотно в таких условиях рекомендуется проектировать в насыпях, высоту кото-

рых устанавливают в соответствии с требованиями СНиП 2.05.02—85 к повышению поверхности покрытия над расчетным уровнем грунтовых вод. Однако это требование не всегда может быть обеспечено (например, при ограниченной полосе отвода на ценных поливных землях, в населенных пунктах, при усилении дорожных одежд). При невыполнении указанного требования ОДН 218.046—01 рекомендует расчетную влажность грунта рабочего слоя земляного полотна назначать по данным прогнозов. Для этого необходимо иметь соответствующий метод, который позволял бы устанавливать расчетную влажность при любых целесообразных сочетаниях высоты насыпи и толщины дорожной одежды. Так как минимальная прочность земляного полотна в рассматриваемых условиях соответствует периоду весеннего оттаивания, то прогноз весенней влажности  $W_B$  должен быть основан на определении влажности грунта перед началом промерзания  $W_{oc}$  и величины зимнего влагонакопления  $W_3$  по схеме  $W_B = W_{oc} + W_3$ . Результаты изучения водно-теплового режима дорожных конструкций [1, 2, 9] и полученные нами данные наблюдений за сезонными изменениями влажности земляного полотна на дорогах в Волгоградской области свидетельствуют о том, что в засушливых районах во все сезоны года увлажнение атмосферными осадками грунта рабочего слоя на дорогах с усовершенствованными покрытиями практически исключено. В этом случае среднее значение влажности грунта  $W_{oc}$  в верхней части земляного полотна толщиной  $h_a$  на участках с близким залеганием уровня грунтовых вод можно определить по следующей зависимости [9]:

$$W_{oc} = \frac{1}{w_L} \left[ w_0 + (w_{пв} - w_0) \frac{h_a}{2(h_n + h_0)} \right], \quad (1)$$

где  $w_L$  — весовая влажность верхнего предела пластичности грунта, доли единицы;  $w_0$  — весовая влажность грунта на поверхности земляного полотна, доли единицы;  $w_{пв}$  — полная влажность грунта (весовая), доли единицы;  $h_a$  — толщина рабочего слоя земляного полотна, см;  $h_0$  — глубина залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли, см.

Полную влагоемкость грунта находят по формуле

$$w_{пв} = \frac{1}{\delta_0} - \frac{1}{\Delta}, \quad (2)$$

где  $\delta_0$  — плотность скелета грунта на глубине  $h_0$ , г/см<sup>3</sup>;  $\Delta$  — плотность твердой фазы грунта, г/см<sup>3</sup>.

Влажность грунта  $w_0$ , как установлено нами на основе обобщения экспериментальных данных, подчиняется корреляционной зависимости

$$w_0 = w_L [0,60 - 0,03(h_n + h_0)], \quad h_n, h_0, \text{ м.} \quad (3)$$

Ранее выполненными исследованиями [9] установлено, что в рассматриваемых условиях приемлемые для практических расчетов результаты дает прогноз зимнего влагонакопления по формуле Н.А. Пузакова — М.Б. Корсунского, представленной в виде

$$W_3 = \frac{2BT_3(h_n + h_0)\Delta_1}{1,09\delta_b w_L (z - z_1)^3} \left[ \left( 2,8 \frac{z - z_1}{h_n + h_0} - 1 \right) e^{2,8 \left( \frac{z - z_1}{h_n + h_0} - 1 \right)} + e^{-2,8} \right], \quad (4)$$

где  $B$  — комплексная характеристика свойств грунта, влияющих на влагонакопление,  $\text{см}^2/\text{сутки}$ ;  $T_3$  — продолжительность периода промерзания грунта земляного полотна,  $\text{сутки}$ ;  $\Delta_1$  — плотность воды,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $\delta_b$  — плотность скелета талого грунта,  $\text{г}/\text{см}^3$ ; 1,09 — коэффициент увеличения объема воды при замерзании. По формуле (4) рассчитывается зимний приток влаги в верхнюю, промерзающую часть земляного полотна  $z-z_1$ . Поэтому и  $W_{oc}$  следует определять в этом же слое, для чего в (1) примем  $h_a = z - z_1$ . Тогда зависимость для прогноза средней в слое  $(z-z_1)$  весенней влажности грунта будет

$$W_b = \frac{1}{w_L} \left[ w_0 + (w_{пв} - w_0) \frac{z - z_1}{2(h_n + h_0)} \right] + \frac{2BT_3(h_n + h_0)\Delta_1}{1,09\delta_b w_L (z - z_1)^3} \times \left\{ \left( 2,8 \frac{z - z_1}{h_n + h_0} - 1 \right) e^{2,8 \left( \frac{z - z_1}{h_n + h_0} - 1 \right)} + e^{-2,8} \right\}, \quad (5)$$

Влажность грунта  $W_b$  может быть представлена как функция случайных аргументов: природно-климатических  $z$ ,  $T_3$ ,  $h_0$ , конструктивных  $z_1$ ,  $h_n$  и показателей свойств грунта земляного полотна  $B$ ,  $w_L$ ,  $w_0$ ,  $w_{пв}$ ,  $\delta_b$ . Перечисленные случайные аргументы, в свою очередь зависящие от большого числа случайных факторов, подчиняются, как правило, нормальному (усеченному) закону распределения. Подтверждение о правомерности использования нормального закона распределения для оценки изменчивости природно-климатических факторов, размеров элементов строительных конструкций и свойств грунтов имеется в [9, 11—14].

В известных методах прогноза расчетной влажности  $W_{вр}$  [1, 13] учитывается изменчивость только климатических факторов, что приводит к занижению величины  $W_b$ . Учет изменчивости всех влияющих на влажность факторов (с одинаковыми в пределах рассматриваемого участка дороги грунтами, условиями увлажнения и конструкцией дорожной одежды) может быть осуществлен по предлагаемой методике, основные положения которой заключаются в следующем: случайные аргументы  $z$ ,  $T_3$ ,  $h_0$  функции (5) подчиняются нормальному закону распределения, определяют многолетнюю изменчивость влажности и не оказывают влияния на ее изменчивость по площади участка дороги; случайные аргументы  $B$ ,  $w_L$ ,  $w_0$ ,  $w_{пв}$ ,  $\delta_b$ ,  $z_1$ ,  $h_n$  не коррелированы, характеризуются сравнительно небольшими случайными отклонениями от средних значений, подчиняются нормальному закону распределения и определяют изменчивость влажности по площади участка, но не влияют на ее многолетнюю изменчивость; при нормальном законе распределения аргументов функции (5), в соответствии с теоремой о композиции нормальных распределений, величина  $W_b$  также распределена по нормальному закону.

За расчетную влажность  $W_{в,р}$  грунта рабочего слоя земляного полотна принимают ее максимально возможное значение за срок службы дорожной одежды в так называемой расчетный год

$$W_{в,р} = W_{в,ср} + t\sigma_w, \quad (6)$$

где  $W_{в,ср}$  — среднее на характерном участке значение относительной влажности, доли от  $w_L$ , грунта рабочего слоя в весенний период расчетного года;  $t$  —

нормированное отклонение при требуемом уровне надежности  $N_{тр}$ ;  $\sigma_w$  — среднеквадратическое отклонение.

Среднее значение влажности  $W_{в,р}$  в расчетном году находят по формуле (5) с использованием максимальных за срок службы значений  $z$ ,  $T_3$ , минимального значения  $h_0$  и средних на рассматриваемом участке значений  $B$ ,  $w_L$ ,  $w_0$ ,  $w_{пв}$ ,  $\delta_b$ ,  $z_1$ ,  $h_n$ . Плотность воды  $\Delta_1 = 1 \text{ г/см}^3$  принимается как величина постоянная. Нормированное отклонение  $t$  определяется в зависимости от требуемого уровня надежности  $N_{тр}$  расчетной влажности  $W_{в,р}$ . Под надежностью  $N_{тр}$  расчетной влажности  $W_{в,р}$  понимается вероятность ее неперевышения в течение срока службы дорожной одежды, численно равная отношению площади земляного полотна под дорожной одеждой, на которой весенняя влажность в расчетном году не превысит расчетного значения  $W_{в,р}$ , к общей площади земляного полотна под дорожной одеждой на рассматриваемом характерном участке дороги. Так как влажность грунта определяет величину морозного пучения и закономерности его временной и пространственной изменчивости, то очевидно, что надежность  $N_{тр}$  расчетной влажности целесообразно принять равной требуемому уровню надежности дорожной одежды по условию обеспечения морозоустойчивости [14]. Соответствующие значения  $N_{тр}$  приведены в таблице.

Категория дороги	Допустимые по ГОСТ Р50597—93 повреждения на 1000 м <sup>2</sup> покрытия, м <sup>2</sup> , не более	Допустимые повреждения по морозоустойчивости на 1000 м <sup>2</sup> покрытия, м <sup>2</sup> , не более	Требуемый уровень надежности расчетной влажности $N_{тр}$	Нормированное отклонение $t$
I—II	1,5	1	0,999	3,00
III	3,5	2	0,998	2,88
IV—V	7,0	4	0,996	2,65

Указанные в таблице требуемые уровни надежности расчетной влажности существенно выше рекомендуемых нормами ОДН 218.046—01. Однако, по нашему мнению, они вполне оправданы, так как учитывают современные достаточно высокие требования ГОСТ Р 50597—93 к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог.

Для функции (5) случайных аргументов, подчиняющейся нормальному закону распределения, среднеквадратическое отклонение  $\sigma_w$ , характеризующее изменчивость влажности  $W_b$  по площади земляного полотна на рассматриваемом участке дороги в расчетный год, определяется из формулы

$$\sigma_w^2 = \left(\frac{\partial W_b}{\partial B}\right)^2 \sigma_B^2 + \left(\frac{\partial W_b}{\partial w_L}\right)^2 \sigma_{w_L}^2 + \left(\frac{\partial W_b}{\partial w_0}\right)^2 \sigma_{w_0}^2 + \left(\frac{\partial W_b}{\partial w_{пв}}\right)^2 \sigma_{w_{пв}}^2 + \left(\frac{\partial W_b}{\partial \delta_b}\right)^2 \sigma_{\delta_b}^2 + \left(\frac{\partial W_b}{\partial z_1}\right)^2 \sigma_{z_1}^2 + \left(\frac{\partial W_b}{\partial h_n}\right)^2 \sigma_{h_n}^2, \quad (7)$$

где  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{w_L}$ ,  $\sigma_{w_0}$ ,  $\sigma_{w_{пв}}$ ,  $\sigma_{\delta_b}$ ,  $\sigma_{z_1}$ ,  $\sigma_{h_n}$  — среднеквадратические отклонения случайных аргументов функции (5).

Частные производные в формуле (5) имеют вид:

$$\frac{\partial W_B}{\partial B} = \frac{2T_3(h_H + h_0)\Delta_1}{1,09\delta_B w_L(z - z_1)^3} n_0; \quad (8)$$

$$\frac{\partial W_B}{\partial w_L} = \frac{w_0 + (w_{пв} - w_0) \frac{z - z_1}{2(h_H + h_0)}}{w_L^2} + \frac{2BT_3(h_H + h_0)\Delta_1}{1,09\delta_B w_L^2(z - z_1)^3} n_0; \quad (9)$$

$$\frac{\partial W_B}{\partial w_0} = \frac{1 - \frac{z - z_1}{2(h_H + h_0)}}{w_L}; \quad (10)$$

$$\frac{\partial W_B}{\partial w_{пв}} = \frac{z - z_1}{w_L(h_H + h_0)}; \quad (11)$$

$$\frac{\partial W_B}{\partial \delta_B} = \frac{2BT_3(h_H + h_0)\Delta_1}{1,09\delta_B^2 w_L(z - z_1)^3} n_0; \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_B}{\partial z_1} = & -\frac{w_{пв} - w_0}{2(h_H + h_0)w_L} - \frac{6BT_3\Delta_1}{1,09\delta_B w_L(z - z_1)^2} \times \\ & \times \left[ -\frac{2,61}{h_H + h_0} m_0 - \frac{h_H + h_0}{(z - z_1)^2} n_0 \right]; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_B}{\partial h_H} = & -\frac{(w_{пв} - w_0)(z - z_1)}{2w_L(h_H + h_0)^2} + \frac{2BT_3\Delta_1}{1,09\delta_B w_L(z - z_1)^3} \times \\ & \times \left[ n_0 - \frac{7,8(z - z_1)^2}{(h_H + h_0)^2} m_0 \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

В формулах (8)—(14) введены обозначения

$$m_0 = e^{2,8\left(\frac{z - z_1}{h_H + h_0} - 1\right)}; \quad n_0 = \left\{ \left( 2,8 \frac{z - z_1}{h_H + h_0} - 1 \right) e^{2,8\left(\frac{z - z_1}{h_H + h_0} - 1\right)} + e^{-2,8} \right\}.$$

При вычислении частных производных используются те же значения числовых характеристик аргументов функции (5), что и при определении  $W_{в.ср}$ . Расчетная влажность грунта  $W_{в.р}$  определяется для каждого выделяемого при проектировании дорожной одежды характерного участка со сходными природными условиями. На характерном участке для возведения насыпи следует использовать генетически однородный грунт одной и той же разновидности (подтипа по классификации СНиП 2.05.02—85) со случайной изменчивостью его физических свойств. Коэффициент вариации физических характеристик однородного грунта не должен превышать допустимого по ГОСТ 20522—96 [16] значения, равного 0,15. Числовые характеристики физических свойств

определяются по результатам лабораторных ( $B, w_L, \Delta, \sigma_B, \sigma_{w_L}, \sigma_\Delta$ ) и полевых испытаний ( $\delta_0, \sigma_{\delta_0}$ ) грунта по рекомендуемым методам [1, 13, 16, 17]. По средним значениям характеристик  $\delta_0$  и  $\sigma$  находят среднее значение  $w_{пв}$  по формуле (2) и его среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{w_{пв}} = \sqrt{\sigma_{\delta_0}^2 + \sigma_\Delta^2}$ . Среднее значение  $\delta_B$  принимают в зависимости от требуемого коэффициента уплотнения грунта рабочего слоя  $K_{тр}$ , максимальной плотности сухого грунта при стандартном уплотнении  $\rho_{dmax}$  и коэффициента  $K_c$  снижения плотности грунта при его промерзании:  $\delta_B = \rho_{dmax} K_{тр} K_c$ . Величина  $K_c$  определяется по эмпирической зависимости, приведенной в [15]. Число опытных определений показателей свойств грунта устанавливается в соответствии с ГОСТ 20522—96 [16] и методическими рекомендациями [17]. В качестве средних значений геометрических параметров  $z_1, h_n$  принимаются их проектные размеры. Среднеквадратические отклонения  $\sigma_{z_1}, \sigma_{h_n}$  и  $\sigma_{\delta_B}$  назначают по правилу «трех сигм» как 1/6 допускаемых по СНиП 3.06.03—85 отклонений от проектных значений  $z_1, h_n$  и плотности грунта  $\delta_B$ . Среднеквадратическое отклонение величины  $w_0$  равно  $\sigma_{w_0} = 0,05w_0$ . Расчетные характеристики  $z, T_3$  и  $h_0$  определяют по указаниям, приведенным в [1, 17, 18], с использованием данных многолетних наблюдений метео- и гидрогеологических станций.

При проектировании дорожных одежд в рассматриваемых условиях прогноз расчетной влажности рекомендуется выполнять в следующем порядке: назначенную в соответствии с указаниями ОДН 218.046—01 конструкцию дорожной одежды рассчитывают на морозоустойчивость с заданным уровнем надежности по предложенному нами методу [14], позволяющему уточнить предварительно принятые при конструировании размеры  $z_1$  и  $h_n$ ; для уточненной по расчету на морозоустойчивость конструкции определяют для всех учитываемых формулой (5) факторов их числовые характеристики; по формулам (5), (6), (7) находят  $W_B, \sigma_w, W_{в.р}$ . Далее по  $W_{в.р}$  назначают по таблицам ОДН 218.046—01 расчетные значения прочностных характеристик, модуль упругости грунта рабочего слоя земляного полотна и выполняют расчет дорожной одежды по трем критериям прочности. Принимаемый вариант конструкции дорожной одежды должен удовлетворять требованиям прочности и морозоустойчивости.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. М. : Транспорт, 416 с.
2. Каменев А.М. Проектирование насыпей с повышенной плотностью грунтов // Автомобильные дороги. 1984. № 6. С. 20—21.
3. Мотылев Ю.Л. Устойчивость земляного полотна автомобильных дорог в засушливых и пустынных районах. М. : Транспорт, 1969. 230 с.
4. Аладинский В.И. Пучины на городских дорогах. М. : Стройиздат, 1965. 95 с.
5. Сасько Н.Ф. Исследование эффективности и области применения укрепленных грунтов при строительстве дорог в условиях Казахстана // Труды СоюздорНИИ. М., 1966. № 14. С. 5—38.
6. Ивлев Н.П., Усембаев М.А. Весенние деформации дорожных покрытий и их предотвращение // Автомобильные дороги. 1968. № 4. С. 22.
7. Попандопуло Г.А., Котвицкий А.Ф. Работа дорожных конструкций облегченных типов в условиях Казахстана // Вопросы дорожного строительства в Казахской ССР. Алма-Ата, 1971. С. 127—144.

8. *Каменев А.М.* Исследование морозного пучения на автомобильных дорогах в орошаемых районах Казахстана // Труды СоюздорНИИ. 1972. № 60. С. 186—201.
  9. *Каменев А.М.* Расчетные характеристики грунтов в засушливых районах // Автомобильные дороги. 1982. № 5. С. 19—21.
  10. *Шубин М.А.* Охрана природы — наш долг: Проблемы защиты геосреды Нижнего Поволжья. Волгоград : Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1986. 142 с.
  11. *Гольдштейн М.Н.* Механические свойства грунтов. Ч. I. М. : Стройиздат. 1971. 268 с.
  12. *Авиром Л.С.* Надежность конструкций сборных зданий и сооружений. Л. : Стройиздат, 1971. 216 с.
  13. *Корсунский М.Б., Гайворонский В.Н., Россовский П.Д.* Прогнозирование расчетной влажности грунтов земляного полотна // Труды СоюздорНИИ. 1975. Вып. 76. С. 5—29.
  14. *Каменев А.М., Киреев С.Н.* Оценка надежности дорожных одежд при расчете их на морозоустойчивость // Проблемы строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог Юга Российской Федерации и пути их решения : материалы науч.-техн. конф. Волгоград, 2009. С. 7—14.
  15. Методические рекомендации по назначению расчетных характеристик грунтов земляного полотна. Алма-Ата : Минавтодор КазССР, 1979. 37 с.
  16. ГОСТ 20522—96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний / Минстрой России. 1996. 25 с.
  17. *Евгеньев И.Е., Яромко В.Н.* Обработка результатов инженерно-геологических измерений при проектировании дорожных переходов через болота. Минск : Полымя, 1973. 67 с.
  18. Пособие по проектированию методов регулирования водно-теплового режима верхней части земляного полотна (к СНиП 2.05.02—85) / СоюздорНИИ. М. : Стройиздат, 1989. 97 с.
1. *Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnyh odezhd.* М. : Transport, 416 s.
  2. *Kamenev A.M.* Proektirovaniye nasypuy s povyshennoy plotnost'yu gruntov // Avtomobil'nye dorogi. 1984. № 6. S. 20—21.
  3. *Motylyov Yu.L.* Ustoychivost' zemlyanogo polotna avtomobil'nyh dorog v zasushlyvyh i pustynnyh rayonah. М. : Transport, 1969. 230 s.
  4. *Aladinskiy V.I.* Puchiny na gorodskih dorogah. М. : Stroyizdat, 1965. 95 s.
  5. *Sas'ko N.F.* Issledovaniye effektivnosti i oblasti primeneniya ukreplyonnyh gruntov pri stroitel'stve dorog v usloviyakh Kazachstana // Trudy SoyuzdorNII. М., 1966. № 14. S. 5—38.
  6. *Ivlev N.P., Usenbayev M.A.* Vesenniye deformatsii dorozhnyh pokrytiy i ih predotvrashcheniye // Avtomobil'nye dorogi. 1968. № 4. S. 22.
  7. *Popandopulo G.A., Kotvitskiy A.F.* Rabota dorozhnyh konstruksiy oblegchennyh tipov v usloviyakh Kazachstana // Voprosy dorozhnogo stroitel'stva v Kazachskoy SSR. Alma-Ata, 1971. S. 127—144.
  8. *Kamenev A.M.* Issledovaniye moroznogo pucheniya na avtomobil'nyh dorogah v oroshayemykh rayonah Kazachstana // Trudy SoyuzdorNII. М., 1972. № 60. S. 186—201.
  9. *Kamenev A.M.* Raschetnye harakteristiki gruntov v zasushlyvykh rayonah Kazachstana // Avtomobil'nye dorogi. 1982. № 5. S. 19—21.
  10. *Shubin M.A.* Ohrana prirody — nash dolg: Problemy zaschity geosredy Nizhnego Povolzhya. Volgograd : Nizh.-Volzh. kn. izd-vo. 1986. 142 s.
  11. *Gol'dshteyn M.N.* Mechanicheskiye svoystva gruntov. Ch. 1. М. : Stroyizdat, 1971. 268 s.
  12. *Avirom L.S.* Nadiozhnost' konstruksiy sbornykh zdaniy i sooruzheniy. L. : Stroyizdat, 1971. 216 s.
  13. *Korsunskiy M.B., Gayvoronskiy V.N., Rossovskiyy P.D.* Prognozirovaniye raschetnoy vlazhnosti gruntov zemlyanogo polotna // Trudy SoyuzdorNII. М., 1975. № 76. S. 5—29.
  14. *Kamenev A.M., Kireyev S.N.* Otsenka nadyozhnosti dorozhnyh odezhd pri raschete ih na morozoustoychivost' // Problemy stroitel'stva, remonta i sodержaniya avtomobil'nyh dorog Yuga Rossiyskoy Federatsii i puti ih resheniya : materialy nauch.-tech. konf. Volgograd, 2009. S. 7—14.
  15. Metodicheskiye rekomendatsii po naznacheniyu raschetnykh harakteristik gruntov zemlyanogo polotna. Alma-Ata : Minavtodor KazSSR, 1979. 37 s.
  16. GPOST 20522—96. Grunty. Metody statisticheskoy obrabotki rezul'tatov ispytaniy / Minstroy Rossii. 1996. 25 s.
  17. *Evgeniyev I.E., Yaromko V.N.* Obrabotka rezul'tatov inzhenerno-geologicheskikh izmereniy pri proektirovaniy dorozhnyh perehodov cherez bolota. Минск : Polymya, 1973. 67 s.
  18. Posobiye po proektirovaniyu metodov regulirovaniya vodno-teplovogo rezhima verhney chasti zemlyanogo polotna (k SNIP 2.05.02—85) / SoyuzdorNII. М., 1989. 97 s.

Поступила в редакцию в июне 2010

© Киреев С.Н., 2010

УДК 625.855.31/32

**А.С. Пыжов**

## **ТЕХНОЛОГИЯ ДОРОЖНОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА С ДИСПЕРСНЫМ БИТУМОМ**

Разработана технология цементного бетона с добавками битума, исключающая применение готовых битумных эмульсий. Приведен теоретический анализ процессов структурообразования цементного бетона и результаты экспериментальных исследований его физико-механических свойств. Доказана эффективность уплотнения цементобетонных смесей с дисперсным битумом методом укатки.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** цементный бетон, битумная эмульсия, укатка, составленное вяжущее, термообработка.

The technology of cement concrete with bitumen admixtures without using bitumen emulsion was developed. Theoretical analysis of cement concrete structurization processes and results of experimental researches of its characteristics are described. Efficiency of consolidation concrete mixes with disperse bitumen by rolling method was proved.

**К e y w o r d s:** concrete, bitumen emulsion, rolling, complex bonding, termoprocessing.

Анализ доступной научно-технической литературы выявил множество способов совместного применения органического и минерального вяжущих в цементных бетонах, наиболее эффективными среди которых оказались введение в бетонную смесь на стадии ее приготовления готовых битумных эмульсий. Применение битумных эмульсий [1] отличается простотой и высокой технологичностью. Однако и этому способу присущи многие недостатки, главным из которых является неизбежное заблаговременное приготовление битумных эмульсий, сопровождающееся значительными организационными трудностями и экономическими затратами. Для приготовления комбинированных смесей, как правило, используют медленнораспадающиеся битумные эмульсии с повышенным содержанием жидкого эмульгатора (до 2,5 %), который, образуя на частицах цемента полимолекулярные слои, негативно влияет на реакции гидролиза и гидратации цемента. Оставаясь в составе битума, эмульгатор снижает его исходные свойства, ослабляя адгезию и водостойкость битумных пленок. Согласно ГОСТ 12.1.007—99 битумные эмульсии относятся ко второй группе материалов по токсичности.

С учетом недостатков эмульсий на жидких эмульгаторах наиболее целесообразным представляется применение битумных эмульсий на твердых эмульгаторах (БЭТЭ), так называемых битумных паст. Но при использовании в качестве твердого эмульгатора цемента, способного к гидравлическому твердению, исключается возможность предварительного приготовления БЭТЭ, ее хранения.

В Саратовском государственном техническом университете (СГТУ) предложена технология, позволяющая получать цементные бетоны с дисперсным битумом и исключающая необходимость использования предварительно приготовленных битумных эмульсий. В мешалку в определенной последовательности подаются холодные (18...22 °С) щебень, песок, вода, цемент и перемешиваются. В ходе смешения в полученную бетонную смесь вводится разогре-

тый до рабочей температуры (140...160 °С) нефтяной битум, где происходит его диспергирование. В объеме цементобетонной смеси образуется прямая медленнораспадающаяся неионогенная битумная эмульсия на твердом эмульгаторе, роль которого выполняют частицы цемента. Таким образом, получается цементный бетон на эмульсиях без применения готовых эмульсий.

С момента приготовления смеси и до окончательно сформировавшегося цементного бетона с добавкой битума протекают термодинамические процессы, описываемые представлениями физической химии о поверхностных явлениях в дисперсных системах. Процессы структурообразования происходят в направлении достижения состояния устойчивого равновесия и носят самопроизвольный характер. По второму закону термодинамики все самопроизвольные процессы являются экзотермическими, идут с выделением энергии, т.е. суммарная энергия системы при этом уменьшается. Согласно данным представлениям теоретически были рассмотрены: 1) смачивание водой минеральных составляющих; 2) диспергирование и стабилизация битума цементом; 3) уплотнение смеси; 4) формирование битумной пленки; 5) адгезия битума к минеральным материалам.

Диспергированию битума в смеси предшествует его вытягивание до состояния нитей, которые по достижению критической толщины распадаются на глобулы, размер которых зависит от состава смеси, разновидности и дисперсности применяемого эмульгатора, вязкости битума, типа смесителя и др. Теоретический анализ показал, что стабилизация битума осуществляется путем адгезии глобул битума к частицам твердого эмульгатора через граничный слой воды толщиной 0,01...0,001 мкм. В основу рассмотрения стабилизации битумных глобул были положены представления Б.В. Дерягина [2] о граничных слоях и П.А. Ребиндера [3] об избирательном смачивании жидкостями твердого тела. При объяснении процессов стабилизации битума цементом, способным к гидrolитической диссоциации, справедливы представления С.И. Романова [4], по которым стабилизация битума в объеме дисперсионной среды осуществляется действием двойного электрического слоя, образующегося в результате частичного растворения твердого эмульгатора в воде с образованием ионов. Показано, что пленка битума начинает формироваться в результате его растекания по поверхности воды и заканчивается растеканием по сухой твердой поверхности. Окончательное формирование структуры бетона осуществляется в покрытии, в ходе его эксплуатации.

Формирование цементно-битумного камня представляется в три основные стадии. На первой стадии при затворении минеральных компонентов водой и введении разогретого битума происходит его диспергирование. При этом образуется коагуляционная структура цементного теста с включением битумных глобул. На второй стадии в результате гидратации цемента число коагуляционных контактов между частицами цемента резко возрастает, при этом наблюдается развитие процесса схватывания, сопровождающееся упрочнением структурных связей. В начальной стадии этого процесса структура еще сохраняет способность к тиксотропному восстановлению после прекращения механических воздействий. По мере химического связывания воды цементом, испарения влаги и появления пор создаются условия для растекания битумных глобул по влажным поверхностям минеральных составляющих. На третьей стадии происходит переход цементного теста, постепенно

утрачивающего свои обратимые тиксотропные свойства, в искусственный камень. Лавинная кристаллизация приводит к образованию на фоне коагуляционных кристаллизационных структур — гидратационного твердения. Прочность структуры при этом резко возрастает. Параллельно с растеканием битума происходит его абсорбция в открывшиеся поры бетона, завершающаяся образованием битумной пленки (сплошной или дискретной, в зависимости от содержания битума).

Цементный бетон, полученный по предлагаемой технологии, является необратимой гетерогенной системой гидрофильно-гидрофобного типа. Дифильность системы обусловлена за счет образования в структуре гидрофильного цементного бетона гидрофобных битумных пленок.

Образование в объеме смеси битумной эмульсии на твердом эмульгаторе — цементе — имеет решающее значение в технологии цементного бетона с дисперсным битумом. Качество БЭТЭ зависит от степени дисперсности битума — среднего диаметра битумных глобул, определяемого расчетным методом микроскопического анализа. Эмульгирующая способность цемента оценивалась через максимальное значение коэффициента концентрации  $K$ , представляющего весовое отношение битума к эмульгатору. Исследования БЭТЭ сводились к изучению степени дисперсности битума и максимальных коэффициентов концентрации  $K_{\max}$ . Для сравнения эмульгирующей способности цемента (тонкостью помола 97 %) применялся известняковый минеральный порошок, удовлетворяющий требованиям ГОСТ Р 52129 — 2003, с содержанием зерен менее 0,0071 — 100 %. Битум марок БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200 при температурах от 120 до 160 °С вводился в суспензию эмульгатора с температурой от 20 до 80 °С. Влажность суспензии соответствовала максимальной водоудерживающей способности эмульгаторов. Установлено, что оба эмульгатора позволяют получать эмульсии с высокой степенью дисперсности битума, которая при температурах битума БНД 90/130 160 °С и суспензии 20 °С составила: для цемента — 30 мкм,  $K_{\max} = 1,18$ ; для известнякового минерального порошка — 24 мкм,  $K_{\max} = 1,3$ . Дозировка цемента до тонкости 99,2 % при тех же условиях позволил получить дисперсность битума 27 мкм и  $K_{\max} = 1,28$ . Снижение вязкости исходного битума, увеличение температур битума и суспензии твердого эмульгатора способствует увеличению степени дисперсности битума.

Диспергирование битума возможно в определенном диапазоне влажности смеси, выше и ниже которого оно малоэффективно или неосуществимо. Для возможности укатки цементобетонной смеси дорожными катками наиболее важным является минимальный предел влажности (В/Ц), позволяющий получать удовлетворительную дисперсность битума и высокую плотность бетона. Оптимальной с этой точки зрения оказалась влажность при В/Ц = 0,4.

Изучение физико-механических свойств цементного бетона осуществлялось на цилиндрических образцах  $d_1 = 50,5$  мм и  $d_2 = 71,4$  мм и образцах-балочках размером 40×40×160 мм, приготовленных по методике ГОСТ 12801—98\*. Смеси готовились в лабораторной двухвальной мешалке принудительного действия, обычно применяемой для приготовления асфальтовых смесей. Теоретический анализ смачивания минеральных компонентов смеси

водой позволил предложить последовательность дозирования составляющих смеси. Смешение начиналось после одновременной загрузки в мешалку расчетного количества щебня, песка и воды. После 5 с перемешивания вводился цемент. Перемешивание продолжалось до достижения однородности смеси (15...30 с). Щебень и песок увлажняются мгновенно и создают большую суммарную поверхность воды, что способствует быстрому и равномерному смачиванию цемента. Не прерывая перемешивания, в один прием вводилось требуемое количество разогретого до 140...160 °С нефтяного битума. Время перемешивания смеси с битумом составляло 30 с.

Уплотнение смесей осуществлялось на формовочном прессе ПСУ-50 в течение 3 мин под нагрузкой, устанавливаемой индивидуально для каждого состава смеси, но близкой к началу выжимания воды (30...50 МПа), и на установке с перекаत्याющей нагрузкой, сконструированной в СГТУ [5]. После уплотнения образцы помещались в камеру, обеспечивающую стандартные для бетона условия твердения. С учетом того, что формирование битумной пленки продолжается в покрытии в результате действия солнечной энергии (температуры) в течение продолжительного времени, была принята ускоренная методика подготовки образцов, по которой образцы бетонов в возрасте 28 сут извлекались из камеры и в течение 12 ч подвергались термической обработке при температуре 90 °С и влажности воздуха ( $90 \pm 5$  %), что в конечном счете позволяло получать бетон со свойствами, приближающимися к свойствам цементного бетона в покрытии.

В качестве исходных компонентов при изготовлении опытных образцов бетонов использовался портландцемент марки ПЦ 500, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 10178—85\* для дорожных бетонов, гранитный щебень марки М 1400 и нефтяной битум БНД 90/130, удовлетворяющие ГОСТ 8267—93\* и ГОСТ 22245—90\* соответственно, вода водопроводная.

Для обеспечения большей плотности и прочности бетона гранулометрия смесей отвечала требованиям зернового состава высокоплотных асфальтобетонов по ГОСТ 9128—97. Количество цемента принималось из условия обеспечения минимальной прочности цементного бетона на растяжение при изгибе  $R_{изг}$  ( $B_{bib}$  4,0) и прочности на осевое сжатие  $R_{сж}$  ( $B$  30). Минеральная часть бетонной смеси укладывалась в контур оптимальных составов высокоплотных асфальтобетонов и составлялась из отдельных фракций гранита: 10...5 — 55 %; 5...2,5 — 14 %; 2,5...1,25 — 8 %; 1,25...0,63 — 3 %; 0,63...0,315 — 2 %; 0,315...0,16 — 2 %; 0,16...0,071 — 1 %; фракция < 0,071 мм — 15 % — заменялась цементом. Водоцементное отношение равнялось 0,4. В цементобетонную смесь принятого состава в количестве 1...5 % от массы минеральной части вводился нефтяной битум. Основные показатели свойств цементобетона с дисперсным битумом (табл.) определялись на образцах, приготовленных по описанной выше методике, согласно ГОСТ 127—30.2, ГОСТ 127—30.3, ГОСТ 10180—90, ГОСТ 12801—98\*.

Степень дисперсности битума в смесях всегда ниже дисперсности в БЭТЭ, что объясняется неоднородностью смеси из-за присутствия щебня и песка. Прочности бетонов на осевое сжатие и растяжение при изгибе (табл.) приведены с учетом коэффициентов перехода образцов нестандартной формы к эталонной (базовой), значения которых определялись в соответствии с

ГОСТ 10180—90. С увеличением содержания битума в составе цементного бетона прослеживается уменьшение отношения  $R_{сж} / R_{изг}$ , что косвенно указывает на повышение деформативных характеристик и трещиностойкости цементных бетонов с дисперсным битумом. Высокое значение коэффициента длительной водостойкости  $K_{д.в}$  цементного бетона без добавок битума объясняется увеличением прочности бетона в водонасыщенном состоянии за счет продолжающейся гидратации цемента. С добавкой битума наблюдается снижение  $K_{д.в}$ , которое обусловлено тем, что битум за счет гидрофобизации пор уменьшает водопоглощение бетона, тем самым замедляя (исключая) позднюю гидратацию цемента.

*Основные физико-механические свойства цементных бетонов  
с дисперсным нефтяным битумом*

Показатели свойств	Количество битума, %					
	—	1	2	3	4	5
Степень дисперсности битума $D_{ср}$ , мкм	—	93	93	93	94	95
Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	2,52	2,49	2,46	2,43	2,40	2,37
Водопоглощение, % по объему	9,37	5,54	4,66	3,86	2,78	2,21
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ , МПа						
1) свежесформованных образцов	0,45	0,47	0,52	0,77	0,89	0,93
2) при 0 °С	46,0	45,1	37,5	33,3	27,6	25,4
20 °С	46,0	44,4	34,8	27,7	20,8	16,3
50 °С	46,0	43,6	32,9	25,4	17,9	13,4
Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ , МПа	5,8	5,6	4,7	4,2	3,6	3,3
Модуль упругости $E_b$ , ГПа	34,2	28,4	24,3	18,8	11,8	7,6
Коэффициент водостойкости $K_b$	0,95	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении $K_{д.в}$	1,1	1,08	1,04	1,01	1,00	1,00

Выступая в качестве демпфирующего компонента, битум повышает шумопоглощающую способность бетона и обеспечивает повышение его ударной выносливости, что особенно ценно для покрытий автомобильных дорог. Установлено, что с добавлением 1 % битума шумопоглощающая способность бетона увеличивается в среднем на 0,45 дБ; 3 % — на 1,45 дБ; 5 % — на 3,5 дБ по сравнению с цементным бетоном, не содержащим битум. Добавка битума в количестве 3 % позволила в 2 раза увеличить ударную прочность бетона.

Доказана эффективность уплотнения цементобетонных смесей с дисперсным битумом методом укатки. Изучение уплотнения осуществлялось на лабораторном стенде с перекачивающей нагрузкой, сконструированном в СГТУ [5]. Присутствие битума оказывает влияние на перераспределение воды в уплотняемом слое и приводит к образованию между частицами минерального материала достаточно прочных и вместе с тем вязких связей, поэтому цементобетонные смеси с дисперсным битумом требуют уменьшения максимальной толщины уплотняемого слоя и увеличения приложения цикли-

ческих нагрузок по сравнению с цементобетонными смесями без добавок битума. Находясь в диспергированном состоянии, битум некоторое время блокирует развивающиеся кристаллизационные связи в цементном бетоне, замедляя сроки начала и конца схватывания цемента: соответственно со 132 и 188 мин без добавок битума до 183 и 262 мин при 5 % битума в смеси. Это позволяет транспортировать смеси на большие расстояния и продлять работы по их укладке.

С учетом дефицитности нефтяных битумов рассмотрена возможность применения в составе цементного бетона составленных вяжущих [6], состоящих из каменноугольного дегтя, нефтяного и сланцевого битумов в любом количественном соотношении. Проведенные исследования показывают, что свойства цементного бетона с составленными вяжущими практически не отличаются от цементного бетона, содержащего нефтяной битум, что дает основания рассматривать составленное вяжущее в качестве альтернативы нефтяному битуму.

Предложен эффективный способ по созданию защитного слоя для цементного бетона с дисперсным битумом, заключающийся в термической обработке поверхности покрытия открытым пламенем горелки. Разработано и запатентовано устройство для его осуществления [7]. Предпосылками способа послужили высокая первоначальная прочность бетона (табл.), дающая возможность проезда автотранспорта по свежееуложенному слою, и то, что в составе бетона уже содержится БЭТЭ. При достаточном содержании битума в смеси его глобулы, находящиеся вблизи поверхности, растекаются до состояния пленки, образуя надежный экран, препятствующий преждевременному испарению влаги из бетона. Для исключения выгорания битума температура нагрева покрытия не должна превышать 180 °С. Эффективность термической обработки (образовавшейся пленки) оценивалась лабораторным способом по потерям массы образцов в контрольные сроки твердения. Партия цилиндрических образцов  $d = 71,4$  мм с содержанием битума от 1 до 5 % от массы минеральной части подвергалась всесторонней термообработке открытым пламенем газовой горелки эжекционного типа мощностью 10 кВт. С целью меньшего выкипания воды поверхность образцов нагревалась до температуры 140 °С. Хранение образцов осуществлялось в комнатных условиях при естественной влажности и температуре воздуха. При твердении образцов в естественных условиях без операций по уходу за бетоном за 28 сут образцы теряли до 2,77 % от своей первоначальной массы. Потеря, %, массы образцов при испарении воды в результате самой термообработки составила: при 1 % битума — 0,96; при 3 % битума — 0,77; при 5 % битума — 0,64. В возрасте 28 сут уменьшение массы, %, термообработанных образцов составило: при 1 % битума — 1,23; при 3 % битума — 0,5; при 5 % битума — 0,4. Установлено, что термообработка поверхности образцов бетонов наиболее эффективна при содержании в смеси битума от 3 % и более. Во всех случаях под воздействием высокой температуры происходило мгновенное схватывание цемента, в результате чего образовывался слой («корка») сформировавшегося бетона толщиной 2...4 мм, свойства которого близки к приведенным в таблице.

В июне 2009 г. был осуществлен ямочный ремонт покрытий автомобильных дорог г. Саратова цементобетонными смесями с дисперсным битумом. Визуальные наблюдения показали, что до настоящего времени отремон-

тированные участки находятся в работоспособном состоянии без видимых разрушений.

Предложенная технология цементобетона с дисперсным битумом, уплотняемого укаткой, является более экономичной, так как исключает необходимость применения битумных эмульсий как на стадии приготовления смесей, так и на стадии ухода за покрытием, экологически безопасной и обеспечивает высокие качества бетона.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бушнева Е Ю. Цементные растворы и бетоны с добавками модифицированных битумных эмульсий : дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 138 с.
2. Дерягин Б.В., Щербаков А.М. О влиянии поверхностных сил на фазовые равновесия полимолекулярных слоев и краевой угол смачивания // Коллоидный журнал. 1961. № 1. С. 65—69.
3. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М. : Наука, 1979. 384 с.
4. Романов С.И. Вопросы теории эмульгируемости битумов на твердых эмульгаторах и преимущества активированных битумных паст // Вопросы строительства автомобильных дорог : сб. ст. Алма-Ата, 1967.
5. А.с. № 1216012 СССР, МКИ В 28 В 13/02. Устройство для уплотнения строительных смесей в форме / А.Ф. Иванов, А.В. Потапов, Н.А. Горнаев, И.В. Михайлов (СССР).
6. Патент на изобретение № 2351703 РФ, МПК E01C 7/22. Способ приготовления холодной органоминеральной смеси для дорожных покрытий / Н.А. Горнаев, В.Е. Никишин, С.М. Евтеева, С.Ю. Андронов, А.С. Пыжов. Оpubл. 10.04.09. Бюл. № 10. 10 с.
7. Патент на изобретение № 2009141924/22 РФ, МПК E01C 21/22. Установка для термической обработки дорожных покрытий / Н.А. Горнаев, С.Ю. Андронов, А.С. Пыжов, С.М. Евтеева. Оpubл. 10.03.10. Бюл. № 7. 2 с.

1. Bushneva E Y. Tsementnye rastvori i betony s dobavkami modifitsirovannyh bitumnyh emulsiy: dis. ... kand. tehn. nauk. M., 2005. 138 s.
2. Deryagin B.V., Scherbakov A.M. O vliyaniy poverhnostnih sil na fazovie ravnovesiya polimolekulyarnih sloev i kraevoi ugol smachivaniya // Kolloidnyi zhurnal. 1961. № 1. С. 65—69.
3. Rebinder P.A. Poverhnostnie yavleniya v dispersnyh sistemah. Fiziko-himicheskaya mehanika. M. : Nauka, 1979. 384 s.
4. Romanov S.I. Voprosy teorii emulgiruemosti bitumov na tverdih emulgatorah i preimuschestva aktivirovannyh bitumnyh past // Voprosy stroitelstva avtomobilnyh dorog : sb. statei. Alma-Ata : Kazahstan, 1967.
5. A.s. № 1216012 SSSR, MKI V 28 V 13/02. Ustroistvo dlya uplotneniya stroitelnyh smesey v forme / A.F. Ivanov, A.V. Potapov, N.A. Gornaev, I.V. Mihailov. (SSSR).
6. Patent na izobretenie № 2351703 RF, MPK E01S 7/22. Sposob prigotovleniya holodnoy organomineralnoy smesi dlya dorozhnyh pokrytiy / N.A. Gornaev, V.E. Nikishin, S.M. Evteeva, S.Y. Andronov, A.S. Pyzhov. Opubl. 10.04.09, Byul. № 10. 10 s.
7. Patent na izobretenie № 2009141924/22 RF, MPK E01S 21/22. Ustanovka dlya termicheskoy obrabotki dorozhnyh pokrytiy / N.A. Gornaev, S.Y. Andronov, A.S. Pyzhov, S.M. Evteeva. Opubl. 10.03.10, Byul. № 7. 2 s.

© Пыжов А.С., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

УДК 691.405.8

**Ю.Г. Иващенко, И.Л. Павлова, А.В. Страхов, Н.А. Иващенко**

### **МОДИФИЦИРОВАНИЕ СИЛИКАТНАТРИЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ КАЛЬЦИЙ- И УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ**

Рассмотрена возможность использования минеральных мелкодисперсных отходов дефекации сахарного сиропа и пиролиза изношенных резиновых покрышек в производстве гранулированного теплоизоляционного материала на основе метасиликатнатриевого связующего.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** дефекат, сажа, наполнение, силикатнатриевый композит.

In article possibility of use mineral fine-dispersed a waste dejection a sugar syrup and pyrolysis of the worn out rubber tyre covers in manufacture granulated heat-insulating a material on a basis natrium metasilicate the binding is considered.

**K e y w o r d s:** defekat, soot, filling, sodium silicate composit.

Жидкостекольные вяжущие матрицы находят все большее применение в различных отраслях промышленности. Вместе с тем, следует констатировать, что потенциальные возможности развития объемов производства различных материалов и изделий на их основе в настоящее время обосновывают необходимость проведения комплекса работ материаловедческого и технологического характера, результаты которых позволили бы определить пути повышения их эффективного применения. Основным недостатком отвержденных силикатнатриевых композиций является их низкая водостойкость. Функциональные свойства таких композиций возможно направлено регулировать в достаточно широких пределах модифицированием структуры.

Перспективным и относительно простым методом создания модифицированных строительных композиционных материалов является включение активных соединений на поверхность дисперсного минерального наполнителя, способных проявлять активность по отношению к вяжущей матрице. Оптимальный способ модифицирования наполнителя выбирается в соответствии с его химико-минералогическим составом, его поверхностными свойствами и свойствами модифицирующего соединения.

Одно из перспективных направлений в области создания негорючих теплоизоляционных материалов занимают теплоизоляционные материалы (ТИМ) на основе силикатнатриевого связующего (СНС). Изделия на основе СНС обладают рядом преимуществ: прочностью, повышенной огнестойкостью, экологической безопасностью, доступностью сырьевой базы и малой

энергоёмкостью изготовления. Последнее в большей мере характерно для ТИМ с ячеистой структурой.

Прочность ячеистых материалов в значительной степени определяется прочностью межпоровых перегородок. Архитектура каркаса и его структура характеризуют комплекс физико-механических свойств ТИМ на основе жидкого стекла. В свою очередь, прочность межпоровых перегородок обеспечивается степенью наполнения, характером и природой наполнителя и отвердителя жидкостекольной композиции. Следовательно, выбор вида и количества наполнителей и отвердителя представляет собой материаловедческую и технико-экономическую задачу.

Одним из основных требований к наполнителям является совместимость с силикатнатриевой матрицей, исключающая появление нежелательных реакций в зоне контакта связующее — наполнитель. Также наполнители, применяемые с целью повышения водостойкости готового материала, должны быть импортерами ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Si}^{4+}$  и т.д. [1]. Таким образом, эффективность введения наполнителей определяется их структурирующей способностью, позволяющей направленно формировать структуру силикатнатриевых композитов.

Целью работы являлось создание эффективного ТИМ на основе силикатнатриевого связующего, модифицированного минеральными наполнителями.

В качестве исходных материалов использовали метасиликатнатриевое связующее, полученное по методике [2] (хим. состав приведен в табл. 1), а в качестве наполнителя использовали бинарную минеральную добавку (БМД). БМД представляет собой механохимически активированную смесь известьсодержащего отхода сахарного производства (дефеката) и углеродсодержащего отхода — пиролизной сажи от сжигания резиновых покрышек (хим. состав приведен в табл. 2 и 3) [3]. Технического эффекта от применения дефеката и пиролизной сажи по отдельности не получено. При вводе мелкодисперсного ( $S_{уд} = 2500 \text{ см}^2/\text{г}$ ) дефеката происходит интенсивный процесс (2...3 мин) структурирования СНС за счет повышенных основных свойств (водородный показатель  $\text{pH} = 12,9...13,7$ ). На поверхности мелкодисперсных частиц дефеката отмечено наличие органических соединений (сахаратов), которые идентифицируются характерными полосами ИК-спектров в области  $760...900$  и  $1300...1430 \text{ см}^{-1}$  ИК-спектров дефеката (рис. 1, а). Этот недостаток ликвидируется гидрофобизацией поверхности частиц дефеката пиролизной сажой при их совместном помоле, что подтверждается уменьшением интенсивности пропускания полос поглощения  $760...900$  и  $1300...1430 \text{ см}^{-1}$  ИК-спектров БМД дефекат — сажа (см. рис. 1, б).

Помимо проявления эффекта гидрофобизации пиролизная сажа является поставщиком ионов  $\text{Zn}^{2+}$ , входящих в ее состав. Это явление объясняется наличием в составе сажи широкого диапазона химических соединений, таких как цинкит  $\text{ZnO}$ , вюрцит  $\text{ZnS}$  и др., которые с повышением температуры интенсивно проявляют каталитическую активность. Наличие вышеуказанных соединений в составе пиролизной сажи подтверждается дифрактограммой, которая снималась на автоматизированном рентгеновском приборе ДРОН-4 с использованием рентгеновской трубки с медным анодом  $\text{Cu-K}_\alpha$ -излучения (см. рис 2, а). Совместный помол дефекат/сажа приводит к существенному увеличению содержания новообразований ангидрита:  $\text{CaSO}_4$  ( $3,48\text{Å}$ ;  $2,831\text{Å}$ ;  $1,9\text{Å}$ ;  $1,873\text{Å}$ )

и пирита  $\text{FeS}_2$  (2,706Å; 1,626Å; 1,507Å; 1,439Å), а соотношения рефлексов графита/ $\text{ZnS}$  (26,50° (3,34 Å) / 27,20° (3,29 Å)) увеличивается с 0,36 в саже до 0,38 в смеси дефекат — сажа, т.е. сульфид цинка расходуется, а центр гало ( $2\Theta = 18...34^\circ$ ) смещается с 25 до 25,5°, т.е. образуются механохимически активированные минеральные полисистемы в виде твердых растворов [4] (рис. 2, б), что подтверждается изменением показателя рН водной вытяжки БМД до 10,7...11,3, характерной картиной ИК-спектров и РФА.

Влияние модифицирующего эффекта БМД на метасиликатнатриевую связку исследовалось на гранулированном ТИМ, который изготавливали в следующей последовательности: указанное метасиликатнатриевое связующее смешивалось с БМД в скоростном смесителе в пропорциях, необходимых для получения теплоизоляционного материала с заданными характеристиками. Приготовленная смесь поступала в формовочный агрегат, где производилось формование полуфабриката-гранулята. Отформованные полуфабрикаты подавались в агрегат вспучивания композиции, в котором проводилась их термическая обработка при 350...400 °С с целью получения готового материала с пористой структурой. Для данного вида операции использовались печи с электротермическим и СВЧ-нагревом. После термического вспучивания ТИМ сортировался по фракциям и испытывался. В результате был получен гранулированный ТИМ со следующими характеристиками: средняя плотность 85...400 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности (Т = 25 °С) 0,045...0,09 Вт/м °С, предел прочности на сжатие 0,3...1,8 МПа, коэффициент водостойкости 0,7 и интервал рабочих температур от -50 до +600 °С.

Положительный эффект от ввода БМД в метасиликатнатриевое связующее подтверждается образованием как на поверхности гранул, так и в составе межпоровых перегородок кристаллического  $\text{SiO}_2$   $\alpha$  (1,67Å; 1,97Å; 2,13Å; 2,23Å; 2,28Å; 2,45Å; 3,34Å; 4,25Å) и  $\beta$  (2,51Å; 4,084Å; 4,095Å) модификаций, а также  $\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_8(\text{OH})_2)$  — (1,91Å; 2,47Å; 3,04Å) (рис. 3).

Т а б л и ц а 1

Химический состав силикатнатриевого связующего

Цвет	$\text{SiO}_2$ , %	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{FeO}$ , %	$\text{Al}_2\text{O}_3$ , %	$\text{CaO}$ , %	$\text{Na}_2\text{O}$ , %	Силикатный модуль, $\mu$	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Темно-серый	18,15...24,8	0,01...0,03	0,14...0,25	0,12...0,18	9,8...17,7	1,2...1,4	1,20...1,25

Т а б л и ц а 2

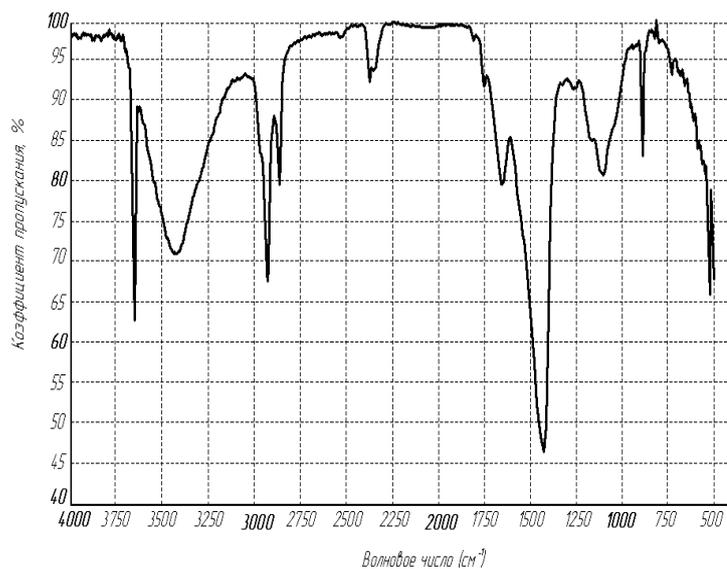
Химический состав дефеката (мас. доля веществ), %

$\text{CaCO}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgCO}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Органические вещества	Нерастворимые сахараы кальция и магния	рН водной вытяжки
61,3...69,1	4,2...6,3	8,6...3,4	0,2...3,8	0,9...1,3	0,2...1,0	12,0...15,0	До 8,0	12,9...13,7

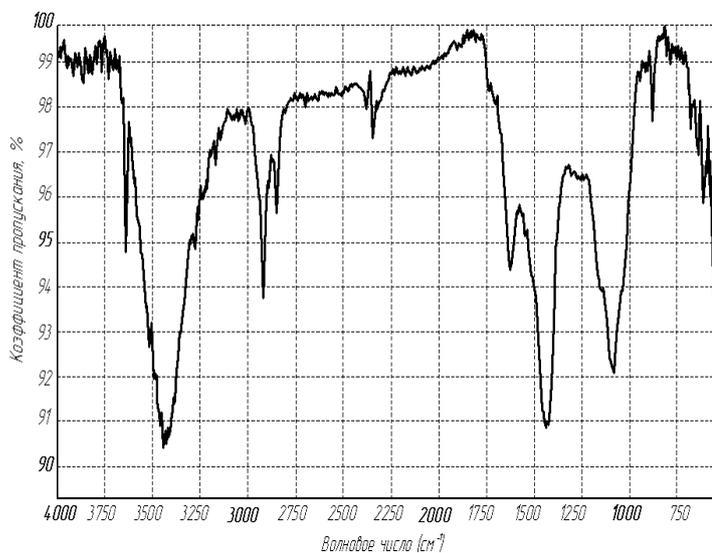
Таблица 3

Химический состав пиролизной сажи (мас. доля веществ), %

Аморфный углерод	Кристаллический углерод	ZnO	ZnS	$Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	$MgCO_3$	pH водной вытяжки
Не менее 90,0	До 3,0	До 5,0	До 1,0	До 0,5	До 0,5	6,5...7,5



а



б

Рис. 1. ИКС-спектр: а — дефектата; б — бинарной добавки дефектат — сажа

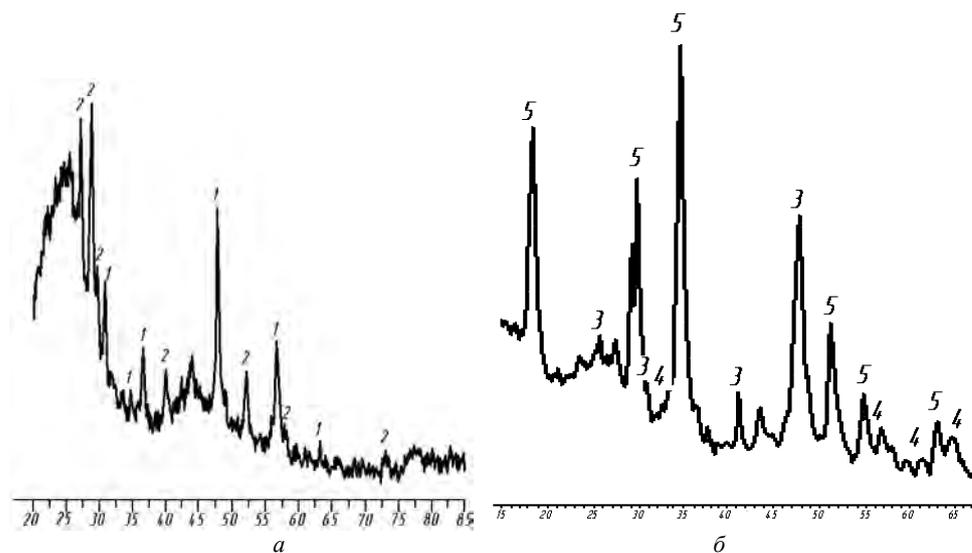


Рис. 2. Дифрактограмма: *а* — пиролизной сажи; *б* — бинарного наполнителя сажа — дефекат; 1 — фаза ZnO; 2 — ZnS; 3 — CaSO<sub>4</sub>; 4 — FeS<sub>2</sub>; 5 — Ca(OH)<sub>2</sub>

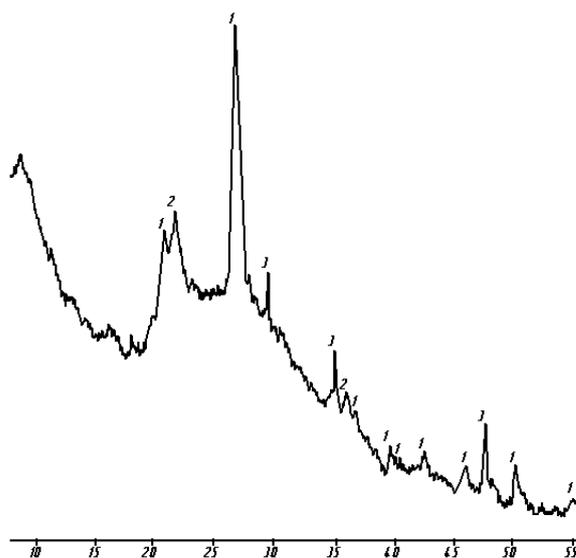


Рис. 3. Дифрактограмма гранулированного ТИМ, наполненного БМД: 1 —  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>; 2 —  $\beta$ -SiO<sub>2</sub>; 3 — Ca<sub>3</sub>(Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>(OH)<sub>2</sub>)

Таким образом, можно сказать, что модификация поверхности кальций-содержащего наполнителя (дефеката) пиролизной сажей направленно влияет на плотность контактного слоя на разделе фаз матрица — наполнитель. Бинарный наполнитель, обладая развитой поверхностью и химически активным составом, участвует в построении структуры композита, связующее существенно упрочняется путем дисперсного армирования и проходящих химических реакций, тем самым повышается и водостойкость готового теплоизоляционного материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сычев М.М.* Неорганические клеи. 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Химия, 1986. 152 с.
2. *Павлова И.Л., Страхов А.В., Иващенко Н.А.* Перспективы использования местного силицевого сырья в производстве строительных материалов // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2008. С. 68—69.
3. Активные бинарные минеральные наполнители жидкостекольных композиций // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии : материалы XV Академ. чтений РААСН — Междунар. науч.-техн. конф. / Каз. гос. архит.-строит. ун-т. Казань, 2010. Т. 1. 574 с. С. 36—39.
4. *Ходаков Г.С.* Тонкое измельчение строительных материалов. М. : Изд-во лит. по строительству, 1972. 240 с.

1. *Sychev M.M.* Neorganicheskie klei. 2-e izd., pererab. i dop. L. : Himija, 1986. 152 s.
2. *Pavlova I.L., Strakhov A.V., Ivashchenko N.A.* Perspektivi ispolzovanija mestnogo silicito-vogo sirja v proizvodstve stroitelnih materialov // Novie energo- i resursosberegajushie naukoemkie tehnologii v proizvodstve stroitelnih materialov : sb. st. Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Penza, 2008, S. 68—69.
3. Aktivnie binarnie mineralnie napolniteli gidkostekolnih kompozicii // Dostigenija i problemi materialovedenija i modernizacii stroitelnoi industrii: Materiali XV Akademicheskikh chtenii RAASN — Megdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferencii / J.G. Ivashchenko, I.L. Pavlova, A.V. Strakhov, N.A. Ivashchenko ; Kas. gos. arhit.-stroit. un-t. T. 1. Kazan, 2010. S. 36—39.
4. *Khodakov G.S.* Tonkoe izmelchenie stroitelnih materialov. M. : Izd-vo lit. po stroitelstvu, 1972. 240 s.

© Иващенко Ю.Г., Павлова И.Л., Страхов А.В., Иващенко Н.А., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010 г.

УДК 691.327:666.952-973

**О.А. Разинкова, Ю.А. Малкандуев, М.Х. Маришее, А.Л. Слонов**

### **ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТВАЛЬНЫХ КЕКОВ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

Приведены состав, свойства и пути использования отходов гидрометаллургии вольфрама и молибдена в качестве наполнителя и модификатора в производстве асфальтобетона, мелкозернистых цементных бетонов и растворных смесей.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** отходы гидрометаллургии, наполнитель, модификатор бетонов, отвальные кеки.

The composition, properties and ways of using the falls off of hydrometallurgy of tungsten and molybdenum as a filler and modifier in the production of asphaltic-concrete, fine cementing concretes and dissolved mixtures were addbced.

**К e y w o r d s:** falls off of hydrometallurgy, filler, modifier of concretes, solutions, falling off cakes.

Энерго- и ресурсосбережение в производстве строительных материалов и изделий являются приоритетными направлениями повышения их эффективности.

Одним из путей решения указанных задач является вовлечение в производство для этих целей вторичных техногенных сырьевых ресурсов — многотоннажных отходов различных производств, которые порой более доступны, чем природные, требуют меньших затрат на добычу, транспортировку и переработку и в ряде случаев не уступают по качественным показателям природным, а иногда превосходят их [1]. При этом одновременно решаются экологические проблемы утилизации отходов и оздоровления окружающей среды.

Одними из таких крупнотоннажных и высокотехнологичных отходов производства на Северном Кавказе являются отвальные кеки гидрометаллургического процесса производства вольфрама и молибдена в ОАО «Гидрометаллург» (г. Нальчик). Вопросы их утилизации и оздоровления курортно-рекреационной зоны имеют государственное значение.

Проведенными ранее работами установлен ряд эффективных путей их использования в производстве строительных материалов и изделий сравнительно простыми малоэнергоёмкими методами переработки [2].

Отвальные кеки ОАО «Гидрометаллург» представляют собой тонкодисперсное тесто (пасту), полученное при многократной, многоступенчатой переработке исходной породы (руды) различными методами (механическими, химическими, химико-термическими и др.) до разрушения природной структуры с целью более полного извлечения цветных металлов. Остатки разрушенной породы после соответствующей очистки и нейтрализации химическими реагентами сбрасываются в специальные отвалы в виде шлама, которые в процессе вылеживания со временем превращаются в тестообразное состояние.

По химико-минералогическому составу кеки — это карбонатсодержащие отходы, состоящие в основном из кальцита (до 76...80 %) с небольшим содержанием флюорита, кремнезема, силикатов и незначительных остатков цветных металлов. Химический состав их приведен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Химический состав отвальных кеков, массовая доля, %*

CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	CaF <sub>2</sub>	Fe <sub>о6</sub>	S	Cu	Pb	W <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mo	Прочие
76,35	3,84	0,15	6,56	6,95	1,23	0,5	0,09	0,02	0,56	0,22	3,49

Отвальные кеки в хранилище отличаются высокой однородностью и стабильностью состава, отсутствием химически активных и легкорастворимых соединений. Они не содержат опасных тяжелых металлов, не имеют вредных выделений в атмосферу, радиоактивных излучений, химически инертны при обычных температурах. Кеки представляют собой как бы упрочненные зерна — готовый полуфабрикат для многих материалов, в ряде случаев требуется лишь удаление избыточной влаги и диспергирование.

Дисперсность твердой фазы кеков достигает 96 % частиц размерами менее 0,071 мм, плотность — 2,8...3,0 г/см<sup>3</sup>. Жидкая фаза имеет рН 6...7. Содержание влаги в отвалах переменное и составляет 18,5...29,0 %.

Полученные после обезвоживания (сушки) и диспергирования в лабораторных условиях минеральные порошки из кеков (МП-а) испытывались в качестве минеральной добавки и структурообразователя в мелкозернистых бетонах с различными вяжущими: органическими и минеральными.

В качестве заполнителей в опытах были приняты местные, используемые для этих целей, пески: А — природный среднезернистый песок с  $M_{кр} = 2,25$  мм и пористостью  $\Pi = 35$  %; Б — искусственный дробленый крупнозернистый песок с  $M_{кр} = 3,1$  мм и пористостью  $\Pi = 42,3$  % (отсев, получаемый при дроблении местных пойменных гравийно-песчаных смесей на щебень).

В качестве органических вяжущих использовался битум БНД 60/90, а в качестве минеральных вяжущих — портландцемент ПЦ 400 Д0 Новороссийского завода.

При испытаниях в асфальтобетоне для сравнения были также приняты составы с привозными минеральными порошками, используемыми местными асфальтобетонными предприятиями: порошки МП-б — активированные и МП-в — обычные неактивированные Минводского СУ-842, получаемые дроблением и размолотом плотных известняков и доломитов. Характеристики использованных порошков по ГОСТ Р 52129—2003 приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Основные характеристики использованных минеральных порошков*

Показатель	Порошок		
	МП-а	МП-б	МП-в
Зерновой состав, % мас., менее:			
1,25 мм	100	100	100
0,315 мм	98,9	92,3	93,3
0,071 мм	95,8	83,1	80,3
Пористость, % об.	36,3	28,4	25,6
Набухание с битумом, % об.	0,9	1,5	2,1
Влажность (мас. доля), %	0,6	0,4	1,0

В цементно-песчаных бетонах, используемых для изготовления декоративных и тротуарных плит методом пластического формования в пластико-

вых формах, использовались добавки суперпластификатора (СП) С-3 Ново-московского комбината.

Изготовление, твердение и испытания экспериментальных образцов осуществляли по принятым на предприятиях единым технологиям и методам испытаний. Основные результаты работ приведены в табл. 3 и на рис. 1 и 2.

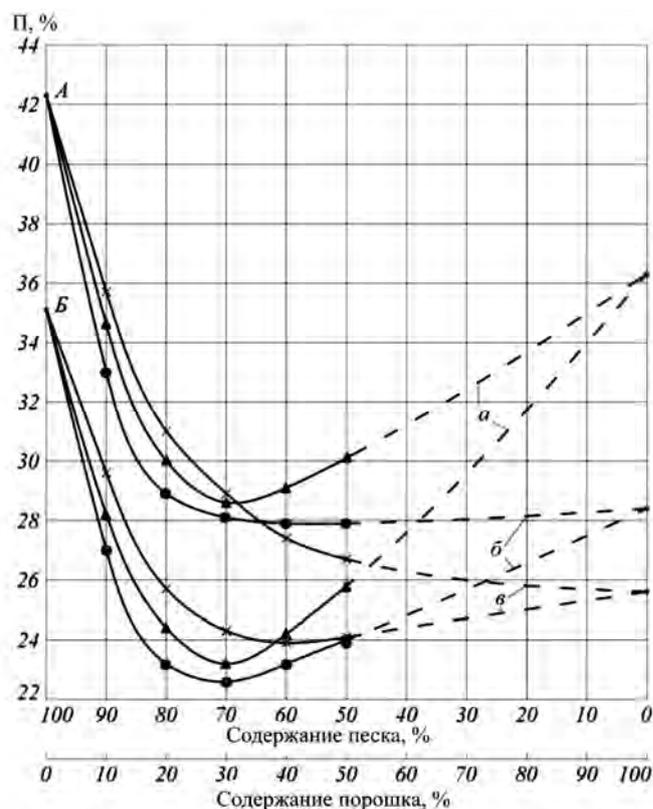


Рис. 1. Влияние содержания минеральных порошков МП-а (а), МП-б (б), МП-в (в) на пустотность песка (П): А — крупнозернистого ( $M_{кр} = 3,1$ ) и Б — среднезернистого ( $M_{кр} = 2,25$ )

Результаты исследований влияния принятых минеральных добавок на пустотность песка П (рис. 1) показывают, что в зависимости от зернового состава пустотность смеси может быть снижена на 11...14 %, что приведет к возможности экономии вяжущего, улучшению структуры, повышению плотности и стойкости материалов на их основе. Оптимальное количество добавок МП колеблется от 15...20 до 30...40 % и требует оптимизации в зависимости от гранулометрии используемого заполнителя, характеристики вяжущего и требуемых показателей материалов на их основе.

Испытания МП в асфальтобетонах (физико-технические характеристики стандартных образцов мелкозернистых асфальтобетонов см. в табл. 3) показывают, что минеральные порошки из кеков МП-а вполне могут заменить дорогостоящие привозные порошки МП-б и МП-в. По основным показателям МП-а незначительно уступают лишь активированным порошкам МП-б, но превосходят обычные неактивированные — МП-в.

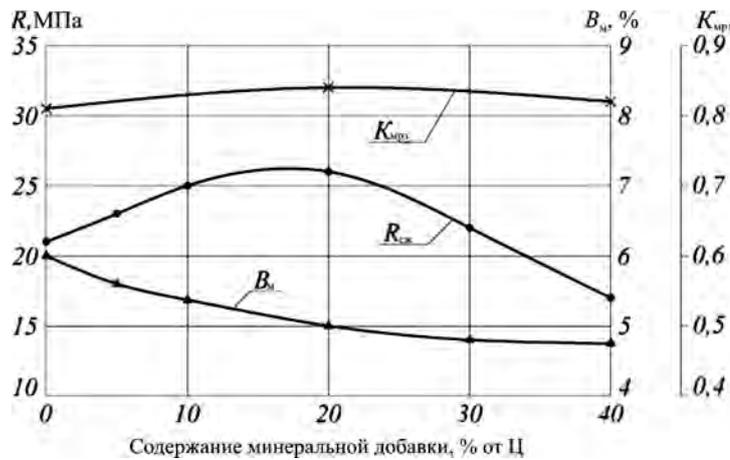


Рис. 2. Зависимость водопоглощения  $V_m$ , прочности  $R_{сж}$  и морозостойкости  $K_{мрз}$  мелкозернистого бетона состава 1:3 (Ц:П) от содержания минеральных добавок

Т а б л и ц а 3

Показатели песчаных асфальтобетонов с различными минеральными добавками

Вид минерально-го порошка	Водонасыщение, % об.	Набухание, % об.	Прочность, МПа		
			$R_{20}$	$R_{50}$	$R_{вод}$
МП-а	2,02	0,21	5,3	2,9	4,8
МП-б	2,01	0,18	6,1	2,8	5,3
МП-в	2,81	0,33	4,5	1,9	3,9

Испытания минеральных добавок МП-а в цементно-песчаных бетонах для тротуарных плит (рис. 2) показывают, что их введение в смесь до 20...30 % от Ц не приводит к снижению прочности и морозостойкости образцов, и вначале наблюдается даже некоторое повышение прочности и плотности, что, видимо, связано со снижением В/Ц смеси при замене части гидратационно-активного цемента плотным инертным наполнителем и снижением количества пор, в том числе и капиллярных, о чем свидетельствует снижение водопоглощения опытных образцов с повышенным количеством плотной минеральной добавки (кривая  $V_m$  графика 2). Даже при замене до 40 % цемента дисперсной инертной минеральной добавкой МП-а и некотором снижении прочности образцов плотность и морозостойкость их не снижаются, что немаловажно для тротуарных и облицовочных плит, для которых морозостойкость важнее в эксплуатации, чем повышенная (избыточная) прочность.

Так в экспериментальной серии испытаний мелкозернистых бетонов состава 1:3 (цемент : песок) с модификаторами СП С-3 и МП-а оптимальной подвижности (ОК — 6 см) для декоративных плит, если у состава без минеральной добавки через 100 циклов коэффициент морозостойкости  $K_{мрз}$  составил 0,81, то при 20 и 40 % добавки МП-а  $K_{мрз}$  составил 0,84 и 0,83 соответственно (кривая  $K_{мрз}$  графика 2), что, видимо, связано с особенностями структуры и свойствами мелкозернистых и дисперсных систем в присутствии ПАВ и СП, что согласуется с данными авторов [3, 4].

Таким образом, минеральные тонкодисперсные порошки — добавки МП-а на основе отвалных кеков — в количествах 10...30 % от Ц совместно с

модификатором СП С-3 благоприятно сказываются на структуре и свойствах мелкозернистых бетонов на местных заполнителях, что открывает возможности утилизации легкодоступных бросовых отходов ОАО «Гидрометаллург», улучшения физико-технических и эксплуатационных свойств материалов и изделий на их основе и экономии дорогостоящих вяжущих, позволяет одновременно решить ряд проблем экологического, технического и экономического характера при промышленной переработке и широком использовании данного техногенного сырья в различных композиционных материалах.

По предварительным подсчетам себестоимость минеральных порошков из отвалных кеков на 40...60 % ниже привозных, что делает их конкурентоспособными и востребованными в регионе.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Баженов Ю.М., Дворкин Л.И.* Ресурсосбережение в строительстве за счет применения побочных промышленных продуктов. М. : ЦМИПКС, 1986. 66 с.

2. *Маришев М.Х., Малкандуев Ю.А.* Утилизация отходов ОАО «Гидрометаллург» // Вестник КБГУ. Сер. Хим. науки. 2003. Вып. 5. С. 181—183.

3. *Ребиндер П.А.* Образование и механические свойства дисперсных структур // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева, 1963. Т. 8.

4. *Калашников В.И.* Основы пластифицирования минеральных дисперсных систем для производства строительных материалов : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. Воронеж, 1996.

1. *Bazhenov J.M., Dvorkin L.I.* Resursosberezheniye v stroitel'stve za schet primeneniya pobochnyh promyshlennyh produktov. M. : TsMIPKS, 1986. 66 s.

2. *Marishev M. H., Malkanduev Ju.A.* Utilizatsiya othodov ОАО "Gidrometallurg" // Vestnik KBGU. 2003. Ser. Him. Nauki. 2003. Vyp. 5. S. 181—183.

3. *Rebinder P.A.* Obrazovaniye i himicheskiye svoystva dispersnyh struktur / Zhurnal VHO im. D.I. Mendeleeva. 1963. T. 8.

4. *Kalashnikov V.I.* Osnovy plastifitsirovaniya mineral'nyh dispersnyh system dlya proizvodstva stroitel'nyh materialov : avtoref. Dis. ... d-ra techn. nauk. Voronezh, 1996.

© *Разинкова О.А., Малкандуев Ю.А., Маришев М.Х., Слонов А.Л., 2010*

*Поступила в редакцию  
в июне 2010 г.*

УДК 661.185

*Д.К. Тимохин, Н.А. Козлов*

### **СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ГИДРОКСИЛСОДЕРЖАЩИМИ ДОБАВКАМИ УГЛЕВОДОВ**

Работа посвящена прояснению роли гидроксилсодержащих добавок в фазообразовании цементного камня на относительно поздних сроках — 7-е сутки, когда активность фазообразования значительно снижена. В качестве модельного объекта были выбраны гидроксилсодержащие добавки углеводов.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** цементный камень, фруктоза, глюкоза, сахароза, сорбит, фазовый состав.

The paper is devoted to clarifying the role of hydroxyl additives in cement phase formation at a relatively late period — 7th day, when the activity of phase formation significantly reduced. As a model hydroxyl sites were selected additives carbohydrates.

**K e y w o r d s:** cement stone, fructose, glucose, sucrose, sorbite, phase structure.

Модифицирование цементных систем химическими веществами и углубление научных представлений о процессах гидратации в присутствии добавок относятся к приоритетным научно-исследовательским направлениям.

Модифицирование химическими добавками различного назначения обеспечивает повышение эффективности строительных материалов на основе портландцемента. Добавки химических модификаторов даже в небольших количествах значительно влияют на процессы гидратации цементных частиц и формирование структуры цементного камня, позволяя активно воздействовать на свойства композиционного материала в требуемом направлении [1—4]. Взаимодействие органических добавок-пластификаторов с гидратирующимся цементом является темой множества исследовательских работ, технический уровень которых непрерывно растет [1—6]. Тем не менее до конца не выяснен механизм влияния органических добавок на процессы гидратации цемента. На сегодняшний день наиболее обоснованными считаются модели гидратации цемента, согласно которым действие добавки проявляется в адсорбции на поверхности гидратных новообразований, изменении порогов пересыщения растворов, кинетики растворимости фаз, процессов зародышеобразования и роста кристаллов [4—6]. Основным акцентом моделей данного типа является структурообразование на начальных этапах гидратации, определяющей изменения фазообразования. При этом структурообразование цементной системы на более поздних сроках, когда сформировалась кристаллизационная структура камня, определяется особенностями процессов перекристаллизации, взаимопрорастания кристаллов при наличии адсорбированных веществ-добавок, т.е. имеет коллоидно-физический характер. При этом нет однозначного ответа на вопрос о дислокации добавок в структуре цементного камня, о степени их структурной подвижности.

В качестве модельного объекта были выбраны гидроксилсодержащие добавки, поведение которых в цементных системах изучали П.А. Ребиндер, Ф.Л. Глекель, О.В. Тараканов и др. Основным результатом исследований является вывод о высокой активности гидроксилсодержащих добавок (типа сахаро-

зы, поливинилового спирта и др.) в отношении стабилизации зародышевой фазы, что явилось причиной торможения гидролитических процессов, полностью восстанавливающихся после выпадения сахаратов кальция в виде отдельной фазы [3, 4, 6]. Однако характер и длительность негативного воздействия сильно меняется в зависимости от концентрации сахаров и их вида [7, 8].

С учетом активности адсорбции сахаров на зародышевой фазе в качестве органической добавки, содержащей гидроксильные группы, был выбран ряд углеводов, различающихся по активности таутомерных переходов открытая форма — циклическая форма: сахароза — глюкоза — фруктоза — сорбит.

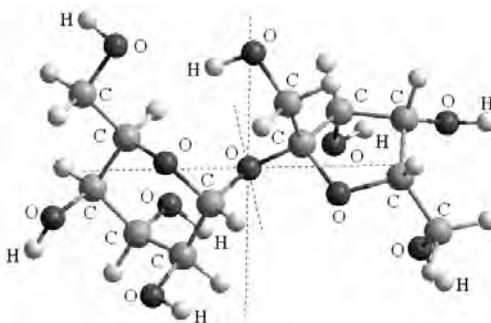


Рис. 1. Пространственная формула: сахароза (Sucrose)

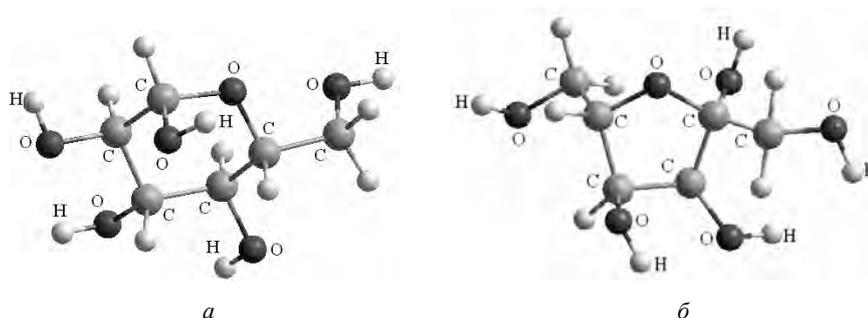


Рис. 2. Пространственная формула: *a* — глюкоза кристаллическая гидратная (Beta-D-Glucopyranose); *b* — фруктоза кристаллическая (Beta-D-fructofuranose)

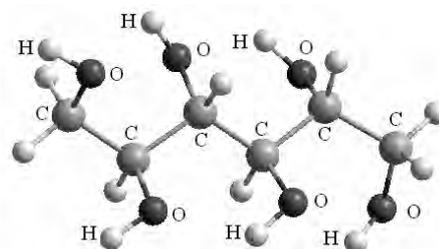


Рис. 3. Пространственная формула: сорбит (Sorbitol)

Сахароза существует в водных растворах только в циклической форме. При этом проявляет высокую устойчивость к гидролизу в щелочных растворах, т.е. и в водоцементных суспензиях присутствует в циклической форме. Открытая и циклическая формы глюкозы существуют в равновесии, причем равнове-

сие смещено в сторону циклических форм (в основном (рис. 2, б)) и глюкопиранозы в соотношении 36 и 64 % соответственно, содержание других таутомеров менее 1 %. Фруктоза также существует в двух формах, однако преобладающей является открытая форма (15 % фуранозной формы). Сорбит в таутомерных превращениях не участвует и находится в водных растворах исключительно в открытой форме. Содержание гидроксильных групп в выбранных углеводах примерно одинаковое, колеблется от 6 до 8, в зависимости от углевода и его таутомерной формы. Все представленные углеводы проявляют пластифицирующую активность (табл. 1), что, по существующим моделям, свидетельствует об активности процессов адсорбции и изменении структуры гидратных оболочек на поверхности раздела жидкость — твердая фаза [6, 8].

Т а б л и ц а 1

*Пластификация цементно-песчаных композиций с добавками углеводов*

Вид добавки	Кол-во добавки	Масса, г			В/Ц	Распływ конуса на встряхивающем столике, мм
		песка	цемента	воды		
1. Контрольный (без добавки)	—	1500	500	325	0,65	181
2. Фруктоза	0,5	1500	500	325	0,65	219
3. Глюкоза	0,5	1500	500	325	0,65	191
4. Сахароза	0,5	1500	500	325	0,65	200
5. Сорбит	0,5	1500	500	325	0,65	245

П р и м е ч а н и е. Испытание проводилось в соответствии с п. 2.1.1 ГОСТ 310.4—81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии».

В качестве объекта исследования выступили образцы цементно-песчаного раствора, приготовленные на портландцементе Вольского цементного завода (М500Д0) при В/Ц=0,65 на вольском песке (ГОСТ 6139—2003). Смешивание термостатированного песка, цемента и воды проводилось в скоростном смесителе в течение 2 мин при 20 °С.

Фазовый состав цементного камня в возрасте 7 сут определялся методом РФА. В общем виде фазовый анализ позволяет предположить присутствие 32 различных силикатных и гидросиликатных фаз. Однако возможности количественной идентификации отдельных фаз сильно ограничиваются высокой изоструктурностью кристаллических фаз, составляющих цементный камень. Картина осложняется присутствием значительной доли аморфных или слабо-закристаллизованных гидросиликатов, которые часто рассматривают как твердые растворы воды в силикатной матрице  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  [1, 2]. В результате большинство рефлексов силикатов цементного камня взаимоналагаются, частично перекрываются рефлексами портландита, что значительно затрудняет фазовый анализ дифрактограмм. В связи с этим анализ содержания фаз проводился по присутствию на дифрактограмме совокупности вторичных рефлексов. Опираясь на литературные данные [1] и сравнительный фазовый анализ в дифракционной картине, с определенной уверенностью можно выделить и количественно оценить следующие фазы: портландит, г-белит, алит, алюминаты кальция, эттрингит, С-S-H(II)-цементный гель,

$\text{Ca}_2\text{SiO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}_4\text{Si}_2\text{O}_7\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Количественная оценка проводилась по внутреннему стандарту ( $\text{CaF}_2$ ), вводимому при анализе в количестве 20 %.

Характерным элементом дифракционной картины цементных паст без добавок углеводов является аморфное гало в области углов  $2\Theta = 25\dots 36^\circ$ , с величиной которого связаны эффекты уширения основных рефлексов в области углов  $2\Theta = 28\dots 35^\circ$  цементного геля, алита, портландита. Сама природа происхождения рассматриваемого гало связана с наличием в системе слабо-закристаллизованных областей. Таким образом, площадь гало отражает относительное содержание в системе гелевых образований, ответственных за прочностные показатели вяжущего (табл. 2, 3).

Т а б л и ц а 2

*Относительное количественное содержание фаз цементного камня с добавками углеводов*

Добавка (В/Ц = 0,33)	Относительные содержания фаз, %								
	CSH(II), (29,5°)	Алит, (32,4°)	г-белит (16°)	Портландит, (18,2°)	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ (30,2°)	Аморфное гало, мм <sup>2</sup> (27...35°)	САН <sub>10</sub> (12,4°)	Эттрингит (9,3°)	$2\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (25,8°)
1. Контрольный (без добавки)	7,2	12,0	1,0	8,4	3,4	126,2	1,4	1,4	0,6
2. Фруктоза	10,8	18,2	1,8	0,6	5,2	28,6	1,8	1,8	2,2
3. Глюкоза	12,0	16,0	2,0	5,0	2,6	239,0	2,2	2,6	1,2
4. Сахароза	11,6	22,4	2,0	0,8	4,8	33,8	1,4	2,2	1,2
5. Сорбит	7,4	15,0	1,6	3,0	2,4	62,8	1,8	1,0	1,0

Сравнительный анализ дифрактограмм модифицированных составов позволяет выявить особенности, заключающиеся в том, что в дифрактограмме состава, модифицированного фруктозой, наблюдается почти полное отсутствие рефлексов портландита и гало, характеризующего аморфную фазу.

Дифракционная картина состава, модифицированного глюкозой, похожа на дифрактограмму контрольного образца: присутствуют рефлексы основных фаз: портландита, алита, г-белита, С-S-H(II)-фазы, алюминатов САН<sub>10</sub> и эттрингита. Основные изменения затронули количественные соотношения фаз и характер проявления аморфной фазы: границы гало значительно расширяются, появляются новые области.

Дифракционная картина состава, модифицированного сахарозой, частично схожа с картиной, наблюдаемой в образце, модифицированного фруктозой — наблюдается низкое содержание аморфной фазы, проявляющейся в виде гало в области углов  $2\Theta = 27\dots 35^\circ$ . При этом наблюдается активное образование С-S-H(II)-фазы, т.е. хорошо закристаллизованной модификации цементного геля, не обладающей вяжущими свойствами [1, 5, 8].

Дифракционная картина образца, модифицированного сорбитом, наиболее близка по характеру к дифрактограмме контрольного состава, т.е. наблюдается развитая аморфная фаза при высокой интенсивности кристаллических фаз.

Т а б л и ц а 3

*Термографические и прочностные характеристики образцов модифицированных цементных паст*

Состав (добавка 0,5 %)	Водоцементное отношение В/Ц	Потеря массы, % / температура термоэффекта (температура, если термоэффект отсутствует), °С	Потеря массы при 1000 °С, %	Предел прочности при сжатии (7-е сутки), МПа	Предел прочности при сжатии (28-е сутки), МПа
1. Контрольный (без добавки)	0,33	10/120; 13/390; 15,5/490	17,5	37,5	67,4
2. Фруктоза	0,33	10/140; 12/430; 13,5/490; 15/810	15,0	28,6	46,9
3. Глюкоза	0,33	18/140; 19/390; 21/500; 22,5/750	22,5	32,4	56,7
4. Сахароза	0,33	3/110; 7/140; 8/380; 9,5/750	9,5	—	2,4
5. Сорбит	0,33	12,5/140; 15/(300); 16/(410); 18,5/500; 20,5/840	21,0	26,7	52,9

Данные РФА свидетельствуют, что вводимые добавки не образуют с гидросиликатами каких-либо самостоятельных фаз. Тем не менее в присутствии модификаторов наблюдаются значительные количественные искажения в составе фаз: резко меняются количество и структурные характеристики слабозакристаллизованных фаз, относительные количества некоторых кристаллических фаз (рис. 4). Наблюдаемые изменения несоразмерны количеству вводимых модификаторов, т.е. введенные модификаторы продолжают влиять на направление гидратационных процессов в течение всего процесса твердения цементного камня.

Степень гидратации модифицированных цементных паст контролировалась методом ДТА (см. табл. 3).

Сопоставительный анализ позволяет сделать следующие выводы:

между содержанием портландита в модифицированной системе и  $C_2SH$  существует однозначная корреляция (понижение содержания портландита сопровождается ростом содержания  $C_2SH$ );

присутствие углеводов интенсифицирует образование димерных гидросиликатов кальция;

наименьшее количество слабозакристаллизованной фазы наблюдается для образцов, содержащих сахарозу и фруктозу, т.е. углеводы, способные существовать в фуранозной форме или имеющие в своем составе фуранозный цикл; для этой же пары добавок характерно наименьшее содержание портландита;

присутствие добавок создает отличительный фазовый образ цементного камня, что не может быть объяснено действием добавки только в начальной стадии гидратации (до момента схватывания), т.е. добавки действуют на про-

тяжении всего времени гидратации, направляя процесс кристаллизации в том или ином направлении. При этом углеводы не связываются гидратами и, по-видимому, остаются в водной фазе.

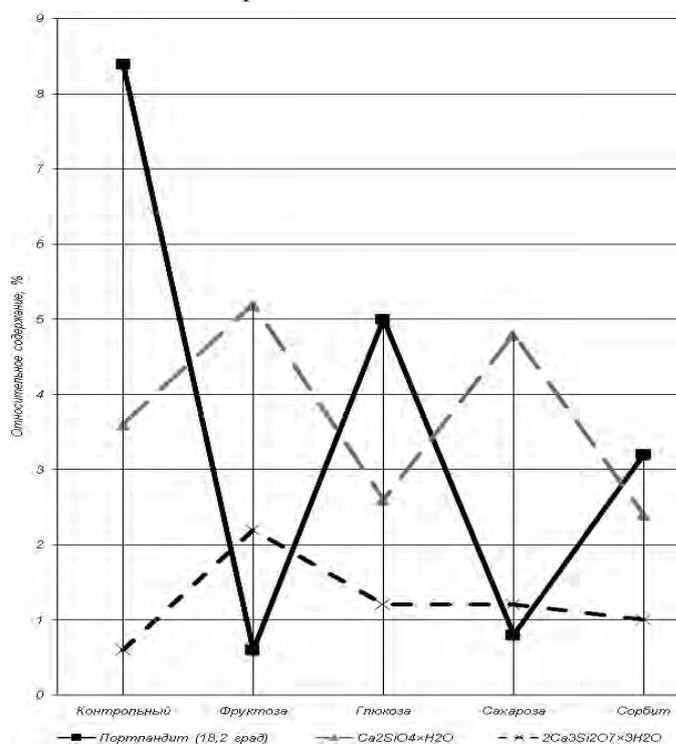


Рис. 4. Относительное содержание некоторых кристаллических фаз модифицированного цементного камня

Таким образом, если рассматривать действие углеводов как результат специфической адсорбции последних на зародышевой силикатной фазе, характер комплекса добавка — зародышевая фаза формирует фазовый образ цементного камня и определяется пространственным расположением ОН-групп углевода. Наиболее негативные последствия для структурообразования цементного камня характерны для углеводов, имеющих фуранозный цикл.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашиников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М. : Изд-во АСВ, 2006. 368 с.
2. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1998. 768 с.
3. Глекель Ф.Л. Физико-химические основы применения добавок к минеральным вяжущим. Ташкент : Фан, 1975. 200 с.
4. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. Добавки в бетон : справочное пособие. М. : Стройиздат, 1988. 575 с.
5. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон : 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1989. 188 с.
6. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М. : Наука, 1979. 381 с.
7. Тараканов О.В. Цементные материалы с добавками углеводов. Пенза : ПГАСА, 2003. 166 с.

8. *Иващенко Ю.Г., Шошин Е.А., Тимохин Д.К.* Начальные этапы структурообразования цементных композиций в присутствии добавок углеводов // Наука и инновации в строительстве SIB-2008 : материалы Междунар. конгресса : в 5-и т. Т. 1. Современные проблемы строительного материаловедения и технологии. Воронеж, 2008. С. 169—173.

1. *Bazhenov Y.M., Dem'janova V.S., Kalashnikov V.I.* Modificirovannye vysokokachestvennyye betony / М. : Izd-vo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2006. 368 s.

2. *Batnikov V.G.* Modificirovannye betony. Teoriya i praktika. 2-e izd., pererab. i dop. М. : 1998. 768 s.

3. *Glekel' F.L.* Fiziko-himicheskie osnovy primeneniya dobavok k mineral'nyim vjazhuwim. Tashkent : Fan UzSSR, 1975. 200 s.

4. *Ramachandran V.S., Fel'dman R.F., Kolleparadi M.* Dobavki v beton: Spravochnoe posobie. М. : Strojizdat, 1988. 575 s.

5. *Ratinov V.B., Rozenberg T.I.* Dobavki v beton. 2-e izd., pererab. i dop. М. : Strojizdat, 1989. 188 s.

6. *Rebinder P.A.* Poverhnostnye javleniya v dispersnyh sistemah. Fiziko-himicheskaja mehanika. М. : Nauka, 1979. 381 s.

7. *Tarakanov O.V.* Cementnye materialy s dobavkami uglevodov. Penza : PGASA, 2003. 166 s.

8. *Ivawenko Ju.G., Shoshin E.A., Timohin D.K.* Nachal'nye jetapy strukturoobrazovaniya cementnyh kompozicij v prisutstvii dobavok uglevodov // Nauka i innovacii v stroitel'stve SIB-2008: materialy Mezhdunar. kongressa : v 5-i t. Т. 1. Sovremennye problemy stroitel'nogo materialovedeniya i tehnologii. Voronezh, 2008. S. 169—173.

© Тимохин Д.К., Козлов Н.А., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010

УДК 691.002

**И.В. Стефаненко**

**РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ БЕТОНОВ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Отмечены особенности эффективных материалов для использования в специфических условиях эксплуатации (сейсмические воздействия, высокие температуры, вечная мерзлота, места захоронения активных источников излучения, канализационные и водные коммуникации). Представлена технологическая схема производства. Предложено производство бетонополимерных композитов как самых высокоэффективных строительных материалов.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** радиационная технология, труботетон, сейсмические воздействия, высокие температуры, вечная мерзлота, радиоактивные источники излучения, водные коммуникации, система канализации технологическая схема, бетон, сталь, бетонополимерные материалы.

Specific efficiency of materials for application in special conditions of exploitation (building for exploitation under seismic loads, highly warm temperatures, ever frost, place of active source irradiation burial, sewage and aquatic communication) are described. The scheme of technologic production is represented. The production of polymer concrete compositions as the most high-efficiency building materials is suggested.

**K e y w o r d s:** radiotechnology, guncrete, seismic loads, highly warm temperatures, ever frost, active source irradiation, aquatic communication, sewage system, manufacturing scheme, concrete, steel, polymer concrete materials.

Особыми условиями в эксплуатации зданий принято считать в строительной индустрии те, которые по тем или иным признакам могут отличаться от обычных. К особым условиям эксплуатации относятся: строительство высотных домов, сейсмические воздействия, высокие технологические температуры, вечная мерзлота, места захоронения активных источников излучений, подземные сооружения для прокладки дорог, канализационных, водных коммуникаций в местах с грунтами, имеющими аномально высокую активность естественных радионуклидов (ЕРН) и др [1].

При выборе материала и конструктивной схемы зданий для северных районов страны следует учитывать, что здания возводятся на вечномерзлых грунтах. Решение конструкций в этих условиях принимается в зависимости от типа и свойств грунта, применяемых материалов и характера застройки, температурного режима здания, времени строительства. В этих условиях предусматривают специальные меры по сохранению вечномерзлого состояния основания или же учитывают возможность неравномерной осадки здания при оттаивании основания.

Материалы и конструкции отдельных цехов промышленных зданий могут подвергаться систематическому воздействию технологических температур выше 50 °С (литейные, электроплавильные и аналогичные горячие цехи). При постоянном воздействии технологической температуры до 200 °С применяют обыкновенный железобетон на портландцементе (или шлакопортландцементе); если температура выше 200 °С, применяют специальный жаростойкий бетон.

В результате проведенных исследований установлена возможность реализации технологий радиационного сшивания многослойных стеклопластиковых труб, полимеризации мономера в композиции бетона, гипса и других составляющих с одновременным снижением эффективной удельной активности  $A_{\text{эфф}}$  и коэффициента эманирования  $\eta$  от технологических воздействий [2].

Установлено, что всем радиационно-производимым материалам свойственно значительное снижение  $A_{\text{Ra эфф}}$  и  $\eta$ , что позволяет использовать новые материалы в качестве защитных средств для снижения гамма-фона в строящихся и эксплуатируемых зданиях путем применения отделочных материалов с пониженными (не менее чем в 3 раза) эффективными удельными активностями по сравнению со значениями материалов помещений (зданий).

В последние годы для использования в особых условиях применяют трубобетон [3]. Трубобетон характеризуется большой областью применения в высотных зданиях и сооружениях специального назначения в условиях стесненных деформаций. За счет новой радиационной технологии (см. ниже) возможно снижение расхода бетона в 3-4 раза, стоимость конструкции снижается почти на 50 % за счет уменьшения расхода стали (до 45 %) [1].

Трубобетон эффективно используется в верхних этажах многоэтажных зданий, которые более подвержены ветровым нагрузкам. Известно, что давление ветра на цилиндрическую поверхность в 1,4 раза меньше давления на плоские поверхности.

Как показывает опыт специалистов мира, наиболее эффективны и имеют высокие физико-химические и механические характеристики строительные материалы и изделия, выполненные с использованием источников ионизирующих излучений [1].

Процессы могут быть успешно реализованы на  $\gamma$ -установках и на установках с ускорителями электронов. Обоснованный выбор источников излучений осуществляется на основе анализа результатов исследований технологического процесса и расчетов производительности и экономических показателей. Для обеспечения экологической безопасности и исключения попадания радиоактивного вещества в окружающую среду радиоактивные материалы, применяемые для изготовления источников, надежно герметизируют; их активность имеет значение ниже порога ядерных реакций ( $< 10 \text{ МэВ}$ ) [1].

Основные виды взаимодействия ионизирующих излучений: рассеяние до облучаемого объекта и поглощение в нем, в результате снижается энергия и изменяется первоначальное движение частиц, при поглощении они перестают существовать. Защитная способность различных составов к ослаблению излучения зависит от атомного номера элементов, образующих защитный материал, или, от числа электронов в атомах элементов и энергии излучения.

В материалах для защиты от ионизирующих излучений желательны минимальное содержание элементов, образующих долгоживущие нуклиды: хрома, кремния, никеля, кобальта, марганца, натрия, меди, мышьяка, сурьмы, цинка и некоторых других [3].

Сталь и чугун применяют для устройства защиты от низкоэнергетического фотонного излучения. При этом ослабление гамма-излучений на единицу площади происходит гораздо эффективнее, чем в водной или графитовой защите.

Одним из самых лучших материалов для защиты от низкоэнергетических гамма- и рентгеновского излучений являются свинец либо бетонополимер-

ный материал (БПМ). Исследования показали, что в качестве вяжущих веществ могут быть использованы цементы и местные добавки.

При разработке новых композитных составов обращается особое внимание на компоненты (добавки, наполнители), а также содержание в них ЕРН. Например, использование местного сырья: алюминиевой пудры, фосфатного связующего с тонкомолотыми добавками и заполнителями, в том числе и из отходов промышленности вместо портландцемента, открывает возможности качественного улучшения свойств жаростойких бетонов, расширяет возможности получения целого ряда жаростойких теплоизоляционных материалов, а также газо- и поризованных бетонов.

Проведенные исследования взаимодействия алюмохромфосфатного (АХФС) связующего с алюминиевой пудрой показали, что с увеличением количества вводимого алюминия уменьшается время начала интенсивного взаимодействия алюминия со связкой, а температура повышается. Как показано на рис. 1, максимальный эффект наблюдается при введении алюминия в количестве 15...18 %.

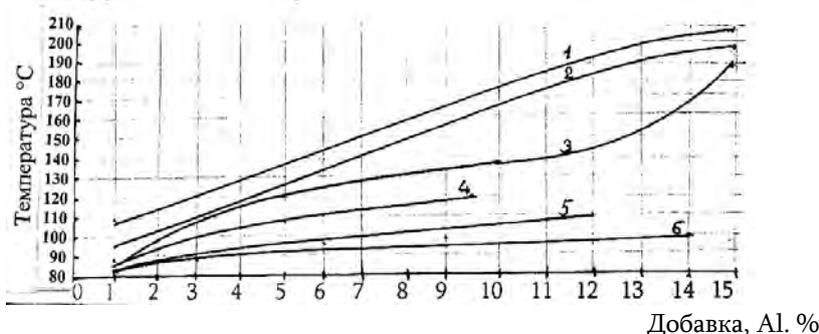


Рис. 1. Максимальная температура взаимодействия фосфатного связующего с алюминиевой пудрой: 1 — 100% ортофосфорная кислота; 2 — 90% ортофосфорная кислота+10% АХФС; 3 — 80% ортофосфорная кислота+20% АХФС; 4 — 50% ортофосфорная кислота+50% АХФС; 5 — 20% ортофосфорная кислота+80% АХФС; 6 — 100% АХФС

Нами проверено, что при большом количестве введенного алюминия процесс стабилизируется, затем время начала интенсивного взаимодействия увеличивается, а температура снижается. Объясняется это определенным соотношением алюминия и фосфатного связующего.

Анализ полученных результатов показал, что начало реакции интенсивного взаимодействия можно в довольно широких пределах регулировать качественным изменением состава связующих. Это имеет значение при выборе технологических параметров изготовления изделий из фосфатного газобетона.

Расширение сырьевой базы для жаростойкого фосфатного газобетона и повышение его жаростойких свойств на базе использования отходов промышленности является важнейшим направлением технологии его применения в особых условиях эксплуатации за счет применения новых видов фосфатных связующих и огнеупорных материалов.

Исследованиями установлено, что прочность бетона при сжатии зависит от расхода алюминиевой пудры, оптимальное количество которой составляет 5...7 %, от массы сухих компонентов сырьевой смеси, и совершенно не зависит от количества добавки шамота.

При исследовании физико-химических и жаростойких свойств фосфатного газобетона на основе абразивного производства были определены следующие его характеристики: средняя плотность, предел прочности при сжатии после нагрева в интервале температур 105...1400 °С, термическая стойкость, теплопроводность, огнестойкость, усадка, трещиностойкость и долговечность. Исследования долговечности показали, что при уровне приложенного растягивающего напряжения, составляющего 30 % от предела прочности при растяжении и температуре 800 °С срок службы для бетона с плотностью 800 кг/м<sup>3</sup> составляет более 12 лет. Способность материала длительное время противостоять воздействию высоких температур позволяет применять разработанные составы фосфатных жаростойких бетонов в футеровках различных теплотехнических конструкций [4].

Как известно, характеристику бетона определяет его структура, которая в свою очередь обуславливается структурой цементного камня и заполнителей. В теле камня имеются многочисленные поры. Пористость существенно влияет на прочность и долговечность, определяет газо- и водонепроницаемость, морозостойкость камня.

Существует несколько способов получения модифицирования бетонов полимерами. Из бетона в смеси с некоторыми синтетическими смолами (фурановыми, перхлорвиниловыми и т.п.) получают так называемый полимербетон или пластбетон. Добавление в воду затворения водорастворимых мономеров (карбонидных, эпоксидных и др.) с последующим их отверждением, нагреванием или другим способом, позволяет получить цементополимеры. Наконец, в результате пропитки готовых бетонных изделий мономерами (метилметакрилатом, стиролом и т.п.) с последующим отверждением их термокаталитическим, радиационным или другим способом в порах изделия, получают БПМ [1].

Радиационный способ получения БПМ по сравнению с другими способствует приданию им более высоких (на 7...15 %) прочностных свойств. Прочностные показатели БПМ зависят от марок исходного бетона:

марка исходного бетона	200...250	250...350	350...450	450...600
марка получаемого БПМ	800	1000	1200	1400

Изготовленные исходные изделия предварительно высушивают до заданной или допустимой влажности, герметизируют в аппарате, аппарат вакуумируют (при этом удаляются воздух и пары воды из пор), материал пропитывают мономером, далее облучают до завершения процесса полимеризации мономера в порах исходного изделия.

Продолжительность основных операций модифицирования приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Примерная продолжительность, ч, отдельных стадий модифицирования БПМ*

Изделие	Определяющий размер	Вакумирование	Сушка при температуре, °С		Пропитка при давлении, МПа		Полимеризация (при МПД* 0,25 Гр/с)
			120	200	0,098	039	
Плитка	Толщина 0,05	0,3	24	8	3	2	12
	Толщина 0,1	0,4	96	30	12	2	13
	Толщина 0,5	0,5	130	64	18	3	13

\* МПД — мощность поглощенной дозы.

При большой толщине бетонных плит скорость сушки значительно возрастает, причем удаление 90 % влаги происходит в первый период, составляющий 25...35 % продолжительности всего цикла сушки. Горячие высушенные изделия охлаждают для снятия внутренних напряжений.

Для вакуумирования и пропитки изделия помещают в РА. Глубину и продолжительность вакуумирования регулируют. С увеличением глубины вакуумирования пропитка ускоряется. Привес мономера при пропитке зависит также от состава и микроструктуры исходного изделия, его геометрических размеров, влажности, длительности и давления при пропитке, вязкости пропитываемого вещества и некоторых других факторов.

Скорость полимеризации мономера в пористой структуре бетона, инициируемая ионизирующим излучением, зависит в основном от МПД. Для различных наполнителей в композиционном материале скорость инициирования различна. Полная полимеризация метилметакрилата (ММА) в бетонных изделиях наступает при поглощенной дозе 15...20 кГр.

Прогнозирование развития производства и применение этих материалов показывает, что в начале XXI в. объем их производства составил около 5 % общего производства бетона и железобетона в мире. Большой интерес таким материалам обусловлен возможностями получения БПМ с широким диапазоном свойств, а также высокой экономической эффективностью применения для использования в особых условиях строительства.

Введение в бетон небольшого количества (при массовом содержании примерно 6...8 %) полимеров дает значительное улучшение свойств готового изделия, что позволяет снизить расход вяжущего, металла и других строительных материалов. Расчеты показали, что с учетом свойств БПМ строительные конструкции из них могут быть облегчены на 25...30 %, что позволяет снизить расход компонентов.

Улучшение основных свойств БПМ по сравнению со свойствами исходного бетона приведены в табл. 2. Испытанный нами БПМ поглощает 6...6,5 % мономера.

Основной целью производства для рассматриваемых нами условий является повышение долговечных свойств по водонепроницаемости, стойкости к агрессивным средам, морозостойкости, прочности и т.п. Приведенные данные показывают, что прочность БПМ в 3-4 раза выше прочности исходного бетона. Радиационное модифицирование повышает стойкость бетона к истиранию в 10 раз, а морозостойкость в 25 раз. Все это позволило рассчитывать расход материалов при замене стандартных бетонных и железобетонных изделий (балок, колонн и т.п.) изделиями из БПМ.

Высокая водостойкость и низкая водопроницаемость изделий, высокая коррозионная стойкость и стойкость в переменных температурно-влажностных условиях, в том числе при периодическом замерзании-оттаивании, делают изделия из БПМ почти уникальными.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высокие технологии с использованием источников ионизирующих излучений в промышленности / Ю.Д. Козлов, И.В. Стефаненко, С.В. Ермолаев, О.П. Сидельникова. М. : Энергоатомиздат, 2006. 715 с.
2. Сидельникова О.П. Радиационный контроль в строительной индустрии. М. : Изд-во АСВ, 2002. 207 с.

3. Трансурановые элементы в окружающей среде / пер. с англ. под ред. Р.М. Алексахина. М. : Энергоатомиздат, 1985.

4. Александров Е.Н. Радиационно-модифицированные материалы и методы их производства для строительства и эксплуатации в особых условиях : дис. ... канд. техн. наук. Волгоград : ВолгГАСУ, 2007.

1. Vysokie tekhnologii s ispolzovaniem istochnokov ioniziruyushchikh izlucheniy v promyshlennosti / Y.D. Kozlov, I.V. Stefanenko, C.V. Ermolayev, O.P. Sidel'nikova. M. : Energoatomizdat, 2006. 715 s.

2. Sidel'nikova O.P. Radiatsionnyi control v stroitel'noy industrii. M. : Izd-vo ASV, 2002. 207 s.

3. Transuranovye element v okruzhayushchey srede / per. s angl. pod red. R.M. Aleksakhina. M. : Energoatomizdat, 1985.

4. Aleksandrov E.N. Radiatsionno-modofitsirovannye materialy i metody ikh proizvodstva dlia stroitelstva i ekspluatatsii v osobykh usloviyakh : dis. ... kand. tehn. nauk. Volgograd : VolgGASU, 2007.

Т а б л и ц а 2

## Основные физико-химические свойства БПМ [1]

Свойства	Бетон	БМП
Предел прочности, МПа		
при сжатии	30...50	100...200
при растяжении	2...3	10...14
при изгибе	5...6	20...30
Модуль упругости при сжатии, $10^4$ , МПа	2,5...35	4,5...5
Прочность сцепления бетона с арматурой, МПа	1...2	10...18
Износостойкость, см	1,126	0,041
Ползучесть (при $\sigma_{сж} = 5,6 \cdot 10^5$ МПа), мм/м	20	0,6
Коэффициент линейного расширения, $10^{-6}$ , см	7,24	9,65
Предельный коэффициент водопоглощения (мас. доля), %	14,1	0
Водопроницаемость при $P = 0,3$ МПа, г		
в течение 1 ч	173	0
в течение 4 сут	—	0
Морозостойкость, цикл	200	5000
Предел прочности при сжатии, МПа		
до воздействия	—	157
после воздействия 20%-х кислот при 60 °С в течение 24 ч		
HCl	—	106
NaOH	—	136
HNO <sub>3</sub>	—	145
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	—	150
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	154
Деформация набухания за 500 сут нахождения в растворе Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , %	0,51	0,035

© Стефаненко И.В., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010 г.

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА.  
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА  
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

УДК 624: 001: 25

**В.Г. Тишин**

**РАЗРАБОТКА ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ И АНАЛИЗ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ  
ЗАДАЧИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭКОНОМИКИ**

Основной причиной аварий на объектах экономики признаны низкое качество проектно-изыскательских, строительных работ и работ по эксплуатации зданий и сооружений. За целевую функцию обеспечения безопасности объектов принята величина риска, включающая математическое ожидание ущерба по отношению к стоимости строительства объекта. Дан анализ подхода к обеспечению безопасности объектов экономики с учетом факторов, формирующих целевую функцию. В качестве критических параметров состояния объектов приняты предельные деформации, являющиеся границей риска.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** аварии строительных объектов, целевая функция, критический параметр, предельные деформации, граница риска.

The general reasons of failures on objects of economy are recognized: poor quality of designing documentation, building processing and work on operation of buildings and constructions. The size of risk including a mathematical expecting of damage in relation to cost of object's building is accepted for criterion function of object's safety. The analysis of approach concerning safety of economy's objects which is taking into account the factors forming criterion function is given. The limiting deformations which are border of risk are accepted as critical parameters of the object's condition.

**К e y w o r d s:** criterion function, limiting deformations, border of risk, critical parameters.

За последнее время участились случаи аварий строительных объектов техноприродных систем (ТПС). Анализируя это положение, отмечаем, что эти аварии приходится на так называемый «период приработки» [1]. В этот период комплексно обостряются опасности, связанные и с недостатками проектирования системы в целом, конструкторскими недоработками, и с недостатками в реализации строительного процесса.

Низкое качество производства работ при возведении зданий и сооружений является причиной свыше 50 % аварий. При этом около половины аварий происходит во время строительства объектов (что, как правило, в статистику аварий не попадает), а 20 % — на готовых, но не сданных в эксплуатацию по тем или иным причинам объектах.

Таким образом, основными причинами аварий являются: низкое качество строительно-монтажных работ; ошибки, допущенные в проектных решениях; неоправданная экономия материалов; низкая квалификация проекти-

ровщиков, производителей работ, авторского надзора и эксплуатационного технического персонала; неучтенные при проектировании нерегламентированные воздействия (стихийные бедствия и др.).

Причины, вызывающие деформации зданий и сооружений, могут быть трех видов:

- потеря общей устойчивости зданий (сооружений) и оснований;
- повреждение отдельных элементов и конструкций;
- накопление повреждений при износе.

Причины первого вида заключаются в несоблюдении норм проектирования, технических условий и правил производства работ при строительстве, которые вызывают деформации сооружения в целом.

Причины второго вида определяются преимущественно поставкой конструкций, изделий, полуфабрикатов и материалов, качество которых не соответствует требованиям государственных стандартов, и низким качеством монтажа конструктивных элементов сооружения, которые деформируются во время проведения строительных работ или при эксплуатации сооружения. Следует иметь в виду, что даже некоторые допускаемые строительными нормами отклонения могут привести к нежелательным последствиям. К таким отклонениям можно отнести даже незначительные отступления от проектных решений, требований строительных регламентов и государственных стандартов, снижающие качество объекта.

Причины третьего вида — накопление отклонений. Отдельные значительные отклонения от эксплуатационного регламента могут привести к разрушению отдельных конструкций и объекта в целом.

Увеличение числа аварий зданий и сооружений, вызванных дефектами строительства, проектирования, эксплуатации и экстремальными внешними воздействиями, требует глубокого анализа и принятия действенных мер, позволяющих сократить их количество или хотя бы облегчить последствия.

Несмотря на значительное количество документов, нормирующих проектирование (конструктивное и технологическое), нередки еще случаи нерасчетных ситуаций. Эти ситуации обусловлены различными причинами. Для того чтобы их предусмотреть и принять соответствующие меры (особенно на сложных и уникальных объектах), требуется проведение комплексной экспертизы безопасности (КЭБ), наряду с экспертизой экологической.

В процессе проведения экспертизы безопасности основное внимание должно уделяться анализу возможных сценариев формирования чрезвычайных ситуаций.

В процессе реализации КЭБ необходимо провести:

анализ факторов и источников, обуславливающих аварии природного и техногенного характера, схем и процессов протекания аварий, имевших место на объектах-аналогах;

обоснование методов (физико-математических моделей расчетных схем и методов расчета), применяемых для оценки опасностей и прогнозирования развития аварийных ситуаций;

оценку прогнозируемого риска для различных сценариев развития аварий и комплексной оценки рисков аварий в целом;

определение возможных негативных последствий аварий с учетом их вероятности;

общую оценку безопасности на основе комплексного анализа результатов инженерных расчетов и оценок текущего состояния с использованием вероятностных методов или методов экспертных оценок.

Выбор рационального конструктивного варианта проектируемого или ремонтируемого объекта по критерию риска имеет смысл в том случае, если этот критерий неоднозначно реагирует на изменение зависимых аргументов в допустимых пределах.

Обобщающим аргументом меры риска, очевидно, можно представить затраты  $C_0$ , идущие на строительство здания (сооружения), в том числе и на обеспечение его безопасности, и затраты  $C_1$ , идущие на снижение ущерба в случае возникновения аварийной ситуации. При этом подходе вопрос управления риском следует рассмотреть как решение оптимизационной задачи распределения средств [2].

В качестве целевой функции в рассматриваемом случае принимаем величину риска в виде отношения прямых и косвенных затрат, с учетом затрат на предотвращение ущерба к экономической полезности объекта:

$$R(C_0, C_1, t) = \frac{C_0 + Q(C_0, t) \int_0^t C_3(x) dx + \int_0^t C_1(x) dx}{S(t) + P(C_0, t) \mu \int_0^t C_p(x) dx} + \frac{Q(C_0, t) W(C_0, t) [M(t) - m(C_1, t)]}{S(t) + P(C_0, t) \mu \int_0^t C_p(x) dx}, \quad (1)$$

где  $C_0$  — затраты на строительство;  $C_1(t)$  — расходы на предотвращение ожидаемого ущерба;  $C_3(t)$  — эксплуатационные расходы на момент  $t$ ;  $\mu C_p(t)$  — доля прибыли, которую можно израсходовать на обеспечение безопасности объекта;  $M(t)$  — потенциальный ущерб, наносимый окружающей среде, населению и экономике;  $m(C_1, t)$  — стоимость предотвращенного ущерба;  $Q(C_0, t)$  — вероятность возникновения аварии на объекте (ненадежность);  $P(C_0, t)$  — вероятность безотказной работы объекта в течение времени  $t$  — (надежность);  $W(C_0, t)$  — вероятность нанесения ущерба  $M(t)$  при аварии на момент  $t$  (период эксплуатации);  $S(t) \geq (C_0) + C_3(t) + C_1(t)$  — необходимые затраты на строительство, эксплуатацию объекта, на ликвидацию последствий аварий, которые представляют инвестиционные затраты.

Суть рассматриваемой оптимизационной задачи сводится к нахождению оптимального соотношения между  $C_1(t)$  и  $C_0$ , которое составит минимум величины риска  $R(C_0, C_1, t)$ , с учетом времени эксплуатации ( $t$ ), надежности конструкций в зависимости от качества их изготовления и качества монтажа  $Q(C_0, t)$ .

Большинство аварий в строительстве принимается как относительный потенциальный экономический ущерб заказчика (инвестора) в результате следующих причин, связанных с качеством, на разных этапах жизненного цикла объекта экономики:

при инженерных изысканиях — недостаточно детальное изучение геоэкологических условий площадки строительства;

при проектировании — недостаточный учет отклонений при формировании нагрузок и воздействий, принимаемых в расчетах, и неучет особенностей эксплуатации этих объектов;

при изготовлении строительных конструкций в заводских и построечных условиях;

при монтаже на строительной площадке — низкое качество монтажа и других видов строительных работ;

при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружения — неучет квалификации специалистов.

Риск в этих случаях имеет право на количественную оценку только в том случае, если рассматривается стохастический процесс и лицо, принимающее решение, имеет возможность выбора того или иного варианта принятия решения, в том числе и отказа от него.

Таким образом, в рассматриваемом контексте стохастичность процесса будет определяться вероятностью  $Q(t, k)$  выхода одного или  $k$  параметров за установленные пределы в течение времени  $t$ , отсчитываемого от начала строительства (функция ненадежности или уязвимости).

В условиях принятых допущений математическое ожидание дополнительных затрат на ремонт или замену конструкций определяется функцией

$$\tilde{C}_p(t, C_0, k) = Q(t, k)C_p(S_0, k), \quad (2)$$

где  $C_p(S_0, k)$  — стоимость ремонтно-восстановительных работ;  $S_0$  — предел (допуск) нарушения;  $t$  — текущее время;  $k$  — допустимое число случаев выхода нарушения за установленные пределы при монтаже и по другим причинам.

Рассмотрим вопросы качества проектирования, связанные с использованием совершенных и более достоверных методик. Обозначим через  $P_M(C_M)$  вероятность того, что в ходе научных исследований и проектирования была использована новая расчетная система с высокой степенью достоверности  $P_M(C_M) = 1$ , степень ее совершенства зависит от количества средств  $C_M$ , выделенных на разработку проекта;  $P_G(C_G)$  — достоверность инженерно-геологических изысканий площадки строительства, которые определяются средствами  $C_G$ , выделяемыми на изыскательские работы;  $P_C(C_C)$  — вероятность того, что строительно-монтажные работы выполнены в соответствии с проектной документацией. Значение этой вероятности зависит от средств  $C_C$ , выделенных на строительно-монтажные работы.

Таким образом, оценку затрат заказчика, определяемых недостаточным качеством работ по всем исполнителям объекта, от которых зависит живучесть строительной системы, можно записать:

$$C_0^* = C_M [1 - P_M(C_M)] + C_G [1 - P_G(C_G)] + C_C [1 - P_C(C_C)]. \quad (3)$$

Определим целевую функцию риска  $\Phi'(t, S_0, K)$  в виде количественной меры при фиксированных  $S_0$  и  $K$

$$\Phi^r(t) = \frac{C_0^* + \tilde{C}_p}{C_0 + C_p} = \frac{C_M [1 - P_M(C_M)] + C_G [1 - P_G(C_G)] + C_C [1 - P_C(C_C)] + Q(t, k) C_p(S_0, k)}{C_0 + C_p} \quad (4)$$

Анализируя формулу (4), видим, что числитель ее представляет математическое ожидание ущерба, наносимого заказчику в результате реализации аварийной ситуации, а знаменатель — затраты на строительство и затраты на ремонтно-восстановительные работы.

Предположим, что инвестор располагает средствами в объеме  $\sum C$ , которые формируются следующим образом:

$$\sum C = C_0 + C_p = C_M + C_G + C_C. \quad (5)$$

С целью минимизации риска рассмотрим подход к оптимальному распределению  $\sum C$  для конкретного параметра  $t$  — времени от начала строительства. При этом минимум функции  $\Phi^r(t, C_M, C_G, C_C)$  можно записать:

$$\Phi^r(t, C_M^*, C_G^*, C_C^*) = \min \Phi^r(t, C_M, C_G, C_C), \quad (6)$$

где  $C_M^*, C_G^*, C_C^*$  — реальные затраты при конкретном значении  $t$ .

Приводя минимизацию затрат по формуле (6), необходимо помнить, что цена излишней экономии на стадиях проектирования и строительства приводит к снижению качества сооружения, для реализации которого впоследствии потребуются значительные затраты на ремонтные работы, а в отдельных случаях грозит потерей объекта.

Проанализируем функцию  $Q(t)$ , входящую в формулу (4), которая определяет вероятность возникновения аварийной ситуации в различные моменты периода эксплуатации объекта экономики.

Эта функция является функцией риска аварии нанесения ущерба —  $\tilde{R}(t) = 1 - P(t)$ , дополняющей  $P(t)$  до единицы и характеризующей вероятность отказа (разрушения) конструкции, части объекта или всего объекта (уязвимость).

Опыт показывает, что после небольшого начального периода эксплуатации (приработки) функция надежности может быть описана в виде экспоненциального распределения [1]

$$P(t) = \exp(-\lambda_\tau t), \quad (7)$$

где  $t$  — текущее время эксплуатации;  $\lambda_\tau$  — интенсивность отказов, равная вероятности того, что по истечении времени  $\tau$ -нормативного ресурса авария произойдет в последующем малом отрезке времени.

На практике также выявлено, что после приработки функция  $\lambda_\tau$  длительный период достаточно стабильна ( $\lambda_\tau = \text{const}$ ). Математическое ожидание нормативного срока службы здания (сооружения) — ресурса (или наработки на отказ) можно записать  $Q_i = 1/\lambda_\tau$ .

Функцию риска на период времени  $t$  можно записать в виде

$$\check{R}(t) = 1 - \exp(1 - \sqrt{Q_t}). \quad (8)$$

При функции надежности в виде (7) частота отказов в системе однотипных конструкций (поток случайных событий) соответствует дискретному распределению Пуассона:

$$\theta(N, \lambda_\tau) = \frac{\lambda_\tau^N}{N!} \exp(-\lambda_\tau); \quad N = 0, 1, 2, 3, \dots, \lambda_\tau > 0. \quad (9)$$

Согласно формуле (9) аварии на временном интервале  $\tau(t, t + \tau)$  произойдут  $N$  раз с вероятностью  $\theta(N, \lambda_\tau)$ , а отсутствие аварийных ситуаций (отсутствие отказов) соответствует вероятности

$$\theta(N, \lambda_\tau) = \exp(-\lambda_\tau). \quad (10)$$

Проанализируем подход к формированию отказов с привлечением модели, учитывающей некоторые физические процессы, полагая, что аварии на строящемся и эксплуатирующемся объекте могут возникнуть в результате накопления отдельных повреждений  $Y$  при достижении некоторого предельно допустимого состояния  $M$ .

Процесс накопления повреждений в основаниях и конструкциях, например, фиксируется функцией  $\eta(t)$ , а отказ наступает при условии  $\eta(t) \geq M$  при числе элементарных повреждений, равных

$$Z = \frac{M}{Y}.$$

Для объектов с высокой однородностью начального (после строительства) качества, которое определяется жестким контролем состояния материалов и технологий строительства, что обычно реализуется при строительстве однотипных конструкций в одинаковых условиях, расчет вероятности отказа (аварий) при эксплуатации возможен с использованием модели монотонно стареющих систем, т.е. с накапливающимися повреждениями, на основе гамма-распределения времени  $T$  функционирования:

$$F(T) = \frac{1}{\Gamma(z)} \lambda^z T^z \exp(-\lambda T), \quad (11)$$

где  $\Gamma(z)$  — гамма-функция;  $\lambda = y^{-1} dM[\eta(t)]/dt$  — скорость износа.

Для целых значений  $(z)$  гамма-функцию запишем  $\Gamma(z) = (z-1)!$ ;  $\lambda$  — средняя скорость износа и функция гамма-распределения имеет вид

$$\begin{aligned} \theta(N, \lambda_\tau) &= 1 - \sum_{k=0}^{z-1} \frac{(-\lambda T)^k}{k!} \exp(\lambda T) = \\ &= 1 - \exp(-\lambda T) \left[ \frac{1 + \lambda T + (\lambda T)^2}{2!} + \dots + \frac{(\lambda T)^{z-1}}{(z-1)!} \right], \end{aligned} \quad (12)$$

при  $z = 1$  выражение соответствует плотности экспоненциального распределения (мгновенный выход конструкции из строя при однократном повреждении).

Один из методов определения параметров  $\lambda$  и  $z$  основан на данных о времени безотказной работы  $\tau_i$  для  $N$  однотипных объектов.

Прогноз аварийности объектов, эксплуатируемых после истечения срока службы, возможен и на основе распределения Вейбулла

$$P(t) = \exp(-\lambda_t^\beta) \text{ при } \beta > 0. \quad (13)$$

В случае обобщающего экспоненциального распределения при  $\beta = 1$ ; здесь параметр  $\beta$  характеризует изменение интенсивности отказов, например за счет старения конструкций.

Сложность практического применения формулы (13) заключается в ограниченности данных по параметру  $\beta$ , что будет рассмотрено в других работах.

Параметр  $\beta$  характеризует повышение интенсивности отказов, например, за счет старения конструкций зданий и сооружений, качества монтажа и природных воздействий на объект в целом.

В заключении отметим, что критическими параметрами состояния ТПС являются предельные деформации ( $S_{пр}$ ), которые являются границей риска.

Определение вероятности  $Q(t)$  возникновения опасных (аварийных) ситуаций для различных заданных пределов (в том числе стареющих систем, требующих данных по изменению деформаций во времени).

Аварии на эксплуатируемом объекте экономики формируются в результате накопления числа повреждений как отдельных элементов при достижении ими некоторого предельного допустимого износа, так и системы в целом. Процесс накопления повреждений может фиксироваться функцией ухудшения параметров отдельных элементов, вызванного качеством изготовления, монтажа и режимом эксплуатации, а также достоверностью данных, используемых при проектировании.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тишин В.Г. Обоснование применимости нечетких множеств при оценке и прогнозировании повреждений и степени риска эксплуатируемых зданий и сооружений // Вестник УлГТУ. 2003. № 3—4. С. 69—74.

2. Альхименко А.И. Безопасность морских гидротехнических сооружений. СПб : Лань, 2003. 288 с.

1. Tishin V.G. Obosnovaniye primenimosti nechetkikh mnozhestv pri otsenke i prognozirovaniy povrezhdeniy i stepeni riska expluatiruyemyh zdaniy i sooruzheniy // Vestnik UIGTU. 2003. № 3—4. S. 69—74.

2. Al'himenko A.I. Bezopasnost' morskikh gidrotehnicheskikh sooruzheniy. SPb : Lan', 2003. 288 s.

© Тишин В.Г., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010 г.

УДК 691:699.88.3:658

**И.В. Стефаненко**

### **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАДИАЦИОННО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Приведены годовые расходы и капитальные вложения для определения приведенных затрат на изготовление бетонополимерных, туфополимерных и асбестоцементнополимерных материалов. Рассчитана себестоимость изделий.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** радиационные установки, радиационная технология, экономическая эффективность, капитальные затраты, годовые расходы, себестоимость продукта, годовая производительность, стоимость проекта, стоимость сырья, транспортные расходы, стоимость энерго- и теплоснабжения, заработная плата.

The work represents annual consumption and investment for definition of reduced costs to production concrete-polymeric, sinter-polymeric, asbestos-cement-polymeric materials. Estimation cost of products.

**К e y w o r d s:** radiation plant, radiotechnology, economic efficiency, capital expenditure, annual discharge, cost to product, annual capacity, cost to project, cost to crude, carrying cost, cost powering and heating, wage.

Важной задачей при подготовке к реализации радиационно-технических процессов является определение их экономической эффективности и коммерческой целесообразности. Поэтому при подготовке технического задания на проектирование радиационных установок (РУ) целесообразно определить экономическую оценку осуществления технологии.

Радиационный метод производства бетонополимерных (БПМ), туфополимерных (ТПМ), асбестоцементнополимерных (АЦПМ), гипсополимерных (ГПМ) строительных изделий в последние годы находит в мире широкое применение [1]. По сравнению с действующими термохимическим, холодным и другими методами радиационный имеет целый ряд преимуществ: высокую скорость проведения процесса, отсутствие дополнительных инициаторов и катализаторов полимеризации и др. В табл. 1 приведены области целесообразного использования таких материалов.

Для сшивания мономера (метилметакрилата ММА) в изделия используются гамма-установки с источниками  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  или  $^{90}\text{Sr}$ . Гамма-кванты обладают высокой проникающей способностью, что приводит к полимеризации ММА на 100 %.

При производстве изделий с большой толщиной радиационный аппарат (РА) с изделиями при облучении поворачивают на  $180^\circ$ , что обеспечивает сшивание мономера равномерно и в значительно короткие сроки.

При радиационном процессе сшивание мономера происходит за 15...20 ч. Технологическая линия состоит из подготовки компонентов сырья, смешивания состава, формования массы, сушки изделий, укладки их в РА, пропитки ММА и облучении на гамма-установке.

Обобщенным показателем экономической эффективности производства, как и в других отраслях, является приведенный доход, р/год.

Для оценки экономической эффективности радиационного способа производства, полагая неизменной среднюю отпускную цену на продукцию, производимую другими способами, в качестве показателя сравнения используют приведенные затраты, р/ед. продукции.

Т а б л и ц а 1

*Области целесообразного применения радиационно-модифицированных изделий из БПМ, ТПМ и АЦПМ в строительстве*

Отрасль промышленного применения	Изделия		
	БПМ	ТПМ	АЦПМ
Городское хозяйство	Плиты для малопролетных и автодорожных мостов, опоры уличного освещения, элементы канализационных колодцев, облицовочные и отделочные материалы	Полы, отделочный и облицовочный материал (вместо гранита и мрамора для фасадов зданий)	Трубы (для агрессивных жидкостей и газа)
Химическая промышленность	Конструкции зданий и лабораторий, хранилище химических соединений, трубы для агрессивных сред		То же, а также детали градирен
Нефтяная промышленность	Детали градирен		Устройства сбора и транспортирования нефти
Дорожно-транспортное хозяйство	Трубопроводы, тьюбинги, детали для туннелей		
Энергетика и железнодорожный транспорт	Кронштейны опор ЛЭП, изоляторы с повышенным электросопротивлением, трубы для гидрозолошлакоудаления		
Сельское хозяйство	Детали сооружений животноводческих комплексов (настилы, решетки каналов, кормушки), столбы для виноградников		Детали сооружений птицефабрик (настилы, лотки для сбора навоза, кормушки)
Мелиоративное хозяйство	Трубопроводы, резервуары, облицовка ирригационных сооружений		Трубы для оросительных систем

$$\Pi = \frac{C_r + EK_3}{Q_{PY}}$$

где  $Q_{PY}$  — годовая производительность  $PY$ ;  $C_r$  — годовые эксплуатационные расходы, которые складываются, как правило, из затрат на сырье, вспомогательные материалы, стоимости электроэнергии и других видов инженерного обеспечения, зарплаты, амортизированных отчислений, а также из цеховых и общезаводских расходов;  $E$  — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений (величина, обратная нормативному сроку окупаемости), год<sup>-1</sup>;  $K_3$  — капитальные затраты, переносимые на себестоимость продукции посредством амортизационных отчислений, принимаемых для затрат на про-

ектные работы, технологическое оборудование (~ 10...13 %), для здания (~3 %) и др. Капитальные затраты складываются из расходов на разработку технического задания на проектирование линии, проектные работы, создание гамма-установки, защиту, монтаж, наладку и приобретение источников излучения, а также транспортных расходов, отработки технологического процесса, сдачи линии государственной комиссии.

На основании вышеизложенного нами выполнены технико-экономические расчеты производства и структуры себестоимости некоторых радиационно-модифицированных изделий (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

*Ориентировочные технико-экономические показатели производства и структуры себестоимости некоторых радиационно-модифицированных изделий (плит)*

Характеристика и элементы расчета	Плиты		
	из БПМ		из ТПМ
Объем производства, тыс. т/год	1,0**	2300*	7,5*
Тип источника излучения	<sup>60</sup> Со	УКР	<sup>60</sup> Со
Мощность источника излучения, кВт	3,0	3000	10
Сырье и вспомогательные материалы, %	60	68	69
Энергозатраты, %	9	10	9
Зарплата с начислениями, %	4	3	3
Амортизация, %	10	7	6
Цеховые расходы, %	12	7	9
Себестоимость модифицирования, р./т	1590	1170	1500
Доля себестоимости, которая относится непосредственно на излучение, %	25	6	23
Приведенные затраты на модифицирование, р./т***	890	600	800

\* при КПД облучателя 20 %;

\*\*при КПД облучателя 8,5 %;

\*\*\* при нормированном коэффициенте экономической эффективности, равном 0,15.

Из табл. 2 видно, что с увеличением производительности значительно снижается стоимость производимых модифицированных изделий. Большие затраты на ММА при производстве туфополимерных плит приводят к высокой доле себестоимости модифицирования этих изделий (до 46 %). Стоимость 1 м<sup>2</sup> полированной туфополимерной плиты толщиной 2 см составляет 200...250 р., что на 120...180 р. дешевле мрамора и 100...150 р. дешевле гранита.

Эти плиты по своим физико-химическим свойствам не уступают граниту и мрамору, а по прочности и коррозионным свойствам превышают свойства этих традиционных отделочных и облицовочных материалов, поэтому можно снизить толщину туфовых плит до 1 см, что позволит, в свою очередь, изменить стоимость туфополимерных изделий на 20...25 %.

Предварительные расчеты показали, что при использовании туфовых отходов экономическая эффективность будет еще повышаться. Срок окупаемости капиталовложений в промышленную линию составит всего 1-2 года.

Важное обстоятельство — значительная экономия бетона и других материалов при производстве изделий из БПМ взамен традиционных. При годовом объеме производства таких изделий 100 тыс. м<sup>3</sup> можно сэкономить 50...70 тыс. м<sup>3</sup> бетона и 5...20 тыс. т стали. По расценкам 2005 г. [2] (с учетом удорожания металла в 2 раза), например, на заводах РФ в результате сокращения расходов такого количества бетона (при средней плотности 2000 кг/м<sup>3</sup>) и стали наименьший экономический эффект может составить 13...40 млн р.

При строительстве микрорайона из 10 крупнопанельных 72-квартирных домов серии 1 — 46 ЧД — 83 полезной площадью 40000 м<sup>2</sup> в результате замены только 2 % бетонных изделий изделиями из БПМ будет сэкономлено 3000 м<sup>3</sup> бетона и 130 т арматурной стали. Это в итоге сократит расходы на строительство (с учетом стоимости БПМ 4000 р/м<sup>3</sup>) здания примерно на 9 %, т.е. почти составит стоимость обычного дома указанной серии по ценообразованию 2009 г.

При замене лишь 1 % (2 млн м<sup>3</sup>) планового задания на железобетонные изделия по стране в 2010 г. изделиями из БПМ может быть сэкономлено более 1 млн м<sup>3</sup> бетона и 100...400 тыс. т стали.

При использовании <sup>60</sup>Со в качестве источников излучения на крупной гамма-установке может быть достигнута производительность 3...6 тыс. м<sup>3</sup> изделий из БПМ в год.

Таким образом, широкое применение БПМ должно принести значительные экономические выгоды, экономию материалов. Еще в 2000 г. было показано [3], что экономический эффект при применении различных БПМ может составить десятки миллионов рублей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высокие технологии с использованием источников ионизирующих излучений в промышленности / Ю.Д. Козлов, И.В. Стефаненко, С.В. Ермолаев, О.П. Сидельникова. М. : Энергоатомиздат, 2006. 715 с.
2. *Стефаненко И.В.* Высокие технологии в экологии и при переработке отходов в эффективные строительные материалы. Волгоград : Волгогр. науч. изд., 2005.
3. Доклад VI Международной конференции «Ядерная энергетика и промышленность». Обнинск, 25—29 июня 2000 г. Ядерное общество, 2000 г.
1. Vysokie tekhnologii s ispolzovaniem istochnikov ioniziruyushchikh izlucheniy v promyshlennosti / Y.D. Kozlov, I.V. Stefanenko, S.V. Ermolayev, O.P. Sidel'nikova. M. : Energoatomizdat, 2006. 715 s.
2. *Stefanenko I.V.* Vysokie tekhnologii v ekologii i pri pererabotke othodov v effektivnye stroitelnye materialy. Volgograd : Volgogr. nauh. izd-vo, 2005.
3. Doklad VI Mezdunarodnoy konferencii «Ydernaya energetika i promyshlennost». Obninsk, 25—29 iyunya 2000 g. Yadernoe obchestvo, 2000.

© Стефаненко И.В., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010 г.

УДК 658.382

**Ф.И. Стрыгин**

### **ОПЕРАТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА**

Предложены технические решения, позволяющие реализовывать распределенные системы контроля за безопасностью производства и создающие возможность создания оперативных систем управления безопасностью производства на объектах строительства.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** охрана труда, безопасность производства, идентификатор персонала, контроль над производственной средой.

The Author are offered technical decisions, allowing realize the portioned systems of the checking for safety production and creating possibility of the creation operative managerial system by safety by production on object construction.

**К e y w o r d s:** labour safety, safety of manufacture, the personnel identifier, the control over the industrial environment.

В состав проектной документации для любых объектов капитального строительства обязательной частью входит проект организации строительства (ПОС). Этот документ включает в себя, в частности, решения, касающиеся охраны труда и соблюдения техники безопасности, относящиеся к созданию конкретного объекта при соблюдении действующего законодательства в области строительства. В ПОС приводятся требования по безопасности и охране труда в период строительства. На основании ПОС подрядчик осуществляет разработку порядка производства работ (ППР). Практически все материалы ППР являются предметом пристального внимания специалиста по охране труда, поскольку напрямую связаны с личной безопасностью рабочих и инженерно-технических работников строительных организаций. Большинство случаев травматизма на строительных площадках происходит не из-за недостатков, допущенных при разработке ПОС и ППР, а из-за нарушений условий работ, приведенных в этих документах [1]. Таким образом, с точки зрения управления в сложившейся практике обеспечения безопасности работ отсутствует обратная связь, несущая информацию о факте исполнения разработанных мероприятий по охране труда. Требуется арсенал специальных технических средств контроля и управления оперативной производственной обстановкой с точки зрения охраны труда.

В [1] отмечается, что при проведении любых строительных работ необходимо обращать внимание на нахождение персонала в опасных зонах. Указывается на важность принятия необходимых мер по ограждению или обозначению опасных зон и недопущению нахождения в них работников, не занятых непосредственно в производственных процессах. Сложившаяся практика организации работ по охране труда в строительстве сводится к предупреждению несчастных случаев путем контроля доступа на подобные опасные участки производства случайных, неподготовленных людей или лиц, состояние здоровья которых не позволяет без риска для них находиться в опасной зоне. Таким образом, система контроля безопасности производства

является системой селективного ограничения доступа субъектов в контролируемую зону в зависимости от присвоенного им статуса.

Наиболее близкими к решению обсуждаемой задачи на современном уровне развития техники являются системы технических средств охраны и контроля проникновения, которые можно разбить на две большие подгруппы, одна из которых объединяет системы, организованные по принципу контроля над пересечением периметра или иных физически определенных точек контролируемой территории. Другая подгруппа систем способна проверять любую точку подконтрольной территории вне зависимости от их аппаратного оснащения. Недостатком первой подгруппы систем является сложность организации охраняемых периметров с ростом контролируемой территории. К достоинствам рассматриваемой подгруппы можно отнести простые аппаратные решения по определению статуса субъекта. Сложность систем второй подгруппы линейно зависит от площади контролируемой территории, что выгодно отличает их от систем периметрового принципа организации. Но статус субъекта у этих систем определяется только громоздкими, ненадежными программно-математическими методами, что является недостатком при адаптации систем контроля до систем охраны труда и производственной безопасности. Из приведенного анализа следует, что непосредственное использование технических средств охраны в качестве технических систем оперативного контроля за безопасностью производства нецелесообразно. Требуются инвариантные технические решения для реализации этой профессиональной задачи.

В качестве такого технического решения автором предложен идентификатор персонала [2]. Идентификатор персонала представляет собой устройство, закрепляемое на рабочей одежде персонала и обеспечивающее возможность передачи информации о статусе работника. Эта информация размещена на индивидуальной прокси-карте или ином носителе информации и может быть считана по запросу системы безопасности производства с любой точки контролируемой территории без привязки к периметру.

С учетом обширности территорий, задействованных в строительных технологических процессах, контроль над производственными условиями с точки зрения охраны труда осложнен. В [2] автором предложен способ построения распределенной системы контроля безопасности производства, который реализуется при помощи вышеописанного устройства следующим образом. На территории строящегося объекта выделяются зоны, опасные с точки зрения охраны труда. Выделенную зону оборудуют системой видеонаблюдения с системой обнаружения движущихся объектов общеизвестным способом. Кроме этого, зона должна находиться в зоне действия оператора сотовой связи или другой технологической связи.

Функционирование системы контроля безопасности производства осуществляется следующим образом. Работник при поступлении на работу получает персональную идентификационную карту (ИК), которой присваивается определенный статус, регламентирующий тот или иной алгоритм поведения субъекта в контролируемой зоне. В обязанности работника вменяется иметь при себе карту при каждом выходе на работу. Приступая к работам, работник входит в зону повышенной опасности, находящуюся в зоне контроля системы видеонаблюдения. Одновременно зона повышенной опасности

находится в зоне покрытия оператора сотовой связи. При обнаружении работника как движущегося объекта система видеонаблюдения посылает посредством передатчика запрос «Ты кто?». Идентификатор, размещенный на работнике, принимает сигнал запроса «Ты кто?» и отвечает путем передачи персональных данных ИК. Далее информация в виде, например, sms, включающего в себя персональные данные о работнике, передается на сервер, где размещена база данных распределенной системы контроля безопасности производства. Данные обрабатываются сервером, сравниваются с эталоном. При проникновении в опасную зону субъекта, не имеющего идентификатора, эхосигнал по запросу не придет и система видеонаблюдения общеизвестным способом подаст сигнал тревоги, предупредив возможные несчастные случаи. Система контроля также обнаруживает проникновение на контролируемый объект работников с неразрешенным статусом. Кроме этого, система позволяет контролировать все периодические мероприятия, предписанные системой охраны труда, например инструктажи, медосмотры и т.п., давать фактологический материал для работы систем стимулирования и разработки иных организационных мероприятий по охране труда.

Применение технических средств охраны труда совместно с автоматизированным рабочим местом специалиста по охране труда позволит добиваться безусловного выполнения предписанных ППР решений, нейтрализуя человеческий фактор.

Кроме того, идентификатор персонала, дооборудованный приемником ГЛОНАСС [3], на основе использования информационных возможностей, предоставляемых этой технологией, обеспечивает возможность определения момента несанкционированного маневра операционного персонала в безопасной рабочей зоне и предупреждения персонала об изменившейся обстановке производственной среды в тех рабочих местах, условия безопасности в которых взаимосвязаны с контролируемой зоной. Описанная возможность позволяет перейти от систем контроля к синтезу систем оперативного управления безопасностью производства.

Способ организации контроля за производственной средой со стороны распределенной системы управления безопасностью производства (СУБП) реализуется при помощи идентификатора персонала следующим образом. Производственная среда контролируется с точки зрения безопасных условий труда пересечением наблюдаемых зон системы видеонаблюдения с возможностью обнаружения программным методом движущихся объектов общеизвестным способом и зоны действия оператора сотовой связи или другой технологической связи. Программным способом с помощью автоматизированного рабочего места руководитель работ имеет возможность выделить произвольные рабочие места, которые необходимы для безопасного выполнения производственных процессов. Для строительства, например, характерна ситуация, когда территория, на которой выполняются строительные работы, используется одновременно предприятиями подрядных организаций для организации рабочих мест и выполнения разнокачественных производственных процессов.

Функционирование распределенной системы управления безопасностью производства осуществляется следующим образом. При разработке производственных процессов заранее определяют необходимые и достаточные ус-

ловия безопасного выполнения трудовых операций (зеленая зона безопасности), а также алгоритм поведения персонала в условиях возможного возникновения опасности (оранжевая и красная зона опасности). Работник при поступлении на работу проходит курс обучения производственным процессам и приемам безопасного выполнения операций, получает персональную ИК, которой присваивается определенный статус, регламентирующий тот или иной алгоритм поведения субъекта в производственной зоне. В обязанности работника вменяется иметь при себе карту при каждом выходе на работу. Перед входом в производственную среду работник закрепляет у себя идентификатор и активизирует его.

Вся территория производственной среды представлена в базе данных рабочего места руководителя как навигационная карта с топографическими координатами. Выдавая оперативное задание рабочей группе, руководитель работ определяет электронными метками на карте производственной среды с помощью программных средств рабочее место — безопасную зону для осуществления операций поручаемого рабочей группе процесса. Кроме этого, задается временной интервал выполнения порученных операций. Выдача заданий идентифицируется каждым работником индивидуально с помощью электронной подписи при помощи индивидуальной идентификационной карты. Сформированные данные в виде вектора цели передаются в диспетчерский центр СУБП. Таким образом, в базе данных СУБП формируется целевая матрица производственного задания, содержащая топографические координаты рабочих мест, отведенное на производственное задание рабочее время и другие данные, относящиеся к сфере охраны труда и производственной безопасности. Приступая к работам, персонал рабочей группы попадает в зону наблюдения системы видеонаблюдения, конвергированной с системой безопасности производства. Обнаруженный с помощью средств видеонаблюдения и обнаружения движущегося объекта персонал опрашивается посылкой сигнала «ты кто?» генератора запроса с заданной периодичностью. Идентификатор формирует ответную посылку, содержащую уникальные данные персональной карты и свои топографические координаты. Далее считанная информация в виде, например, sms, включающего в себя персональные данные о работнике и топографические координаты его нахождения, вычисленные приемником сигнала ГЛОНАСС, передаются по каналам связи на сервер СУБП, где размещена база данных системы управления безопасностью производства. В результате в базе данных СУБП формируется вектор состояния по каждому члену рабочей группы в контролируемом по условиям безопасности производства рабочем месте. Полученные данные о топографических координатах и метки времени сравниваются с заданными при выдаче оперативного задания координатами рабочего места и временем рабочей смены. Навигационная задача решается автоматически в вычислительном устройстве идентификатора, при этом используется известный метод наименьших квадратов. В результате решения определяются три координаты местоположения субъекта, скорость его движения и осуществляется привязка шкалы времени СУБП к высокоточной шкале универсального координированного времени (UTC).

Аналогичным образом происходит разделение производственной среды на рабочие места и выдача производственных заданий рабочим группам другими оперативными руководителями. Данные о рабочих заданиях в форме

векторов цели поступают в порядке их выдачи в единую базу данных СУБП производственной среды, где осуществляется контроль допустимости выполнения различных производственных процессов на совместное использование территорий, не допуская конфликта при совместном использовании ресурса. Если обнаружится недопустимое пересечение, наименее приоритетное производственное задание отменяется или дается рекомендация о времени его выполнения. Кроме этого, при обнаружении несанкционированного маневра кого-либо из рабочего персонала, например оставление отведенной рабочей зоны, происходят следующие действия. СУБП в автоматическом режиме описанным выше способом обнаруживает недопустимую девиацию вектора состояния. Сообщение об этом немедленно фиксируется в базе данных соответствующего рабочего места руководителя и программным образом с помощью вычислительных средств единого диспетчерского центра СУБП оперативно производит перерасчет сложившихся условий труда с точки зрения безопасности. В случае, когда обнаруженный маневр изменяет степень безопасности на других рабочих местах, соответствующим рабочим группам на каждый идентификатор персонала подается тревожный сигнал, соответствующий вероятностной предопределенности возникновения несчастного случая. Индикатор идентификатора с помощью вибрационного, светового и звукового сигнала покажет оранжевую или красную степень опасности персоналу всех рабочих мест производственной среды, взаимозависимых с обнаруженным маневром. Идентификатор персонала и распределенная система управления безопасностью производства позволит выявить любой несанкционированный маневр персонала в производственной среде.

Предложенные технические решения позволят не только обеспечить безусловное выполнение разработанных в ППР решений, но и откроют возможность синтеза автоматизированных оперативных систем безопасности производства в строительстве, которые позволят прогнозировать возможность возникновения несчастного случая в производственной среде, автоматически информировать персонал путем подачи тревожного сигнала, соответствующего вероятности возникновения несчастного случая, на личный идентификатор каждого работника, которому угрожает опасность в результате выполнения кем-либо несанкционированного маневра.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кубланов В. Охрана труда в строительстве // Охрана труда и социальное страхование, 2008. № 3.
2. Пат. 76151 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G 08 B 25/00. Идентификатор персонала и распределенная система контроля безопасности производства / Стрыгин Ф.И. Опубл. 10.09.08. Бюл. № 25.
3. Пат. 87283 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G 08 B 25/00. Идентификатор персонала и распределенная система управления безопасностью производства / Стрыгин Ф.И., Стрыгин Ю.Ф., Стрыгин И.Ю. Опубл. 27.09.09. Бюл. № 27.

1. Kublanov V. Ohrana truda v stroitelstve // Ohrana truda i socialnoe strahovanie. 2008. № 3.
2. Patent No 76151, Russian Federation, MPK<sup>7</sup> G 08 B 25/00. Identificator personala i raspredelennaya sistema kontrolya bezopasnosti proizvodstva / F.I. Strygin. Opubl. 09.10.08, Bul. № 25.
3. Patent No 87283, Russian Federation, MPK<sup>7</sup> G 08 B 25/00. Identificator personala i raspredelennaya sistema upravleniya bezopasnostyu proizvodstva / F.I. Strygin, Y.F. Strygin, I.Y. Strygin; Opubl. 09.27.09, Bul. № 27.

Поступила в редакцию в июне 2010

© Стрыгин Ф.И., 2010

**ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ,  
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ  
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ**

УДК 697.7:622.691.24

**Е.В. Титова, В.М. Фокин**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ  
ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА**

Рассмотрена принципиальная схема системы теплоснабжения подземного хранилища газа (ПХГ) с использованием теплового насоса и ветроэнергетической установки. Изложены принцип работы тепловой сети и преимущества предложенной схемы по сравнению с традиционной системой теплоснабжения.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** подземное хранилище газа (ПХГ), система теплоснабжения, тепловой насос, ветроэнергетическая установка.

The paper gives the basic scheme of system of a heat supply of underground depository of gas (UDG) with use of the thermal pump and wind-energy installations, the principle of work of heating system and advantage of the offered scheme in comparison with traditional system of a heat supply are described.

**K e y w o r d s:** underground depository of gas (UDG), system a heat supply, the thermal pump, wind-energy installation.

В ноябре 2009 г. Государственной Думой Российской Федерации был принят Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности», определяющий направление политики и содержание программ в области энергосбережения и повышения энергоэффективности. В Волгоградской области приоритетными направлениями стратегии социально-экономического развития Волгоградской области до 2025 года в области энергетического комплекса являются внедрение энергосберегающих технологий, поддержка проектов по использованию альтернативных источников энергии. В связи с этим возрастает роль нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ): геотермальных, ветровых, солнечных и других. С учетом благоприятной розы ветров на юге и в заволжской части Волгоградской области одним из наиболее перспективных НВИЭ является энергия ветра.

На территории Волгоградской области в настоящее время производится строительство подземного газового хранилища в рамках концепции ОАО «Газпром» по развитию пиковых подземных газовых хранилищ (ПХГ). Для теплоснабжения всех объектов, находящихся на территории ПХГ, построены котельные, предназначенные для покрытия следующих видов тепловых нагрузок: отопления и вентиляции; горячего водоснабжения; технологического

теплопотребления; теплового сопровождения технологических трубопроводов. С целью обеспечения всех видов тепловых нагрузок приняты следующие параметры теплоносителей: вода 95...70 °С для нужд отопления, вентиляции и технологии; вода 95 °С — для горячего водоснабжения.

С целью повышения энергоэффективности предлагается принципиальная схема системы теплоснабжения объектов ПХГ с использованием низкопотенциального источника теплоты и ветроэнергетической установки. Принципиальная схема системы теплоснабжения с использованием источника низкопотенциальной теплоты и ветроэнергетической установки приведена на рис. 1.

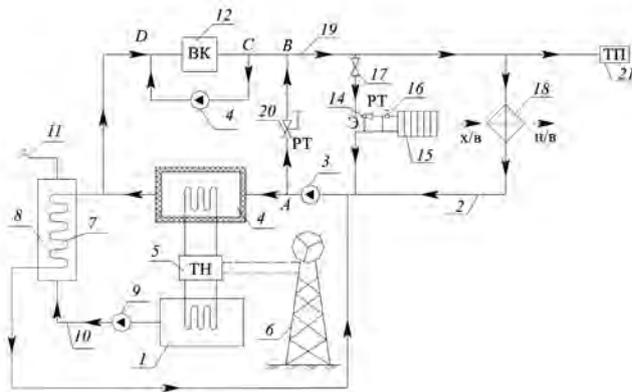


Рис. 1. Принципиальная схема системы теплоснабжения с использованием источника низкопотенциальной теплоты и ветроэнергетической установки: 1 — железобетонный резервуар; 2 — обратный трубопровод; 3 — сетевой насос; 4 — теплоизолированный промежуточный резервуар; 5 — тепловой насос (ТН); 6 — ветроэнергетическая установка; 7 — змеевик; 8 — бак-аккумулятор для горячего водоснабжения; 9 — циркуляционный насос исходной холодной воды; 10 — трубопровод исходной холодной воды; 11 — водоразборный кран системы горячего водоснабжения; 12 — водогрейный котельный агрегат (ВК); 13 — рециркуляционный насос; 14 — элеваторный узел системы отопления (Э); 15 — радиатор системы отопления; 16 — регулятор температуры системы отопления; 17 — вентиль; 18 — calorifier системы вентиляции; 19 — подающий трубопровод; 20 — регулятор температуры (РТ); 21 — технологическое производство (ТП); АВ — подмешивающая перемычка; CD — линия рециркуляции; х/в — холодный воздух; н/в — нагретый воздух

теплоизолированный промежуточный резервуар 4. Тепловой насос 5 преобразует низкопотенциальный теплоноситель железобетонного резервуара 2 с температурой 18...20 °С в высокопотенциальный с температурой 60...65 °С, находящийся в теплоизолированном промежуточном резервуаре 4. Снабжение теплового насоса ТН 5 электроэнергией осуществляется за счет ветроэнергетической установки 6.

Далее нагретый теплоноситель разделяется на два потока.

Один поток (на горячее водоснабжение) — греющая вода поступает в змеевик 7 бака-аккумулятора 8, охлаждается, нагревая при этом исходную холодную воду, и поступает в обратный трубопровод 2 теплосети. Исходная холодная вода из железобетонного резервуара 1 циркуляционным насосом 9

Система теплоснабжения закрытая, для покрытия «пиковых» нагрузок на горячее водоснабжение предусмотрена установка бака-аккумулятора.

Для обеспечения технологического процесса на ПХГ установлены наземные железобетонные резервуары 1 объемом 1200 м<sup>3</sup> с водой, имеющей температуру 18...20 °С. Водозабор для железобетонного резервуара 1 осуществляется от артезианских скважин с глубины 720 м.

*Работа тепловой сети.* Охлажденная вода из обратного трубопровода теплосети 2 сетевым насосом 3 подается в тепло-

по трубопроводу исходной холодной воды 10 идет в бак-аккумулятор 8, нагревается от греющей воды и поступает в водоразборные краны 11 системы горячего водоснабжения.

Другой поток теплоносителя подводится к водогрейному котельному агрегату 12. Во избежание низкотемпературной коррозии температура воды на входе в водогрейный котел должна быть не ниже 70 °С, поэтому схемой предусмотрена линия рециркуляции CD с рециркуляционным насосом 13. В водогрейном котельном агрегате 12 теплоноситель нагревается до температуры 95 °С.

Теплоноситель на выходе из водогрейного котла 12 разделяется на три потока. Первый поток поступает по подающему трубопроводу системы отопления в элеваторный узел Э 14, далее в радиаторы 15 системы отопления. Обратная вода из радиаторов 15 частично идет в элеваторный узел Э 14, а в основном — в обратный трубопровод 2. Регулирование температуры у радиаторов производится с помощью регуляторов температуры 16. В летний период система отопления отключается при помощи вентиля 17.

Второй поток от водогрейного котельного агрегата 12 идет в калорифер системы вентиляции 18 и далее в обратный трубопровод 2. В калорифере 18 происходит нагревание холодного наружного воздуха до требуемых параметров, предусмотренных системой вентиляции.

Регулирование температуры теплоносителя в подающем трубопроводе 19 происходит путем перепуска воды по линии АВ из обратного трубопровода 2, а для регулирования температуры на подмешивающей перемычке АВ установлен регулятор температуры РТ 20.

Третий поток от водогрейного котельного агрегата 12 идет на технологическое производство ТП 21.

Применение данной схемы системы теплоснабжения объектов подземного газового хранилища с использованием низкопотенциального источника теплоты и ветроэнергетической установки по сравнению с традиционной обладает следующими преимуществами: 1) использование низкопотенциальной тепловой энергии земли; 2) получение нагретой воды с использованием теплового насоса с коэффициентом преобразования энергии 4...6; 3) использование ветроэнергетической установки для работы теплового насоса; 4) предложенная схема теплоснабжения позволяет снизить расход природного газа на работу водогрейного котельного агрегата; 5) повышение эксергетического КПД системы теплоснабжения.

Кроме того, внедрение предложенной схемы является одним из энергосберегающих мероприятий, что является особенно значимым в связи с принятым в ноябре 2009 г. Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. М. : Машиностроение-1, 2006. 256 с.
2. Энергоэффективность Волгоградской области : специализир. науч.-популяр. журнал. 2009. № 5.
1. Fokin V.M. Osnovy energosberezheniya i energoaudita. M. : Mashinostroyeniye-1, 2006. 256 s.
2. Energoeffektivnost' Volgogradskoy oblasti : spetsializir. nauch.-populyar. zhurnal. 2009. № 5.

Поступила в редакцию в июне 2010

© Титова Е.В., Фокин В.М., 2010

УДК 666.32:62—404.9

**А.А. Крутилин, Т.К. Акчурин**

### **ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭФФЕКТИВНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ВВЕДЕНИЕМ ДОБАВОК ШЛАМОВЫХ ОТХОДОВ**

Рассмотрены вопросы повышения коэффициента вспучивания глин при производстве материалов пористой структуры за счет введения шламовых отходов машиностроения, что дает возможность более равномерного обжига материала по объему, позволяет увеличить пористость керамического черепка при производстве легких керамических кирпичей, улучшить основные физико-механические свойства изделий из керамики, расширить сырьевую базу для производства пористой строительной керамики различного назначения, а также снизить экологическую нагрузку на окружающую среду вследствие утилизации техногенного сырья металлообрабатывающей промышленности.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** вспучивание, строительная керамика, шламовые отходы.

Introduction of technogenic raw materials (slime a waste) raises factor swelling clay by manufacture of materials of porous structure that gives the chance more uniform roasting of a material on volume, allows to increase porosity of a ceramic crock by manufacture of easy ceramic bricks to improve the basic physicomachanical properties of products from ceramics, will expand a raw-material base for manufacture of porous building ceramics of different function, and also will lower an ecological load on environment, owing to recycling of technogenic raw materials of a metal-working industry.

**К е y w o r d s:** increases, building ceramics, slime a waste.

Промышленность строительных материалов отличается от других отраслей консервативностью в использовании сырья. Поэтому повышение эффективности производства и снижение себестоимости строительной продукции необходимо осуществлять за счет рационального использования энергоресурсов природного и техногенного сырья. В производстве строительного керамического кирпича сосредоточено внимание на совершенствовании технологии, улучшении качества выпускаемой продукции и расширении ассортимента. Предпочтение отдается выпуску эффективной пустотелой продукции, которая должна постепенно заменять традиционный полнотелый кирпич. Это позволит не только экономить сырье, но и уменьшать толщину и массу наружных стен без снижения их теплозащитных свойств, а также создавать облегченные конструкции панелей для индустриализации строительства [1, 2].

К числу керамических материалов специального назначения относится клинкерный кирпич, который применяется для мощения дорог, тротуаров, облицовки зданий. В настоящее время клинкерный кирпич производится в недостаточных количествах, причина заключается в дефиците качественного глинистого сырья. Запасы высококачественных тугоплавких глин с широким интервалом спекания весьма ограничены, кроме того, они служат сырьевой базой для производства огнеупорных изделий. Задачи разработки технологии клинкерного кирпича на основе некондиционного природного и техногенного сырья при наименьших экономических затратах и сохранении свойств готовой продукции являются актуальными.

На металлургических и металлообрабатывающих заводах Волгоградской области скопилось значительное количество техногенных отходов — шлама, ежегодный объем на ГПЗ-15 г. Волжского составляет более 2 тыс. т в год.

Шлам представляет собой смесь, полученную в результате опиловки и шлифования деталей подшипников качения, обкатки и доводки шаров и других операций. Предварительно высушенный до постоянной массы и измельченный шлам представлен на рис. 1.

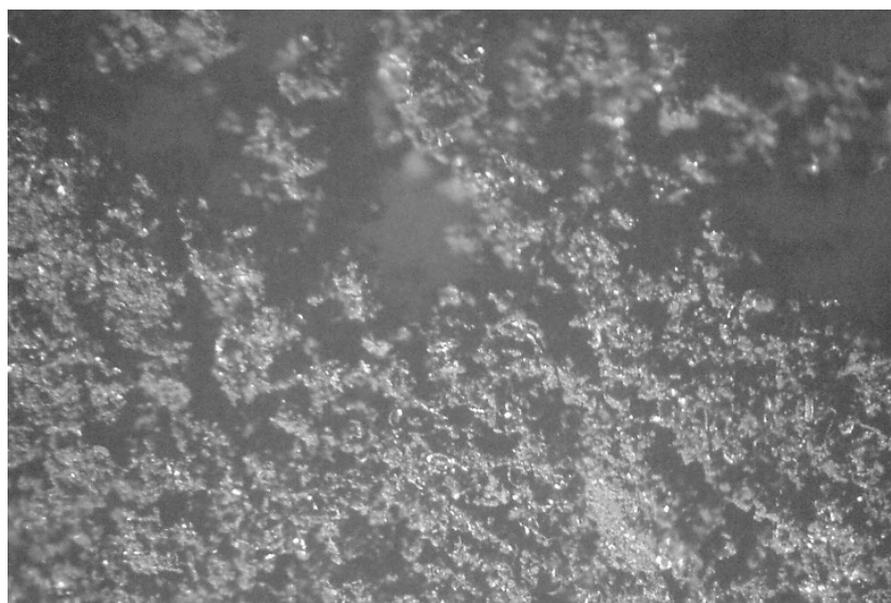


Рис. 1. Измельченный шлам ВПЗ-15 (увеличение микроскопа 40)

По данным химического анализа содержание металла в виде окислов железа составляет до 70 %, неметаллических фракций (продуктов разрушения абразивного инструмента при шлифовании) — 10 % и смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) — 20 %. Более 10...15 % объема шлама — конгломераты, которые представляют собой окисленные металлические и неметаллические частицы, сцементированные СОЖ (рис. 1).

Лабораторные исследования показали, что шлам в исходном состоянии хорошо смешивается с замоченной глиной. При этом содержание шлама в смеси можно доводить до 50 % и выше. По мнению многих авторов, при производстве керамики следует стремиться к повышению коэффициента вспучивания сырья, так как невспучивающегося или маловспучивающегося глинистого сырья для получения высокопрочного заполнителя имеется много, а хорошо вспучивающегося не хватает.

Механизм вспучивания состава глина — шлам обусловлен двумя одновременно протекающими процессами: газовыделением и газодержанием, и состоит в следующем. С началом химических реакций при выделении газов в прилегающих к частицам газообразователя микроразонах возникает давление, которое стремится расширить массу [3]. Хроматографический анализ отходящих газов при высокотемпературной обработке шлама показал (хроматограф «Цвет 500», детектор по теплопроводности, детектор ионизации пламе-

ни), что при нагревании до 800...900 °С и выше органическая составляющая СОЖ подвергается конверсии водяным паром или кислородом. В результате образуется парогазовая смесь, состоящая из неуглеводородной и углеводородной составляющих, а также паров остаточной влаги. Создание же пористой структуры материала достигается вспучиванием размягченного при термической обработке глинистого сырья выделяющимися газами (рис. 2 и 3), которые, как отмечалось, образуются и при нагревании шлама.

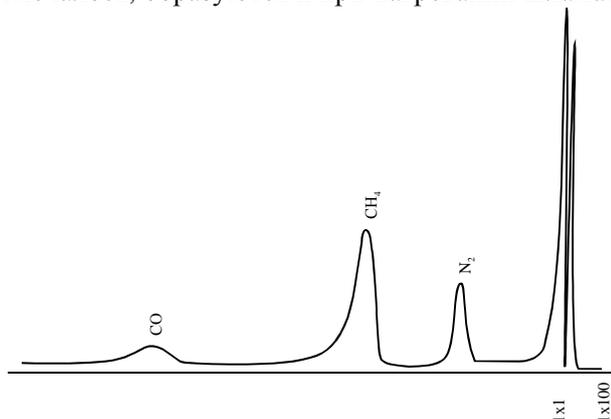


Рис. 2. Неуглеводородная составляющая отходящих газов высокотемпературной обработки шлама

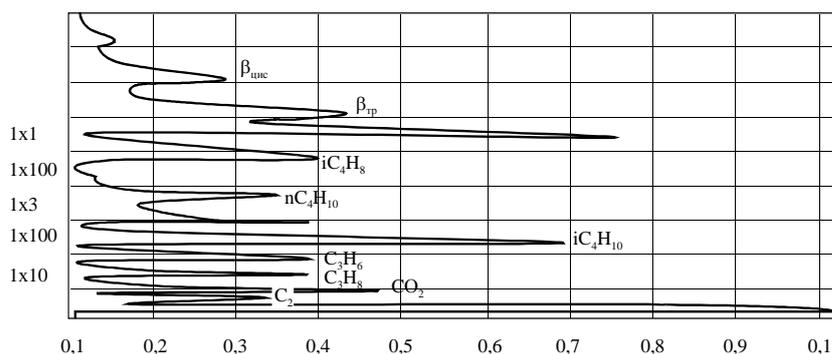


Рис. 3. Углеводородная составляющая отходящих газов высокотемпературной обработки шлама

Основным критерием при оценке пригодности сырья для производства поризованной керамики является его способность вспучиваться при обжиге, образуя материал со средней плотностью образцов 0,2...1,3 г/см<sup>3</sup> [1, 2].

Данные средней плотности образцов после обжига в зависимости от содержания шлама в глинистой шихте приведены на рис. 4.



Рис. 4. Средняя плотность образцов после обжига в зависимости от содержания шлама

Коэффициенты вспучивания (*a*) в зависимости от содержания шлама и структура образца глинисто-шламовой керамики (*б*) приведены на рис. 5.

Как видно из рис. 5, *a*, максимальное вспучивание глинисто-шламовой шихты происходит при добавлении шлама в количестве 3 % по объему от всей массы. Опытный образец, в состав которого введен шлам металлообработки, представлен пористой структурой (*б*). Размер пор колеблется от 100 до 500 мкм, поры имеют явное «вулканическое» происхождение, на что указывает их форма.

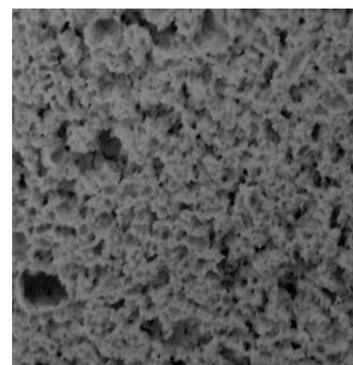
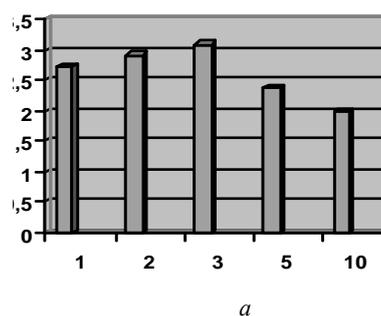


Рис. 5. Коэффициенты вспучивания глинисто-шламовой шихты в зависимости от содержания шлама, % по объему от всей массы (*a*); структура образца глинисто-шламовой керамики, 3 % шлама, увеличение микроскопа 40× (*б*)

Проведенные исследования показали экономическую эффективность использования шламовых отходов в производстве строительной керамики. Введение техногенного сырья (шламовых отходов) повышает коэффициент вспучивания глины при производстве материалов пористой структуры, дает возможность более равномерного обжига материала по объему, позволяет увеличить пористость керамического черепка при производстве легких керамических кирпичей, улучшить основные физико-механические свойства изделий из керамики, что расширит сырьевую базу для производства пористой строительной керамики различного назначения, а также снизит экологическую нагрузку на окружающую среду вследствие утилизации техногенного сырья металлообрабатывающей промышленности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Химическая технология керамики и огнеупоров / под ред. П.П. Будникова, Д.Н. Полу-бояринова. М. : Стройиздат, 1972. 552 с.
2. Канаев В.К. Новая технология строительной керамики. М. : Стройиздат, 1990. 264 с.
3. Таммов М.Ч. Моделирование кинетики вспучивания пористой керамики // Строительные материалы. 2001. № 10. С. 25—27.
1. Himicheskaya tehnologiya keramiki i ogneuporov / pod red. P.P. Budnikova, D.N. Poluboyarinova. M. : Stroyizdat, 1972. 552 s.
2. Kanayev V.K. Novaya tehnologiya stroitel'noy keramiki. M. : Stroyizdat, 1990. 264 s.
3. Tammov M.Ch. Modelirovaniye kinetiki vspuchivaniya poristoy keramiki // Stroitel'nye materialy. 2001. № 10. S. 25—27.

© Крутилин А.А., Акчурин Т.К., 2010

Поступила в редакцию в июне 2010 г.

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ  
ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ**

УДК 536.24

**А.Г. Бойков**

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВАТЕЛЯ  
В НАЧАЛЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА  
В ШАРОВОМ СЛОЕ**

Дана приближенная температурная характеристика электрического нагревателя постоянной мощности, находящегося внутри шарового слоя. Предложено соотношение в форме неравенства для оценки энергии, идущей на нагрев самого греющего устройства в период после начального нестационарного распространения тепла.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** температурная функция, электрический нагреватель, шаровой слой, нестационарный режим.

Provides an approximation of the temperature characteristic of an electric heater constant Motor input located inside the spherical layer. Proposed relationship in the form of inequality to assess the energy going into heating of the heating device in the period after the initial unstable propagation of heat.

**К e y w o r d s:** the temperature function, electric heater, a spherical shell, nonstationary.

Тепловой баланс между электрическим нагревателем и внутренней поверхностью шарового слоя можно представить следующим образом:

$$Wd\tau = c\rho v dt_{\text{н}} + \alpha_1 F_{\text{н}} (t_{\text{н}} - t_{\text{т}}) d\tau,$$

где  $W$  — мощность нагревателя;  $\tau$  — время;  $t_{\text{н}}$  и  $t_{\text{т}}$  — соответственно переменные температуры нагревателя и внутренней поверхности шарового слоя;  $c\rho v$  — суммарная тепловая емкость нихромовой электрической спирали и фарфоровой трубки, внутри которой она расположена;  $F_{\text{н}}$  — внешняя поверхность фарфоровой трубки;  $\alpha_1$  — суммарный коэффициент теплоотдачи от поверхности трубки внутренней поверхности шарового слоя.

Тепловой баланс позволяет выразить температуру нагревателя в неявной дифференциальной форме

$$t_{\text{н}} = t_{\text{т}} + \frac{W}{\alpha_1 F_{\text{н}}} - \frac{c\rho v}{\alpha_1 F_{\text{н}}} \frac{dt_{\text{н}}}{d\tau}. \quad (1)$$

Далее используется метод итераций. В качестве нулевого приближения принимается  $t_{\text{т}} = t_0 = \text{const}$ . В таком случае дифференциальное уравнение (1) имеет точное явное решение.

$$t_{\text{н}} = t_0 + \frac{W}{\alpha_1 F_{\text{н}}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\alpha_1 F_{\text{н}}}{c\rho v} \tau\right) \right].$$

Если взять производную от этого решения и подставить в (1), то

$$t_{\text{н}} = t_{\text{т}} + \frac{W}{\alpha_1 F_{\text{н}}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\alpha_1 F_{\text{н}}}{c\rho v} \tau\right) \right].$$

Повторяя аналогичное итерационное действие, удастся подметить закономерность

$$t_{\text{н}} = t_{\text{т}} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{d^n t_{\text{т}}}{d\tau^n} \left( \frac{c\rho v}{\alpha_1 F_{\text{н}}} \right)^n + \frac{W}{\alpha_1 F_{\text{н}}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\alpha_1 F_{\text{н}}}{c\rho v} \tau\right) \right]. \quad (2)$$

При нагревании шарового слоя постоянным источником тепла по истечении некоторого промежутка времени от начала его включения  $\tau_*$  (когда начальные условия перестают сказываться) наступает упорядоченный нестационарный тепловой режим в системе нагреватель — шаровой слой тела. Этот период характеризуется тем, что нагреватель берет на себя уже малую долю энергии, а температура в любой точке тела (в т.ч. и на внутренней поверхности слоя) изменяется по закону

$$t_{\text{т}} = t_{\text{т}}^{\text{max}} - \gamma \exp(-k\tau); \quad (3)$$

$$\frac{d^n t_{\text{т}}}{d\tau^n} = (-1)^{n+1} \gamma k^n \exp(-k\tau).$$

Подстановка выражения (3) в закономерность (2) приводит к соотношению

$$t_{\text{н}} = t_{\text{т}}^{\text{max}} - \gamma \exp(-k\tau)(1 + p + p^2 + p^3 + \dots) + \frac{W}{\alpha_1 F_{\text{н}}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\alpha_1 F_{\text{н}}}{c\rho v} \tau\right) \right],$$

где  $p = k \frac{c\rho v}{\alpha_1 F_{\text{н}}} < 1$ .

Поэтому окончательно

$$t_{\text{н}} = t_{\text{т}}^{\text{max}} - \frac{\gamma}{1-p} \exp(-k\tau) + \frac{W}{\alpha_1 F_{\text{н}}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\alpha_1 F_{\text{н}}}{c\rho v} \tau\right) \right]. \quad (4)$$

Из решения (4) следует, что пренебрегать количеством тепла, которое берет на себя нагреватель, возможно лишь при выполнении неравенства

$$\frac{\alpha_1 F_{\text{н}}}{c\rho v} \gg k. \quad (5)$$

Значит, оценка температурной функции (4) имеет смысл при условии (5) и когда время начала необходимых измерений в шаровом слое будет  $\tau > \tau_*$ , по истечении которого в системе наступает упорядоченный нестационарный тепловой режим.

В качестве примера возьмем образец из сухого бетона при

$$R_1 = 0,015 \text{ м}; R_2 = 0,06 \text{ м}; \alpha_2 = 8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}; \lambda = 1,3 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}; t_0 = 20^\circ \text{С};$$

$$W = 10 \text{ Вт}; a = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}; q_c = \frac{W}{3,14d_1^2} = 3538,57 \text{ Вт/м}^2;$$

$$Ki = \frac{q_c R_1}{\lambda t_0} = 2,0415; Bi = \frac{\alpha_2 R_2}{\lambda} = 0,4.$$

Согласно расчетам на основании решения [1] получаются параметры:

$$\mu_1^2 = 0,0706; \mu_1^2 \frac{a}{R_1^2} = k = 0,000157 \text{ ед/с}; \tau_* = 1802 \text{ с}; t_T^{\max} = 76,14 \text{ }^\circ\text{С}; \gamma = 32,84 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Остается задаться остальными параметрами комплекса  $p$ . Диаметр внутренней поверхности шарового слоя принят равным 30 мм.

Тогда длина фарфоровой трубки будет 25 мм и ее диаметры — 4 и 10 мм. Внутри трубки спираль из нихрома с диаметром провода 0,5 мм и длиной 500 мм.

Если для анализа принять  $\alpha_1 = 20 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$ , то  $\alpha_1 F_H = 0,0188 \text{ Вт/град}$ ;

$$c\rho v = (c\rho v)_{\text{нихр}} + (c\rho v)_{\text{фарф}} = 4,75 \text{ Дж/град}; \frac{\alpha_1 F_H}{c\rho v} = 0,00396 \text{ 1/с}; p = k \frac{c\rho v}{\alpha_1 F_H} = 0,0396 < 1.$$

При подстановке всех приведенных данных в решение (4) температура нагревателя в начале упорядоченного нестационарного режима равна  $t_{H*} = 582 \text{ }^\circ\text{С}$ . Если необходимое измерение в шаровом слое выполнить в момент  $\tau_* + 10 \cdot 60$ , то температура нагревателя составит  $t_{H(10)} = 584,7 \text{ }^\circ\text{С}$ . За этот промежуток времени нагреватель возьмет 0,444 % энергии.

Процент определялся как разность  $t_{H(10)} - t_{H*}$ , отнесенная к температуре нагревателя при достижении системой полного стационарного состояния

$$t_H^{\text{ст}} = t_T^{\max} + \frac{W}{\alpha_1 F_H}.$$

За период от  $t_{H*}$  до  $t_H^{\text{ст}}$  нагреватель заберет 4,27 % энергии. Если теперь принять коэффициент теплоотдачи большим (например,  $\alpha_1 = 40 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$ ), то неравенство (5) еще более усилится, а температура нагревателя станет меньше ( $t_{H*} = 317 \text{ }^\circ\text{С}$ ). В этом случае нагреватель за период от  $t_{H*}$  до  $t_H^{\text{ст}}$  возьмет 7,3 % энергии. При уменьшении коэффициента теплоотдачи ( $\alpha_1 = 15 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$ ) неравенство (5) еще продолжает соблюдаться, а температура нагревателя становится больше ( $t_{H*} = 755,68 \text{ }^\circ\text{С}$ ). От  $t_{H*}$  до  $t_H^{\text{ст}}$  нагреватель доберет 3,78 %. Таким образом, выполнение опытов на образцах в форме шарового слоя сразу после наступления упорядоченного нестационарного периода нагрева позволяет считать тепловой поток практически постоянным.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалевский В.И., Бойков Г.П. Методы теплового расчета экранной изоляции. М. : Энергия, 1974. 200 с.

1. Kovalevskiy V.I., Boykov G.P. Metodi teplovogo rascheta ekrannoy izolyatsii. M. : Energiya, 1974. 200 s.

Поступила в редакцию в июне 2010

© Бойков А.Г., 2010

УДК 536.24

*Д.Г. Усадский, А.Н. Карпенко, В.М. Фокин*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЯ ЖИДКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ**

Приведены методика, эксперимент, расчет по определению теплопроизводительности нагревателя жидкого теплоносителя в стационарном тепловом режиме.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** теплопроизводительность, нагреватель жидкого теплоносителя.

Provides a methodology that is by definition an experiment calculation of thermal fluid heater with stationary thermal mode.

**К e y w o r d s:** heat transfer, thermal fluid heater.

Экспериментальное определение теплопроизводительности нагревателя жидкого теплоносителя произведено в стационарном тепловом режиме.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

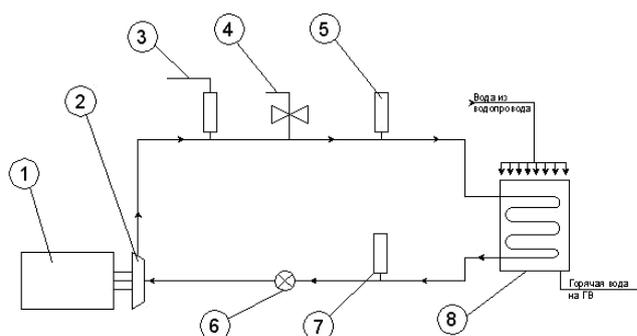


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — электродвигатель; 2 — нагреватель жидкого теплоносителя; 3 — воздушосборник; 4 — предохранительный клапан; 5 — термометр; 6 — счетчик; 7 — термометр; 8 — теплообменник

Электродвигатель 1 номинальной электрической мощностью 18,5 кВт приводит во вращение нагреватель жидкого теплоносителя 2. После нагревателя вода переходит в теплообменник 8, где отдает свою теплоту воде из водопровода. Вода из водопровода подогревается в теплообменнике 8 и поступает в систему горячего водоснабжения.

На экспериментальной установке температуры  $t_1$  и  $t_2$  определены с помощью датчиков температуры КТПТР-01, вычислителя количества теплоты ВКТ-4М, расход воды  $G$  — с помощью преобразователя расхода «Праймер 550-01», потребляемая электрическая мощность электродвигателя — с помощью электрического счетчика «Меркурий 230».

В данной экспериментальной установке для достижения стационарного теплового режима применяется охлаждение теплообменника 8 с помощью водопроводной воды, расход которой устанавливается в ручном режиме с помощью шарового крана.

Замеры температур на входе и выходе из нагревателя  $t_1$  и  $t_2$ , °С, расхода воды  $G$ , м<sup>3</sup>/ч, потребляемой мощности электродвигателя выполнялись с момента пуска установки с интервалом в 2 мин.

На рис. 2 приведены экспериментальные замеры температур  $t_1$  и  $t_2$ , °С, а также потребляемой электрической мощности электродвигателя.

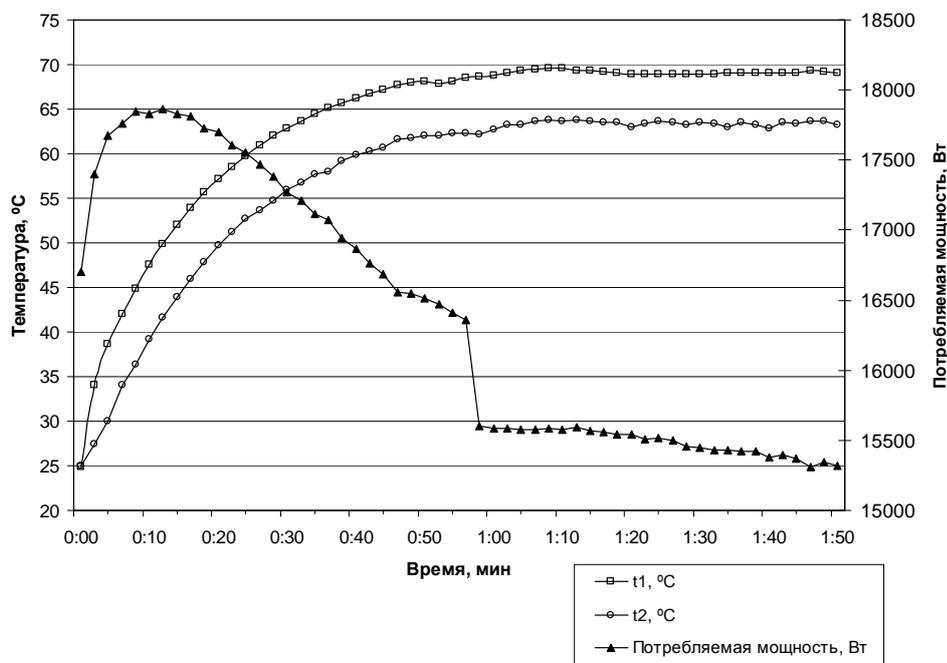


Рис. 2. Результаты экспериментальных исследований

Через 1 ч 10 мин после начала работы установки температура на входе и выходе из нагревателя стабилизируется, т.е. устанавливается стационарный тепловой режим.

Для расчетов теплопроизводительности экспериментальной установки принимаются данные, полученные при работе установки в стационарном тепловом режиме.

Расход воды через нагреватель жидкого теплоносителя  $G$  за все время работы установки остается практически постоянным и составляет 2,86 м<sup>3</sup>/ч, или 0,794 кг/с.

Теплопроизводительность нагревателя жидкого теплоносителя  $Q_{нагр}$ , Вт, определяется по формуле

$$Q_{нагр} = G_{ст} c_v (t_1 - t_2). \quad (1)$$

Для расчета теплопроизводительности определены средние температуры  $t_1$  и  $t_2$ , °С, за период работы экспериментальной установки в стационарном тепловом режиме.

$$Q_{нагр} = 0,794 \cdot 4190 (69,09 - 63,32) = 19191 \text{ Вт.}$$

Коэффициент преобразования энергии в экспериментальной установке определяется по формуле

$$\eta_{\text{нагр}} = \frac{Q_{\text{нагр}}}{Q_{\text{эл.дв}}} 100 \%. \quad (2)$$

По представленным результатам замеров видно, что потребляемая электрическая мощность электродвигателя после выхода экспериментальной установки на стационарный тепловой режим снижается и составляет в среднем 15517 Вт.

Поэтому коэффициент преобразования энергии составляет

$$\eta_{\text{нагр}} = \frac{Q_{\text{нагр}}}{Q_{\text{эл.дв}}} 100 \% = \frac{19191}{15517} 100 \% = 1,24.$$

Далее были проведены экспериментальные исследования на той же установке при другом температурном режиме. Для этого расход воды, охлаждающей теплообменник, был увеличен в ручном режиме. На рис. 3 приведены экспериментальные замеры температур  $t_1$  и  $t_2$ , °С, а также потребляемой электрической мощности электродвигателя в измененном режиме с увеличенным расходом воды на горячее водоснабжение.

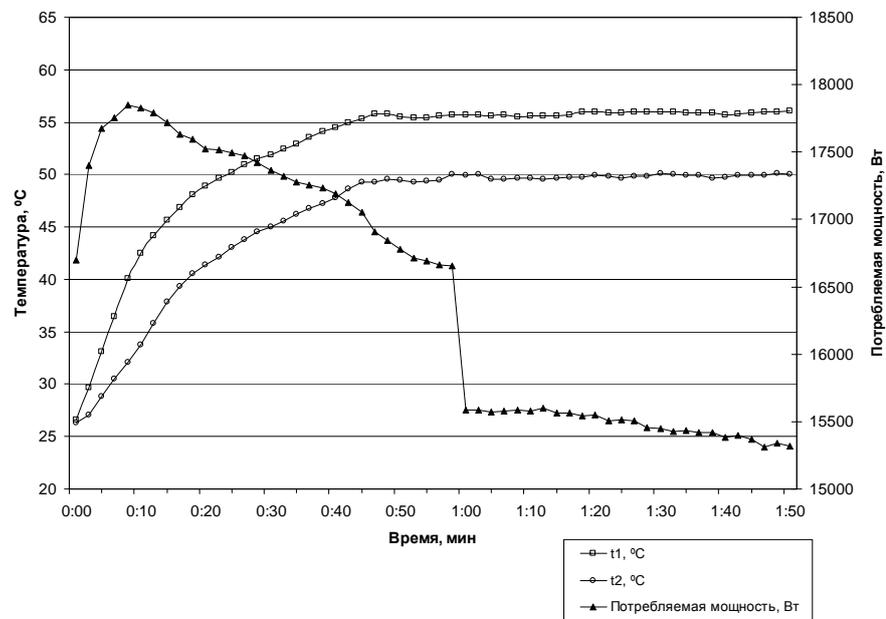


Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований

На представленном графике видно, что температуры  $t_1$  и  $t_2$  ниже, чем в первом эксперименте. Однако при установившемся стационарном тепловом режиме разница между  $t_1$  и  $t_2$  почти такая же, как и в первом эксперименте. Расход воды через нагреватель жидкого теплоносителя  $G$  за все время работы установки, как и в первом эксперименте, остается практически постоянным и составляет  $2,84 \text{ м}^3/\text{ч}$ , или  $0,788 \text{ кг/с}$ .

Как и в первом эксперименте, потребляемая электрическая мощность электродвигателя после выхода экспериментальной установки на стационарный тепловой режим снижается и составляет в среднем 15766 Вт.

Теплопроизводительность с учетом средних температур  $t_1$  и  $t_2$ , °С, за период работы экспериментальной установки в стационарном тепловом режиме

$$Q_{\text{нагр}} = 0,788 \cdot 4190(55,77 - 49,78) = 19822.$$

Поэтому коэффициент преобразования энергии во втором эксперименте составляет

$$\eta_{\text{нагр}} = \frac{Q_{\text{нагр}}}{Q_{\text{эл.дв}}} 100 \% = \frac{19822}{15766} 100 \% = 1,25 .$$

По результатам двух экспериментов видно, что при разных температурах  $t_1$  и  $t_2$  в стационарных тепловых режимах установки коэффициент преобразования энергии составляет примерно 1,25.

Данная установка также испытывалась в работе с применением в качестве теплоносителей антифризов, масел, различных нефтепродуктов.

Полученные данные не идут в разрез с законом сохранения энергии, так как в данной установке нагреватель жидкого теплоносителя работает в качестве теплового насоса. Об этом может свидетельствовать тот факт, что при работе нагревателя жидкого теплоносителя температура окружающей среды вокруг него несколько уменьшается.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М. : Машиностроение, 1969. 182 с.

1. Merkulov A.P. Vihrevooy effect i ego primeneniye v tehnikе. М. : Mashinostroyeniye, 1969. 182 s.

© Усадский Д.Г., Карпенко А.Н., Фокин В.М., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010

УДК 536.24

**А.В. Ковылин, В.М. Фокин**

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ, ТЕПЛОУСВОЕНИЯ, ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИИ, ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ И ОБЪЕМНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Приведены экспериментальные установки, методика и расчет по определению теплофизических свойств строительных и теплоизоляционных материалов методом упорядоченного теплового режима и методом неразрушающего контроля с использованием измерителя теплопроводности ИТП-МГ4.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** теплоизоляция, теплофизические свойства, коэффициент теплопроводности, коэффициент теплоусвоения, тепловая инерция, коэффициент температуропроводности, коэффициент объемной теплоемкости.

Experimental installations, technique and calculation by definition of the thermal-physical properties building and the thermal protection materials by a method of the ordered thermal mode and a method of not destroying control with use of a measuring instrument of heat conductivity ИТП-МГ4 are resulted.

**К e y w o r d s:** thermal protection, thermal-physical properties, heat conductivity factor, heat absorption coefficient, thermal inertia, thermal diffusivity, factor a volume thermal capacity.

Исследования теплофизических свойств (ТФС) строительных и теплоизоляционных материалов проводились на установках, разработанных на кафедре энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ методом упорядоченного теплового режима и методом неразрушающего контроля с использованием измерителя теплопроводности ИТП-МГ4.

Для определения ТФС теплоизоляции методом упорядоченного теплового режима и методом неразрушающего контроля использовался измеритель теплопроводности ИТП-МГ4. Принципиальная схема установки приведена на рис. 1.

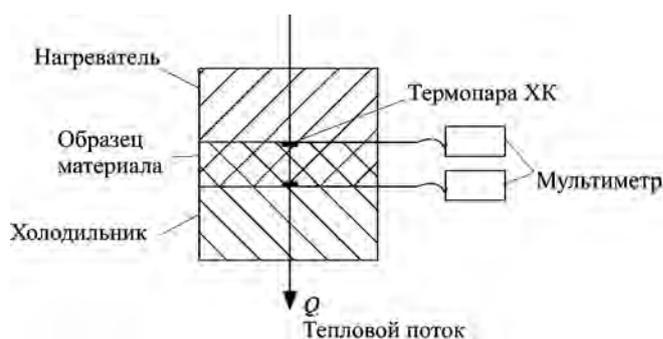


Рис. 1. Принципиальная схема установки для определения ТФС исследуемых материалов методом неразрушающего контроля и методом упорядоченного теплового режима

Для определения коэффициентов теплопроводности, теплоусвоения, тепловой инерции, температуропроводности и объемной теплоемкости была выбрана облицовочная плитка размерами 250×250×22 мм. Образец разме-

щался между нагревателем и холодильником. Плотность образца составляет  $\rho = 2326,4 \text{ кг/м}^3$ , площадь поверхности образца  $F = 0,0625 \text{ м}^2$ . Для измерения температур в центре  $T_{\text{ц}}$  и на поверхности  $T_{\text{п}}$  образца установлены две термопары хромель-копель (ХК) на расстоянии  $R = 0,022 \text{ м}$ .

На рис. 2 приведены распределения температур на поверхности  $T_{\text{п}}$  и центра  $T_{\text{ц}}$  в зависимости от времени  $\tau$  нагрева, а также показан температурный комплекс  $\Phi$ , рассчитанный по формуле (2).

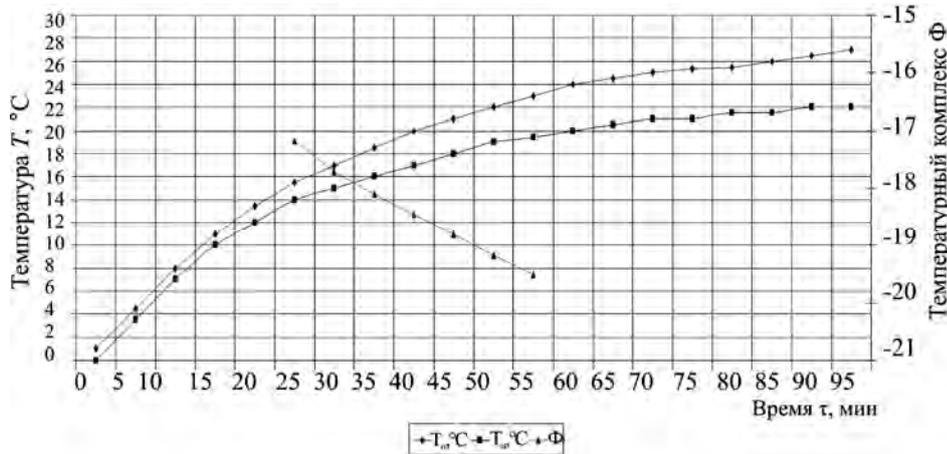


Рис. 2. Распределения температур на поверхности  $T_{\text{п}}$  и центре  $T_{\text{ц}}$  в зависимости от времени  $\tau$  нагрева и температурный комплекс  $\Phi$

При проведении опыта получены следующие значения: удельный тепловой поток  $q = 312 \text{ Вт/м}^2$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,31 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ , время проведения опыта  $z = 5400 \text{ с}$ .

Упорядоченный тепловой режим — это режим, когда при нагреве или охлаждении образца определенный температурный комплекс  $\Phi$  начинает изменяться во времени по линейному закону. Коэффициент температуропроводности материала определяется методом упорядоченного теплового режима [1] по формуле

$$a_{25-55} = \frac{R^2 \Delta \Phi}{2,47 \Delta \tau}, \tag{1}$$

где  $R$  — толщина между термопарами на образце, м;  $\Phi$  — температурный комплекс;  $\tau$  — время упорядоченного теплового режима, с.

Температурный комплекс рассчитывается по формуле [1]

$$\Phi = \ln \Delta T - 1,23 \int \frac{dT_{\text{п}}}{T_{\text{п}} - T_{\text{ц}}}, \tag{2}$$

где  $\Delta T = T_{\text{п}} - T_{\text{ц}}$  — разность температур между поверхностью и центром плитки;  $T_{\text{п}}$ ,  $T_{\text{ц}}$  — температура поверхности и центра плитки соответственно, °C.

Температуропроводность  $a$  определяется по формуле (1) и численно равна

$$a_{25-55} = [0,022^2(-17,173 - (-19,495))] / [2,47(55 - 25)60] = 0,238 \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

Объемная теплоемкость облицовочной плитки определяется из соотношения

$$c_p = \lambda / a = 0,31 / 0,238 \cdot 10^{-6} = 1303 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}). \quad (3)$$

Тепловая инерция плитки рассчитывается в соответствии с [2] по формуле

$$\lambda c_p = 0,31 \cdot 1303 \cdot 10^3 = 0,404 \cdot 10^6 \text{ Дж}^2/(\text{с} \cdot \text{м}^4 \cdot \text{К}^2). \quad (4)$$

Определение ТФС облицовочной плитки методом неразрушающего контроля сводится к следующей последовательности. Максимальная амплитуда колебаний температурной волны, °С, при нагреве образца на наружной поверхности плитки численно равна [3]

$$\vartheta_{\text{п}} = 0,5(t_1 - t_2) = 0,5(27 + 4) = 15,5, \quad (5)$$

где  $t_1 = 27 \text{ °С}$  — максимальная температура поверхности плитки;  $t_2 = -4 \text{ °С}$  — минимальная температура поверхности плитки.

Коэффициент теплоусвоения плитки определяется по формуле [3]

$$B = q_{\text{п}} / \vartheta_{\text{п}} = 312 / 15,5 = 20,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (6)$$

где  $q_{\text{п}}$  — удельный тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>;  $\vartheta_{\text{п}}$  — максимальная амплитуда колебаний температурной волны на наружной поверхности плитки.

Объемная теплоемкость плитки определяется из соотношения [3]

$$c_p = \left( B^2 z \right) / (\lambda 2\pi) = (432,6 \cdot 5400) / (0,31 \cdot 2 \cdot 3,14) = 1200 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}). \quad (7)$$

Коэффициент температуропроводности облицовочной плитки  $a$ , м<sup>2</sup>/с, определяется из соотношения (8) и составляет

$$a = \lambda / c_p = 0,31 / 1200000 = 0,258 \cdot 10^{-6}. \quad (8)$$

Тепловая инерция облицовочной плитки  $b$ , Дж<sup>2</sup>/(с · м<sup>4</sup> · К<sup>2</sup>), рассчитывается в соответствии с [2] по формуле

$$\lambda c_p = 0,31 \cdot 1200 \cdot 10^3 = 0,372 \cdot 10^6. \quad (9)$$

Рассчитанные значения коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , объемной теплоемкости  $c_p$ , коэффициента температуропроводности  $a$ , тепловой инерции для упорядоченного теплового режима и метода неразрушающего контроля приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Теплофизические свойства облицовочной плитки

Параметры	Метод упорядоченного теплового режима	Метод неразрушающего контроля	Расхождение параметров, %
Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)	0,31	0,31	0
Коэффициент температуропроводности $a$ , м <sup>2</sup> /с	$0,238 \cdot 10^{-6}$	$0,258 \cdot 10^{-6}$	0,7
Объемная теплоемкость $c_p$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)	1300	1200	1,93
Тепловая инерция $b$ , Дж <sup>2</sup> /(с·м <sup>4</sup> ·К <sup>2</sup> )	$0,40 \cdot 10^6$	$0,37 \cdot 10^6$	1,94

Аналогично были проведены эксперименты и произведен расчет иско-  
мых коэффициентов для оргстекла и изоляции «мастика».

Образец из оргстекла имеет размер  $250 \times 250 \times 28,4$  мм и площадь по-  
верхности  $F = 0,0625$  м<sup>2</sup>.

При проведении опыта получены следующие значения: удельный тепло-  
вой поток  $q = 160$  Вт/м<sup>2</sup>, коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,182$  Вт/(м·К),  
время проведения опыта  $z = 5400$  с.

По методу неразрушающего контроля максимальная амплитуда колеба-  
ний температурной волны при нагреве образца на наружной поверхности орг-  
стекла численно равна [1]

$$\vartheta_{\text{п}} = 0,5(t_1 - t_2) = 0,5(35 - 18) = 8,5 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (10)$$

где  $t_1 = 35$  °С — максимальная температура поверхности оргстекла;  
 $t_2 = 18$  °С — минимальная температура поверхности оргстекла.

Коэффициент теплоусвоения оргстекла, Вт/(м<sup>2</sup>·К), определяется по фор-  
муле [3]

$$B = q_{\text{п}} / \vartheta_{\text{п}} = 160 / 8,5 = 18,8, \quad (11)$$

где  $q_{\text{п}}$  — удельный тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>;  $\vartheta_{\text{п}}$  — максимальная амплитуда  
колебаний температурной волны на наружной поверхности оргстекла.

Объемная теплоемкость оргстекла, кДж/(м<sup>3</sup>·К), определяется из соотно-  
шения [1]

$$c_{\text{р}} = (B^2 z) / (\lambda 2\pi) = (353,4 \cdot 5400) / (0,182 \cdot 2 \cdot 3,14) = 1670. \quad (12)$$

Коэффициент температуропроводности оргстекла определяется из соот-  
ношения (13) и составляет

$$a = \lambda / (c_{\text{р}}) = 0,182 / 1670000 = 0,109 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}. \quad (13)$$

Тепловая инерция оргстекла  $b$ , Дж<sup>2</sup>/(с·м<sup>4</sup>·К<sup>2</sup>), рассчитывается в соответ-  
ствии с [2] по формуле

$$\lambda c_{\text{р}} = 0,182 \cdot 1670 \cdot 10^3 = 0,30 \cdot 10^6. \quad (14)$$

Рассчитанные значения коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , объемной  
теплоемкости  $c_{\text{р}}$ , коэффициента температуропроводности  $a$  для метода не-  
разрушающего контроля приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Теплофизические свойства оргстекла

Параметры	Метод неразру- шающего контроля	Табличные значения	Расхождение параметров, %
Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)	0,182	0,185	1,6
Коэффициент температуропровод- ности $a$ , м <sup>2</sup> /с	$0,109 \cdot 10^{-6}$	$0,12 \cdot 10^{-6}$	9,2
Объемная теплоемкость $c_{\text{р}}$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)	1670	1500	11,3
Тепловая инерция $b$ , Дж <sup>2</sup> /(с·м <sup>4</sup> ·К <sup>2</sup> )	$0,30 \cdot 10^6$	$0,28 \cdot 10^6$	6,7

Определение ТФС образца изоляции «мастика» размером  $250 \times 250 \times 6$  мм, площадью  $F = 0,0625$  м<sup>2</sup> и плотностью  $\rho = 390$  кг/м<sup>3</sup> проводили двумя методами.

При проведении опыта получены следующие значения: удельный тепловой поток  $q = 220$  Вт/м<sup>2</sup>, коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,068$  Вт/(м·К), время проведения опыта  $z = 5400$  с.

Коэффициент температуропроводности материала определяется методом упорядоченного теплового режима [1] по формуле

$$a_{6-12} = \frac{R^2 \Delta \Phi}{2,47 \Delta \tau}, \quad (15)$$

где  $R$  — толщина между термопарами на образце, мм;  $\Phi$  — температурный комплекс;  $\tau$  — время упорядоченного теплового режима, с.

Температурный комплекс рассчитывается по формуле [1]

$$\Phi = \ln \Delta T - 1,23 \int \frac{dT_{\text{п}}}{T_{\text{п}} - T_{\text{ц}}}, \quad (16)$$

где  $\Delta T = T_{\text{п}} - T_{\text{ц}}$  — разность между температурой поверхности и центра изоляции «мастика», °С.

Температуропроводность  $a$ , м<sup>2</sup>/с, определяется по формуле (1) и численно равна

$$a_{6-12} = [0,0060^2(0,147 - (-0,589))] / [2,47(12 - 6)60] = 0,0298 \cdot 10^{-6}.$$

Объемная теплоемкость изоляции «мастика»  $c_{\text{р}}$ , кДж/(м<sup>3</sup>·К), определяется из соотношения

$$c_{\text{р}} = \lambda / a = 0,068 / 0,0298 \cdot 10^{-6} = 2281. \quad (17)$$

Тепловая инерция изоляции «мастика»  $b$ , Дж<sup>2</sup>/(с·м<sup>4</sup>·К<sup>2</sup>), рассчитывается в соответствии с [2] по формуле

$$\lambda c_{\text{р}} = 0,068 \cdot 2281 \cdot 10^3 = 0,155 \cdot 10^6. \quad (18)$$

Определение ТФС теплоизоляции методом неразрушающего контроля сводится к следующей последовательности. Максимальная амплитуда колебаний температурной волны при нагреве образца на наружной поверхности теплоизоляции численно равна [3]

$$\vartheta_{\text{п}} = 0,5(t_1 - t_2) = 0,5(27,2 + 6,1) = 16,6, \quad (19)$$

где  $t_1 = 27,2$  °С — максимальная температура поверхности изоляции «мастика»;  $t_2 = -6,1$  °С — минимальная температура поверхности изоляции «мастика».

Коэффициент теплоусвоения изоляции «мастика»  $B$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), определяется по формуле [3]

$$B = q_{\text{п}} / \vartheta_{\text{п}} = 220 / 16,6 = 13,3, \quad (20)$$

где  $q_{\text{п}}$  — удельный тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>;  $\vartheta_{\text{п}}$  — максимальная амплитуда колебаний температурной волны на наружной поверхности изоляции «мастика».

Объемная теплоемкость изоляции «мастика»  $c_p$ , кДж/(м<sup>3</sup>·К), определяется из соотношения [3]

$$c_p = \left( B^2 z \right) / (\lambda 2\pi) = (176,9 \cdot 5400) / (0,068 \cdot 2 \cdot 3,14) = 2237. \quad (21)$$

Коэффициент температуропроводности изоляции «мастика»  $a$ , м<sup>2</sup>/с, определяется из соотношения (22)

$$a = \lambda / c_p = 0,068 / 2237000 = 0,030 \cdot 10^{-6}. \quad (22)$$

Тепловая инерция изоляции «мастика»  $\lambda c_p$ , Дж<sup>2</sup>/(с·м<sup>4</sup>·К<sup>2</sup>), рассчитывается в соответствии с [2] по формуле

$$\lambda c_p = 0,068 \cdot 2237 \cdot 10^3 = 0,152 \cdot 10^6. \quad (23)$$

Рассчитанные значения коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , объемной теплоемкости  $c_p$ , коэффициента температуропроводности  $a$ , тепловой инерции для упорядоченного теплового режима и метода неразрушающего контроля приведены в табл. 3.

Таблица 3

Теплофизические свойства изоляции «мастика»

Параметры	Метод упорядоченного теплового режима	Метод неразрушающего контроля	Расхождение параметров, %
Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)	0,068	0,068	—
Коэффициент температуропроводности $a$ , м <sup>2</sup> /с	$0,0298 \cdot 10^{-6}$	$0,030 \cdot 10^{-6}$	0,7
Объемная теплоемкость $c_p$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)	2281	2237	1,93
Тепловая инерция $b$ , Дж <sup>2</sup> /(с·м <sup>4</sup> ·К <sup>2</sup> )	$0,155 \cdot 10^6$	$0,152 \cdot 10^6$	1,94

Предложенные методики определения ТФС плитки позволяет достаточно точно определить коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , объемную теплоемкость  $c_p$ , коэффициент температуропроводности  $a$ , тепловой инерции методом упорядоченного теплового режима и методом неразрушающего контроля. Метод не требует значительных затрат электроэнергии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Определение теплофизических свойств строительных материалов : монография / Г.П. Бойков, Ю.В. Видин, В.М. Фокин, О.В. Шаронова. Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. 172 с.
2. ГОСТ Р 51337—99. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей.
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.

1. Opredeleniye teplofizicheskikh svoystv stroitel'nykh materialov : monografiya / G.P. Boykov, Yu.V. Vidin, V.M. Fokin, O.V. Sharonova. Krasnoyarsk : Izd-vo Krasnoyar. Un-ta, 1992. 172 s.
2. GOST R 51337—99. Temperatury kasayemykh poverhnostey. Ergonomicheskiye dannye dlya ustanovleniya predel'nykh velichin goryachih poverhnostey.
3. Fokin V.M., Kovylin A.V. Teoreticheskiye osnovy opredeleniya teploprovodnosti, obymnoy teployomkosti i temperaturoprovodnosti materialov po teplovym izmereniyam na poverhnosti metodom nerazrushayushchego kontrolya // Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arhit. 2009. Vyp. 14(33). S. 123—127.

© Ковылин А.В., Фокин В.М., 2010

Поступила в редакцию в июне 2010

УДК 687.921.45

**В.Г. Диденко, А.С. Остриков, С.В. Беломутенко**

### **ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ ПРИТОЧНОЙ СТРУИ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ КОНФИГУРАЦИЕЙ**

Рассмотрены вопросы оценки параметрических характеристик развития трансформируемых приточных вентиляционных струй, эффективность применения метода эквивалентной задачи к описанию закономерностей развития трехмерных струй. Одним из наиболее сложных случаев является их истечение из воздухораспределителей с изменяющейся конфигурацией струи в начальном сечении.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** приточные вентиляционные струи, трехмерные струи, воздухо-распределитель, вентиляция.

The authors considered the issues of assessment of parametric features of transformable ventilating supply air jet development, effectiveness of application of equivalent problem method to the description of development regularities of three-dimensional jets. One of the most complex cases is their outflow from air distributors with the changing configuration jet in the initial cross-section.

**К e y w o r d s:** ventilating supply air jet, three-dimensional jets, air distributors.

Среди расчетных схем, предлагаемых для описания закономерности развития приточных струй, все большее распространение получают методы, основанные на замене уравнений пограничного слоя линейными уравнениями типа теплопроводности. Особое значение для инженерных приложений приобрел метод эквивалентной задачи теории теплопроводности, теоретические положения которого сформулированы и развиты Л.А. Вулисом [2]. Его сущность заключается в соответствующем математическом преобразовании переменных, при котором на основании экспериментально установленной связи между старыми и новыми независимыми переменными осуществляется переход от физической плоскости переменных к фиктивной, в которой уравнения линейны. Применительно к прикладной задаче распространения автотельных трехмерных струй данный метод сводится к определению связи между физическим и фиктивным пространством лишь для одной продольной координаты  $\gamma(x)$ . Остальные две координаты в первом приближении принимаются совпадающими соответственно с координатами  $y$  и  $z$ .

Приложение данного метода к решению задачи распространения трехмерных струй было получено И.Б. Палатником и Д.Д. Темирбаевым для струи, истекающей из отверстия прямоугольного сечения. Однако его недостатком является необходимость установления зависимости между физическим и фиктивным пространством от соотношения сторон выпускного отверстия, что требует введения дополнительной эмпирической константы. Позднее И.А. Шепелев и Н.А. Гельман [3] для тех же условий истечения струи получили решение, в котором связь между физической и фиктивной плоскостями устанавливалась введением лишь одной опытной константы. Сопоставление опытных и расчетных данных в обоих случаях показало высокую степень точности полученных формул.

Таким образом, эффективность применения метода эквивалентной задачи к описанию закономерностей развития трехмерных струй вполне очевидна и он может быть применен для решения поставленной задачи.

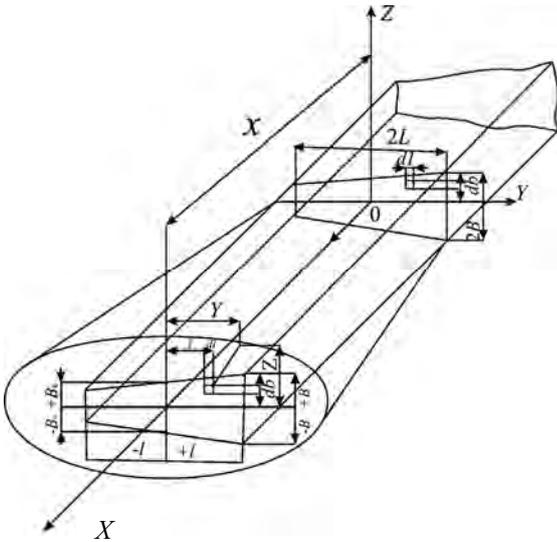


Рис. 1. Схема струи, истекающей из отверстия трапецеидальной формы

выпускного отверстия. Обозначим стороны элементарных квадратов, параллельные осям  $OZ$  и  $OY$ , соответственно  $db$  и  $dl$ .

На основании известного решения Г. Райхардта скорость газа в произвольной точке осесимметричной струи определяется уравнением

$$u^2 = u_x^2 e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{r}{cx} \right)^2}, \quad (1)$$

где  $u_x$  — скорость на оси струи, м/с;  $r$  — расстояние между произвольной точкой и осью струи, м;  $c$  — опытная константа, принимаемая по Г.Н. Абрамовичу равной 0,22;  $x$  — абсцисса произвольного поперечного сечения струи, м [1].

Поскольку изменение скорости газа вдоль оси струи носит линейный характер и подчиняется зависимости

$$u_x = \frac{\text{const}}{x}, \text{ то } u^2 = \frac{\text{const}^2}{x^2} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{r}{cx} \right)^2}.$$

Величина  $\text{const}$  в выражении представляет собой кинематическую характеристику струи, понятие которой было введено И.А. Шепелевым [3],

$$\text{const} = M = \frac{I}{c\sqrt{\pi}} \frac{I}{\sqrt{\rho}} \sqrt{J_0}, \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность газа в пространстве, в которое происходит истечение, кг/м<sup>3</sup>;  $J_0 = \rho_0 u_0^2 F_0$  — полное количество движения (импульс) массы газа в плоскости начального сечения струи ( $x = 0$ ), кг · м/с<sup>2</sup>.

Принимая в первом приближении плотность газа в начальном сечении струи  $\rho_0$  равной плотности газа пространства, в которое происходит истечение  $\rho$ , представим выражение в виде

Представим, что из воздухораспределителя происходит истечение трехмерных струй с начальным сечением в форме равнобокой трапеции с высотой  $2l$ , средней линией  $2b_0$  и большим основанием  $2b$  в направлении оси системы координат, начало которой совмещено с плоскостью выпускного отверстия, со скоростью  $u_0$  истекает струя несжимаемого газа.

Рассмотрим эту струю как результат взаимодействия множества элементарных осесимметричных струй, точечными источниками которых являются центры элементарных квадратов, составляющих плоскость

$$\text{const} = \frac{u_0 \sqrt{F_0}}{c \sqrt{\pi}}. \quad (3)$$

Подставим это выражение в формулу, имеем

$$u^2 = u_0^2 \frac{F_0}{\pi c^2 x^2} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{r}{cx} \right)^2}. \quad (4)$$

Справедливо предположить, что любая элементарная осесимметричная струя, подчиняясь зависимости, создаст в произвольной точке пространства с координатами  $x, y, z$  элементарную скорость (квадрат скорости), определяемую из выражения

$$du^2 = \frac{u_0^2}{\pi c^2 x^2} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{r}{cx} \right)^2} dl db, \quad (5)$$

где  $r$  — расстояние от произвольной точки струи до проекции элементарной площадки на произвольное поперечное сечение струи, определяемое соотношением

$$r^2 = (y-l)^2 + (z-b)^2. \quad (6)$$

Результирующая скорость газа от взаимодействия всех элементарных струй, источники которых непрерывно заполняют приточное отверстие, в любой произвольно заданной точке пространства определится путем двойного интегрирования выражения по  $l$  в пределах от  $-L$  до  $+L$  и по  $b$  в пределах от  $-B = -B_0 - Ltga$  до  $+B = B_0 + Ltga$ , т.е.

$$u^2 = \frac{u_0^2}{\pi c^2 x^2} \int_{-L}^L \int_{-B}^B e^{-\frac{(y-l)^2 + (z-b)^2}{2c^2 x^2}} dl db = \frac{u_0^2}{\pi c^2 x^2} \int_{-L}^L \left[ \int_{-B}^B e^{-\frac{(y-l)^2}{2(cx)^2}} e^{-\frac{(z-b)^2}{2(cx)^2}} db \right] dl. \quad (7)$$

Преобразуем второй сомножитель, выделенный квадратными скобками, через интеграл вероятности. Для этого обозначим  $l / (cx) = q$  и  $z - b = t$ , тогда  $b = z - t$ , а  $db = -dt$ .

Новыми пределами интегрирования будут  $t_1 = z + B_0 + Ltga$  и  $t_2 = z - B_0 - Ltga$ .

Производя замену, получим

$$\int_{-B}^B e^{-\frac{(z-b)^2}{2(cx)^2}} db = \frac{cx \sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \left[ \text{erf} \frac{z - B_0 - Ltga}{cx} + \text{erf} \frac{z + B_0 + Ltga}{cx} \right]. \quad (8)$$

Проведем аналогичные преобразования для второго сомножителя, обозначив  $y - l = t$ ,  $l = y - t$ ,  $dl = -dt$ ,  $t_1 = y - L$ ,  $t_2 = y + L$ :

$$\int_{-L}^L e^{-\frac{(y-l)^2}{2(cx)^2}} dl = - \int_{y+L}^{y-L} e^{-\frac{1}{2}(qt)^2} dt = \frac{cx \sqrt{x}}{\sqrt{2}} \left[ \text{erf} \frac{L+y}{cx} + \text{erf} \frac{L-y}{cx} \right].$$

В результате проведенных преобразований окончательно имеем

$$u_x = u_0 \sqrt{0,5 \text{erf} \left[ \frac{L+y}{cx} + \text{erf} \frac{L-y}{cx} \right] \left[ \text{erf} \frac{B_0 + Ltga + z}{cx} + \text{erf} \frac{B_0 - Ltga - z}{cx} \right]}, \quad (9)$$

где  $\operatorname{erf} t = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{z}} dt$  — функция Лапласа.

Принимая  $y = 0$  и  $z = 0$ , из выражения (9) получим формулу, определяющую закон изменения скорости вдоль оси струи, истекающей из отверстия трапецеидального сечения,

$$u_x = u_0 \sqrt{2 \left[ \operatorname{erf} \frac{L}{cx} \right] \left[ \operatorname{erf} \frac{B_0 + L \operatorname{tg} \alpha + z}{cx} \right]}. \quad (10)$$

На основе того же методологического подхода получена расчетная зависимость, описывающая особенность исследований Г. Райхардта и Г.Н. Абрамовича. Установлено, что между распределением температуры и скорости в струе существует прямая связь, хорошо передающаяся законом

$$\frac{T}{T_x} = \left( \frac{u}{u_x} \right)^2, \quad (11)$$

где  $T$  — избыточная температура в произвольной точке рассматриваемого сечения струи, °С;  $T_x$  — избыточная температура на оси струи в рассматриваемом сечении, °С.

Из выражения (11) следует

$$T^2 = T_x^2 e^{-\frac{1}{4} \left( \frac{r}{cx} \right)^2}. \quad (12)$$

Так как закон падения избыточной температуры вдоль оси струи круглого сечения носит линейный характер

$$T_x = \frac{\operatorname{const}}{x},$$

то

$$T^2 = \frac{\operatorname{const}^2}{x^2} e^{-\frac{1}{4} \left( \frac{r}{cx} \right)^2}. \quad (13)$$

Величина  $\operatorname{const}$  в выражении (13) по И.А. Шепелеву представляет собой тепловую характеристику струи:

$$\operatorname{const} = N = \frac{3}{4c\sqrt{\pi}} \frac{I}{gC_p\sqrt{\rho}} \frac{Q_0}{\sqrt{J_0}}, \quad (14)$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $C_p$  — теплоемкость воздуха.

Проводя соответствующие преобразования, представим выражение (14) в следующем виде:

$$\operatorname{const} = \frac{3T_0 F_0}{4c\sqrt{\pi F_0}}.$$

Подставляя это выражение в формулу (13), получим исходное уравнение для определения избыточной температуры воздуха в произвольной точке осесимметричной струи

$$T^2 = T_0^2 \left( \frac{I + \sigma}{2} \right)^2 \frac{F_0}{\pi c^2 x^2} e^{-\frac{6}{4} \left( \frac{r}{cx} \right)^2}, \quad (15)$$

где  $\sigma$  — отношение коэффициента турбулентного обмена импульса к коэффициенту турбулентного обмена тепла, экспериментально установленное значение которого для осесимметричных и плоских струй составляет 0,5.

Решая соответственно уравнения (4) и (15), определим произведение скорости и избыточной температуры в произвольной точке осесимметричной струи

$$uT = u_0 T_0 \frac{I + \sigma}{2\pi c^2 x^2} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{I + \sigma}{2} \right) \left( \frac{r}{cx} \right)^2} dl db. \quad (16)$$

Проинтегрируем уравнение (16) по  $l$  в пределах от  $-L$  до  $L$  и по  $B$  в пределах  $-B = -B - Ltg \alpha$  до  $B = B + Ltg \alpha$ :

$$\begin{aligned} uT &= \frac{u_0 T_0 (I + \sigma)}{2\pi c^2 x^2} \int_{-L}^L \int_{-B}^B e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{I + \sigma}{2} \right) \left( \frac{r}{cx} \right)^2} dl db = \\ &= \frac{u_0 T_0 (I + \sigma)}{2\pi c^2 x^2} \int_{-L}^L \left[ e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{I + \sigma}{2} \right) \frac{(y-l)^2}{(cx)^2}} \int_{-B}^B e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{I + \sigma}{2} \right) \frac{(z-b)^2}{(cx)^2}} db \right] dl. \end{aligned} \quad (17)$$

Преобразуем второй сомножитель, заключенный в квадратные скобки, обозначив  $\left( \frac{1}{cx} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \right) = S$  и  $z - b = t$ . Следовательно,  $b = z - t$ , а  $db = -dt$ .

Новыми пределами интегрирования теперь станут  $t_1 = z + B_0 + Ltg \alpha$  и  $t_2 = z - B_0 - Ltg \alpha$ , произведя замену, будем иметь

$$\begin{aligned} \int_{-B}^B e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{I + \sigma}{2} \right) \frac{(z-b)^2}{(cx)^2}} db &= \frac{cx\sqrt{\pi}}{1 + \sigma} \left[ \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{z + B_0 + Ltg \alpha}{cx} + \right. \\ &\quad \left. + \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{z - B_0 - Ltg \alpha}{cx} \right]. \end{aligned} \quad (18)$$

Аналогично преобразуем первый сомножитель, приняв  $y - l = t$ ,  $l = y - t$ ,  $dl = -dt$ ,  $t_1 = y + L$  и  $t_2 = y - L$ :

$$\int_{-L}^L e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{I + \sigma}{2} \right) \frac{(y-l)^2}{(cx)^2}} dl = \frac{cx\sqrt{\pi}}{I + \sigma} \left[ \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{L + y}{cx} + \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{L - y}{cx} \right]. \quad (19)$$

Окончательный результат будет

$$\begin{aligned} uT &= \frac{u_0 T_0}{2(I + \sigma)} \left[ \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{L + y}{cx} + \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{L - y}{cx} \right] \times \\ &\quad \times \left[ \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{B_0 + Ltg \alpha + z}{cx} + \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{B_0 + Ltg \alpha - z}{cx} \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

Разделив выражение (20) на выражение (9), получим формулу для определения избыточной температуры в произвольной точке струи, истекающей из отверстия трапецидального сечения

$$T = \frac{T_0}{2(I + \sigma)} \frac{\left[ \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{L + y}{cx} + \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{L - y}{cx} \right]}{\sqrt{0,5 \left[ \operatorname{erf} \frac{L + y}{cx} + \operatorname{erf} \frac{L - y}{cx} \right]}} \times \frac{\left[ \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{B_0 + Ltga + z}{cx} + \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{B_0 + Ltga - z}{cx} \right]}{\sqrt{\operatorname{erf} \frac{B_0 + Ltga + z}{cx} + \operatorname{erf} \frac{B_0 + Ltga - z}{cx}}}. \quad (21)$$

Принимая условие  $y = 0$ ,  $z = 0$  из выражения (21), получим зависимость, определяющую закон изменения избыточной температуры вдоль оси струи, истекающей из отверстия трапецидальной формы:

$$T = \frac{2T_0}{(I + \sigma)} \frac{\left[ \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{L}{cx} \right] \left[ \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I + \sigma}{2}} \frac{B_0 + Ltga}{cx} \right]}{\sqrt{2 \left[ \operatorname{erf} \frac{L}{cx} \right] \left[ \operatorname{erf} \frac{B_0 + Ltga}{cx} \right]}}. \quad (22)$$

Формулы (9), (10), (21), (22) позволяют определить скорость и избыточную температуру в любой произвольной точке сечения струи и на ее оси и тем самым достаточно полно охарактеризовать распространение свободной струи с начальным сечением трапецидальной формы. С учетом известных результатов анализа для струи с прямоугольным начальным сечением это является основой расчета и аппаратного оформления подачи воздуха трансформируемыми приточными струями.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абрамович Г.Н.* Теория турбулентных струй. М. : Физматгиз, 1960. 715 с.
2. *Вулис Л.А.* К расчету свободных турбулентных течений с помощью эквивалентной задачи теплопроводности // Изв. АН КазССР. Сер. Энергетическая. 1960. Вып. 2(18). С. 34—37.
3. *Шепелев И.А., Гельман Н.А.* Универсальные формулы для расчета скорости и температуры вентиляционных струй, истекающих из прямоугольных отверстий // Водоснабжение и санитарная техника. 1966. № 2. С. 23—26.

1. *Abramovich G.N.* Teoria tyrbulentnix stryiy. M. : Fizmatgiz, 1960. 715 s.
2. *Vylis L.A.* K raschetu svobodnix tyrbulentnix techeniy s pomoschyu ekvivalentnoy zadachi teploprovodnosti // Izv. ANKazSSR Ser. Energeticheskay. Vip. 2(18). 1960. S. 34—37.
3. *Shepelev I.A., Gelman N.A.* Yniversalnie formuli dla rascheta skorosti i temperatury ventilacionnix struy, istekausix iz pramoymolnix otverstiy // Vodosnabgenie i sanitarnay texnika. 1966. № 2. S. 23—26.

© Диденко В.Г., Остриков А.С., Беломутенко С.В., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010

УДК 621.928

**О.В. Шубин, В.Г. Диденко, С.И. Голубева**

### **МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕВОГО ОТСОСА МЕСТНОЙ ЛОКАЛИЗУЮЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

Рассмотрены условия интенсификации эффекта локализации вредностей на основе модели вихревой инъекции, определены оптимальные условия аппаратурного оформления местного вихревого отсоса.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** газоочистка, местная локализующая вентиляция, вихревая инъекция.

The authors considered intensification conditions of localization of harmfulness on the basis of eddy injection model and defined optimal conditions and mechanization of local eddy exhaust.

**К e y w o r d s:** gas purification, local exhaust ventilation, eddy injection.

Техногенным источником загрязнения воздушной среды является оборудование, выделяющее вредные вещества под воздействием внутреннего избыточного давления, молекулярной и турбулентной диффузии, сдува и конвективного переноса пыли, а также испарений с открытых поверхностей. Наиболее эффективным средством их локализации являются местные отсосы — вытяжные устройства, предназначенные для улавливания вредных веществ в максимально возможном приближении к месту их выделения. По универсальности функционального применения наибольший интерес представляют отсосы открытого типа, принцип действия которых в общем случае основан на реализации механизмов, отражаемых схемой точечного прямого стока [1]. Применительно к ней степень функциональной и энергетической эффективности характеризует коэффициент оптимальности, определяемый взаимосвязью расхода удаляемого местным отсосом воздуха  $G_{\text{мо}}$ , м<sup>3</sup>/ч, количество выделяющихся вредных веществ  $G$ , г/ч, их концентрациями  $c_{\text{р.з}}$  и  $c_{\text{п}}$ , г/м<sup>3</sup>, соответственно в рабочей зоне (зоне выделения) и приточном воздухе:

$$K_{\text{опт}} = 1 - \frac{L_{\text{мо}}}{G} (c_{\text{р.з}} - c_{\text{п}}). \quad (1)$$

Из выражения (1) очевидно, что при прочих равных условиях наиболее оптимальным и эффективным будет отсос, обеспечивающий необходимый эффект локализации вредностей наименьшим расходом воздуха, т.е. работающий более интенсивно.

Перспективным направлением интенсификации является использование эффекта вихревого стока — вихревой инъекции [2].

Анализ особенностей механизма вихревой инъекции позволяет осуществить построение математической модели формирования вихревого стока газа и на этой основе определить оптимальные условия аппаратурного оформления вытяжного устройства — местного вихревого отсоса.

Основываясь на выводах Дж.И. Тейлора, для чисто вихревого течения рассматриваемый случай можно представить как круговое течение вязкой

среды (газа) в пределах сходящегося конического участка с углом конусности  $2\alpha$  от начального радиуса закручивания  $R_1$  до входного сечения камеры с радиусом  $R_2$ , который значительно меньше  $R_3$  (рис. 1).

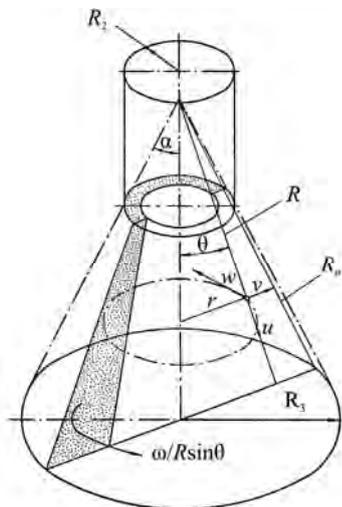


Рис. 1. Схема формирования локализирующего течения посредством вихревой инжекции

Для такого течения с достаточным приближением можно записать

$$u \frac{\partial u}{\partial R} + \frac{v}{R} \frac{\partial u}{\partial \Theta} + \frac{\omega^2}{R^2 \sin^2 \Theta} - \frac{w^2}{R} = \frac{v}{R^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \Theta^2}; \quad (2)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial R} + \frac{v}{R} \frac{\partial w}{\partial \Theta} + \frac{wu}{R} = \frac{v}{R^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \Theta^2}. \quad (3)$$

Для рассматриваемого случая полным видом уравнения неразрывности будет уравнение

$$\frac{\partial u}{\partial R} + \frac{2u}{R} + \frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \Theta} + \frac{v}{R} \cos \Theta = 0.$$

Принимая во внимание, что величина  $v \cos \Theta / R$  в уравнении неразрывности пренебрежимо мала, его можно представить в виде

$$\frac{\partial u}{\partial R} + \frac{2u}{R} + \frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \Theta} = 0. \quad (4)$$

Решение уравнений (2) и (3) может быть получено на основе приближенного метода К. Польгаузена для течения пограничного слоя вблизи цилиндрической поверхности и рассмотренного Дж. И. Тейлором применительно к расчету конического пограничного слоя.

В рассматриваемом случае вихревого стока расчет течения может быть основан на допущении, что решение уравнений (2) и (3) определяется выполнением граничных условий и контурных связей на условной конической поверхности, которые справедливы как для внутренней, так и внешней стороны течения, а также выполнением их интегрального соотношения как средней величины по толщине слоя. Такое осреднение может быть получено путем интегрирования уравнений движения (2) и (3) по толщине пограничного слоя  $\delta$ .

Исходя из условий реализации метода К. Польгаузена и принятого формализованного представления о круговом течении пограничного слоя вдоль условной конической поверхности, описание распределения (профиля) скорости в его меридиальном сечении можно представить системой простых уравнений в форме функциональных (степенных) рядов, которые удовлетворяют отмеченным выше необходимым граничным условиям.

Тогда

$$u = \frac{\omega \varepsilon}{R \sin \alpha} f(\kappa) = \frac{\omega \varepsilon}{R \sin \alpha} (\kappa - 2\kappa^2 + \kappa^2); \quad (5)$$

$$w = \frac{\omega}{R \sin \alpha} \psi(\kappa) = \frac{\omega}{R \sin \alpha} (2\kappa - \kappa^2), \quad (6)$$

где

$$\kappa = R(\alpha - \Theta)/\delta, \quad (7)$$

значение которой изменяется от 0 до 1,0.

Согласно проведенному упрощению функции  $f(\kappa)$  и  $\psi(\kappa)$  двух переменных  $\varepsilon$  и  $\kappa$  определяются в любой точке пограничного слоя как функции только одной переменной  $R$  и могут быть найдены с использованием интегральных уравнений импульсов

$$2\int u \frac{\partial u}{\partial R} d\Theta + 2\int \frac{u^2}{R} d\Theta + \int \left( \frac{\omega^2}{R^3 \sin^2 \alpha} - \frac{w^2}{R} \right) d\Theta = \frac{v}{R^2} \left[ \frac{\partial u}{\partial \Theta} \right]_{\Theta=\alpha} \quad (8)$$

$$-\frac{\omega}{R^2 \sin \Theta} \int_{\alpha-\delta/R}^{\alpha} \left( R \frac{\partial u}{\partial R} + 2u \right) d\Theta + \int \frac{\partial}{\partial R} (uw) d\Theta + 3\int \frac{uw}{R} d\Theta = \frac{v}{R^2} \left[ \frac{\partial w}{\partial \Theta} \right]_{\Theta=\alpha} \quad (9)$$

При подстановке (5) и (6) в уравнения (8) и (9) величина  $R \approx \text{const}$  и может быть выведена за знак интеграла в качестве общего множителя. Одновременно входящие в (8) и (9) значения  $\partial u/\partial R$  и  $\partial uw$  являются дифференциалами, включающими постоянную  $\Theta$ , и в первом приближении могут быть преобразованы заменой переменных через  $\delta$ ,  $\varepsilon$  и  $\kappa$ .

Принятые в качестве граничных условий произвольные функции  $f$  и  $\psi$  в рассмотренных случаях имели определенные значения:  $f = \psi = 0$  при  $\kappa = 0$  и  $f = 0$ ,  $\psi = 1$  при  $\kappa = 1$ . Текущие значения этих функций для дальнейшего анализа можно определить из характеристических графиков, построенных на основе уравнений (5) и (6).

Тогда преобразование выражений (5) и (7) с учетом (8) и (9) и последующей перегруппировки их членов позволяет получить уравнения для численного расчета значений  $\delta_\chi$ , исходя из переменных  $\varepsilon^2$  и  $\varepsilon\delta_\chi^2$ :

$$\frac{d\varepsilon^2}{dR_\chi} = -\frac{98}{R_\chi} + \frac{2\varepsilon^2}{R_\chi} - 330 \frac{\varepsilon^2 R_\chi}{\varepsilon\delta_\chi^2}, \quad (10)$$

$$\frac{d}{dR_\chi} (\varepsilon\delta_\chi^2) = \frac{49\varepsilon\delta_\chi^2}{\varepsilon^2 R_\chi} - \frac{\varepsilon\delta_\chi^2}{R_\chi} + 285R_\chi. \quad (11)$$

Начальными условиями расчета являются  $\varepsilon = \varepsilon\delta_\chi^2 = 0$  при  $R_\chi = 1,0$ . Для условия  $R_\chi = 1$  полученные уравнения решаются разложением  $\varepsilon^2$  и  $\varepsilon\delta_\chi^2$  в степенной ряд по  $R_\chi$  с допущением, что при незначительном изменении  $R_\chi$  действительным является первый член ряда.

Результаты расчетов представлены в графической форме на рис. 2 и 3.

График рис. 2 отражает функциональную зависимость безразмерной толщины пограничного слоя  $\delta_\chi$  от безразмерного радиуса  $R_\chi$ . На рис. 3 показана зависимость от безразмерного радиуса  $R_\chi$  величины угла  $\gamma$ , образованного между касательной к линии тока и радиусом  $R$  на конической поверхности (рис. 1).

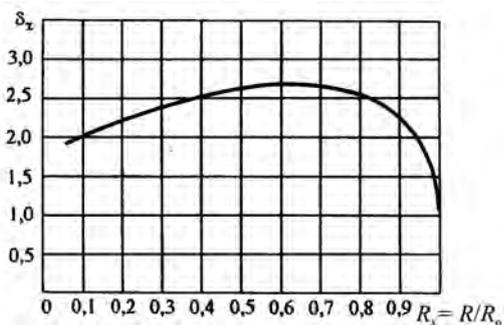


Рис. 2. Изменение относительной толщины пограничного слоя

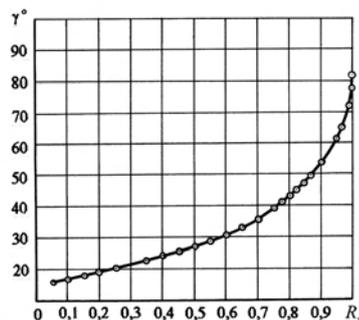


Рис. 3. Изменение угла касательной к линии стока

Величина угла  $\gamma$  может быть определена на основании выражения, полученного с использованием уравнений профилей скорости (5) и (6) в форме  $\cos s = \frac{1}{2} \varepsilon$ . Линия тока на условной конической поверхности, которая в каждой точке образует этот угол с  $R$ , является траекторией движения материальной точки пограничного слоя на конической поверхности. Основываясь на оценке функциональной связи текущих значений  $R_\chi$ ,  $\varepsilon$  и  $\Theta$ , отражаемой уравнениями (5)—(7) и (10), можно провести расчет этой траектории, исходя из выражения

$$(\Theta_\chi - \Theta_0) = \int_1^{R_\chi} 2dR_\chi / R_\chi \varepsilon, \quad (12)$$

где  $R_\chi$ ,  $\Theta_\chi$  — полярные координаты точки на развернутой конической поверхности;  $\Theta_0$  — значение координаты  $\Theta_\chi$  в начале траектории.

Очевидно, что через анализ расчетных значений  $R_\chi$ ,  $\gamma$ ,  $\Delta\Theta$ ,  $v$  и  $\delta$  могут быть получены необходимые представления о пространственной ориентации линий тока газа, особенностях профилей скорости, относительной толщине его пограничного слоя во входном сечении  $F_2$  патрубка местного вихревого отсоса. Обобщение всех этих характеристик позволяет перейти к оценке условий интенсификации локализирующего эффекта отсоса путем соответствующего профилирования направляющих лопаток, значений их геометрических характеристик и пространственных соотношений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М. : Наука, 1970. 904 с.
2. Диденко В.Г., Малахова Т.В. Вихревые устройства для локализации источников и очистки вентиляционных выбросов. Волгоград : Нижне-Волж. кн. изд-во, 1997. 86 с.

1. Loicanskij L.G. Mehanika zhidkosti i gaza. M. : Nauka, 1970. 904 s.
2. Didenko V.G., Malahova T.V. Vihrevye ustroystva dlja lokalizacii istochnikov i ochistki ventiljacionnyh vybrosov. Volgograd : Nizhne-Volzh. kn. izd-vo, 1997. 86 s.

© Шубин О.В., Диденко В.Г., Голубева С.И., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010

УДК 697.931-048.24

**А.Г. Аверкин, Н.В. Коршунова**

### **ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА**

Приведено описание устройства и работы лабораторного стенда для тепловлажностной обработки воздуха, на котором можно имитировать различные процессы при контакте воздуха с водой: адиабатическое увлажнение и охлаждение воздушного потока, политропическое осушение и охлаждение воздуха, осушение воздуха твердыми и жидкими сорбентами. Показана возможность проведения на стенде экспериментальных исследований по оценке эффективности распылителей жидких сред в воздушном потоке и сравнительного анализа способов образования межфазной поверхности.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** тепловлажностная обработка воздуха, осушение воздуха, охлаждение воздуха, сорбенты, распылителей жидких сред, увлажнение воздушного потока.

The description of the device and the work of the laboratory stand for thermal and water treatment of air is shown. At the lab bench can simulate various processes in the contact of air with water: adiabatic humidification and cooling air flow, polytropic drainage and air cooling, dehumidification by solid and liquid sorbents. The stand can be carried out pilot studies to assess the effectiveness of spray liquid media in the airstream, to conduct comparative analysis of education of the interface.

**К e y w o r d s:** thermal and water treatment of air, cooling air, drainage air, sorbents, spray liquid media, humidification air flow.

В системах кондиционирования воздуха большое распространение получили центральные кондиционеры, которые komponуются из различных узлов в соответствии с проектными решениями обработки воздуха для конкретных условий. В качестве основного узла центральный кондиционер имеет контактный аппарат, где воздух непосредственно контактирует с водной фазой (с мелко распыленными каплями воды — в форсуночной камере, или с пленкой воды, стекающей по насадке, — в камере сотового орошения, или с водяным паром — в паровых увлажнителях и др.) [1].

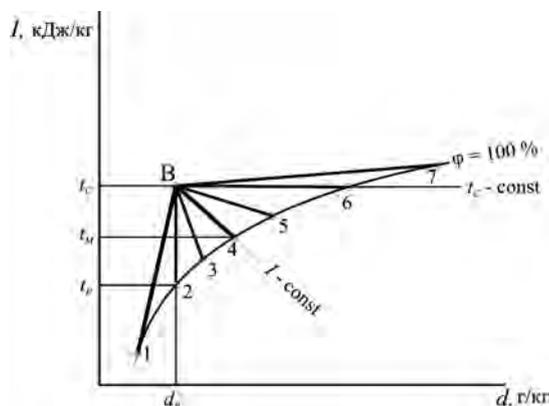
Контактный аппарат применяется для реализации тепломассообменных процессов: осушение и охлаждение воздуха, охлаждение и увлажнение воздуха, в том числе адиабатическое, изотермическое и др.

Физическая сущность тепловлажностной обработки воздуха в контактном аппарате зависит от соотношения температуры водяной фазы  $t_w$ , температуры воздуха по сухому термометру  $t_c$ , температуры воздуха по мокрому термометру  $t_m$ , температуры точки росы воздуха  $t_p$ .

Возможные направления процессов взаимодействия воздуха и воды наглядно представлены графически на  $I-d$  диаграмме влажного воздуха в области криволинейного треугольника (рис. 1). Здесь одной стороной является кривая  $\phi = 100\%$ , двумя другими — касательные к этой кривой [2].

Процесс В1 — охлаждение и осушение воздуха происходит при  $t_w < t_p$ , процесс В2 — сухое охлаждение воздуха — при  $t_w = t_p$ , процесс В3 — охлаждение и увлажнение воздуха — при  $t_p < t_w < t_m$ , процесс В4 — адиабатическое охлаждение и увлажнение воздуха — при  $t_w = t_m$ , процесс В5 — охлаждение и увлажнение воздуха — при  $t_m < t_w < t_c$ , процесс В6 — изотермическое увлажнение воздуха — при  $t_w = t_c$ , процесс В7 — нагрев и увлажнение воздуха — при  $t_w > t_c$ .

В холодный период года контактный аппарат, как правило, работает в режиме адиабатического увлажнения воздуха (процесс В4, рис. 1). Для обеспечения температурного режима  $t_w = t_m$  воду закольцовывают в контактном аппарате, т.е. применяют рециркуляцию воды в потоке воздуха.



В теплый период года контактный аппарат можно использовать для осушения и охлаждения наружного воздуха. Для получения холодной воды с температурой  $t_w < t_p$  применяют холодильные машины — чиллеры.

С целью имитации основных процессов теплообмена между воздухом и водой изготовлен и смонтирован лабораторный стенд для тепловлажностной обработки воздуха, его схема приведена на рис. 2.

С целью имитации основных процессов теплообмена между воздухом и водой

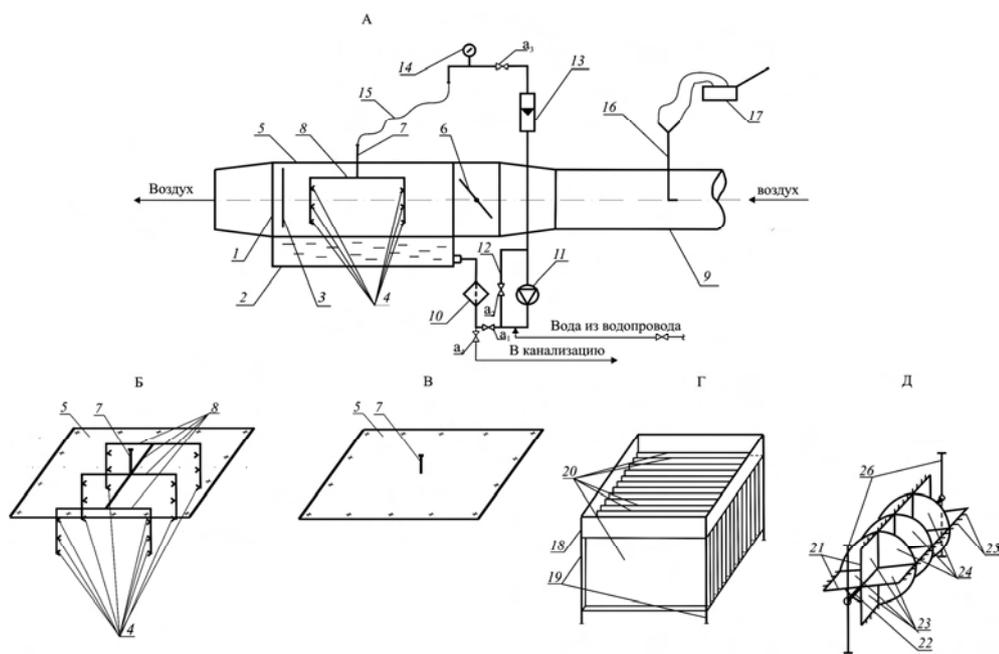


Рис. 2. Схема лабораторного стенда: А — контактный узел с воздуховодом; Б, В — верхняя крышка в различных конструктивных исполнениях; Г — съемная кассета пленочного типа; Д — съемная кассета роторного типа; 1 — корпус; 2 — поддон; 3 — каплеуловитель; 4 — форсунки; 5 — съемная крышка(ки); 6 — дроссель-клапан; 7 — штуцер для воды; 8 — магистральный трубопровод; 9 — воздуховод; 10 — фильтр для воды; 11 — насос; 12 — перепускная линия; 13 — ротаметр РС-5; 14 — манометр; 15 — гибкая подводка; 16 — комбинированный приемник давления; 17 — микроманометр ММН; 18 — распределитель для воды; 19 — опорные штанги; 20 — листовая насадка; 21 — крестообразная турбина; 22 — ось; 23 — лопасти турбины из гигроскопичного материала; 24 — сегменты из гигроскопичного материала; 25 — билы; 26 — опорные стойки

В контактном узле 1, представляющем прямоугольный параллелепипед, размещены двенадцать механических форсунок 4. Форсунки закреплены с помощью резьбовых соединений на вертикальных трубках — стояках, которые, в свою очередь, магистральной трубой 8 жестко связаны со съемной крышкой 5 контактного узла. Слева на выходе из контактного узла (камеры) расположен каплеуловитель 3 в виде гофрированной перегородки, справа на входе в камеру расположен дроссель — клапан 6. Нижняя часть камеры — поддон 2 — выполнена в виде емкости для воды. Справа к камере присоединен приточный воздуховод 9. Камера снабжена контуром для водяной линии, состоящей из фильтра 10, насоса 11, перепускной линии 12, ротаметра 13, манометра 14, гибкой подводки 15 и вентиляей  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ . Передняя стенка камеры выполнена из прозрачного материала (оргстекло).

Для определения динамического давления воздушного потока в воздуховоде применяется комбинированный приемник давления, состоящий из трубки Пито — Прандтля 16 и микроманометра 17.

Представленное устройство (см. рис. 2) может работать в нескольких режимах тепловлажностной обработки воздуха.

*Режим адиабатического охлаждения и увлажнения воздуха.* Поддон камеры 2 заполняют водопроводной водой при открытых вентилях  $a_5, a_1$ . Затем включают приточный вентилятор (на рис. 2 не показан) для подачи воздуха в камеру включают насос 11 для осуществления рециркуляции воды в контактном аппарате. Вода из поддона 2 последовательно проходит фильтр 10, насос 11, ротаметр 13, регулировочный вентиль  $a_3$ , манометр 14, гибкую подводку 15, магистральные трубки 8 и через форсунки 4 распыляется в воздушном потоке, проходящем через камеру. При этом часть воды испаряется в потоке воздуха, а неиспарившаяся вода поступает обратно в поддон 2, откуда насосом 11 она повторно направляется на механические форсунки 4 и т.д.

Наличие приборов и принадлежностей лабораторного стенда позволяет регулировать и определять необходимые технологические параметры процесса тепловлажностной обработки воздуха.

Расход воды определяется по ротаметру 13, его регулирование осуществляется при помощи вентиля  $a_2$  на перепускной линии 12, давление воды перед форсунками 50...250 кПа фиксируется при помощи манометра 14. Расход воздуха определяется при помощи микроманометра 17 с трубкой Пито — Прандтля 16, регулирование расхода осуществляется при помощи шиберной задвижки на воздуховоде 9 (на рис. не показана) и дроссель-клапана 6. Параметры воздуха ( $t_c, t_m$ ) на входе, выходе из контактного узла определяются при помощи психрометров Ассмана, установленных перед приточным вентилятором и на выходе из контактного узла. Другие параметры воздуха (относительная влажность, влагосодержание, энтальпия и т.п.) определяют с помощью  $I-d$ -диаграммы влажного воздуха [1].

*Режим охлаждения и осушения воздуха* может быть осуществлен при подаче проточной водопроводной воды через контактный узел. Проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что в осенне-зимний период (октябрь — февраль) температура водопроводной воды ниже температуры точки росы внутреннего воздуха лаборатории.

В данном режиме распыление воды в форсунках 4 осуществляется за счет давления в водопроводной линии. При открытых вентилях  $a_5, a_2$  водо-

проводная вода последовательно проходит перепускную линию 12, ротаметр 13, манометр 14, форсунки 4 и в распыленном состоянии поступает в воздушный поток с целью его охлаждения и осушения. Вода и образовавшийся конденсат собираются в поддоне 2, откуда самотеком выводятся в канализацию через фильтр 10 и открытый вентиль а<sub>4</sub>.

Контроль параметров воздуха на входе, выходе из контактного узла производится, как и в предыдущем режиме, с помощью психрометров Ассмана.

Другим рабочим органом в контактном аппарате вместо форсунок может быть блочная кассета пленочного типа. Для ее установки верхняя крышка конструкции Б демонтируется вместе с системой форсунок, в контактном аппарате размещают съемную кассету пленочного типа Г на автономном каркасе, состоящем из распределителя для воды 18, опорных штанг 19, листовой насадки 20. При этом используют съемную крышку конструкции В. Листовая насадка выполнена из полотен гигроскопичного материала, который закреплен в верхнем и нижнем поддонах оросительной камеры. В днище верхнего поддона имеются продольные прорезы для выхода жидкости, через них же пропущен гигроскопичный материал. Вода стекает через прорезы по гигроскопичному материалу в нижний поддон, увлажняя (осушая) воздух, проходящий через насадку. Для регулирования расхода жидкости на днище верхнего поддона установлена профильная пластина, позволяющая регулировать сечение прорезей.

Уровень жидкости в верхнем поддоне и работа насоса регулируются приборами автоматики. Насос включается в работу, когда уровень воды в верхнем поддоне снижается до нижнего датчика (электрода) и отключается, когда уровень воды повышается до верхнего датчика.

Следующим рабочим органом в контактном аппарате может служить крестообразная турбина, лопасти которой выполнены из гигроскопичного материала [3]. Схема турбины приведена на рис. 2, Д. Турбина 21 имеет горизонтальную ось 22. Ее крестообразные лопасти 23 выполнены из гигроскопичного материала. Перпендикулярно на лопастях турбины закреплены сегменты 24 из того же гигроскопичного материала. Вдоль лопастей турбины расположены иглообразные наконечники — билы 25.

При оценке эффективности тепловлажностной обработки воздуха в контактном аппарате роторного (турбинного) типа рассмотренные выше контактные узлы (форсуночная система или блок листовой насадки) извлекаются из полости камеры 1, на их место устанавливается описанная турбина со съемной крышкой типа В.

Турбина располагается в камере контактного аппарата горизонтально и перпендикулярно поступающему потоку воздуха. Ее нижние билы 25 на несколько миллиметров погружены в воду, находящуюся в поддоне камеры. Вращение турбины осуществляется за счет динамического давления воздушного потока, поступающего из воздуховода 9. При вращении турбины происходит вынос частиц (капель, струек) воды из поддона в объем камеры, что способствует постоянному увлажнению лопастей и сегментов турбины и создает условия образования развитой межфазной поверхности теплообмена. Скорость и направление вращения турбины обеспечивает дроссель-клапан б, который выполняет функцию направляющего устройства.

При применении роторного (турбинного) устройства необходимость насоса для воды исключается, снижаются энергозатраты на тепловлажностную обработку воздуха. Контактный аппарат роторного типа позволяет реализовать практически все процессы, приведенные графически на рис. 1. Он может работать на рециркуляционной и на проточной воде.

Для оценки эффективности тепловлажностной обработки воздуха на основе твердых сорбентов могут быть использованы съемные кассеты в виде объемных рамочных устройств с сетками на передней и задней стенках, содержащие зернистые адсорбенты, например активированный древесный уголь, силикагель и др. Кассеты помещают в камеру перпендикулярно воздушному потоку.

Разработанный лабораторный стенд также позволяет проводить экспериментальные исследования по оценке эффективности осушения воздуха при применении жидких сорбентов. При этом в качестве жидкой фазы используют водные растворы хлоридов лития, кальция, натрия и др. [1].

Эффективность работы лабораторного стенда подтверждена несколькими патентами Российской Федерации и выпускными квалификационными работами бакалавров и магистров [3—5].

*Выводы.* Представленный лабораторный стенд позволяет проводить экспериментальные исследования по оценке эффективности различных типов механических форсунок (форсунки легко заменяются, они закреплены с помощью резьбовых соединений), увлажнителей и осушителей роторного, пленочного типа в определенных режимах тепловлажностной обработки воздуха.

Лабораторный стенд можно использовать как в учебном процессе при изучении специальных дисциплин, так и при проведении НИР в рамках магистратуры, аспирантуры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодно-снабжение. М. : Стройиздат, 1985. 416 с.
2. Кокорин О.Я., Дерипасов А.М. Отечественное оборудование для создания систем вентиляции и кондиционирования воздуха : каталог. М. : Каталог, 2002. 91 с.
3. Патент РФ 2270958. Устройство для тепловлажностной обработки воздуха / Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Королева Т.И., Корсун С.А., Хлыстов А.В. Оpubл. 27.02.2006. Бюл. № 6.
4. Патент РФ 2294490. Устройство для тепловлажностной обработки воздуха / Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Галкин К.А., Князев А.А. Оpubл. 27.02.2007. Бюл. № 6.
5. Патент РФ на полезную модель 87782. Лабораторный стенд для тепловлажностной обработки воздуха / Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Миронов К.В., Мишанин С.И., Коршунова Н.В. Оpubл. 20.10.2009. Бюл. № 29.

1. Bogoslovsky V.N., Kokorin O.Y., Petrov L.V. Kondizionirovanie vosduha i holodosnabgenie. M. : Stroyisdat, 1985. 416 s.
2. Kokorin O.Y., Deripasov A.M. Otethestvenoe oborudovanie dlya sosdaniya sistem ventilyazii i kondizionirovaniya vosduha : katalog. M. : Katalog, 2002. 92 s.
3. Patent RV 2270958 Ustroystvo dlya teplovlagnostnoy obrabotki vosduha / Averkin A.G., Eremkin A.I., Koroleva T.I., Korsun S.A., Hlistov A.W. Opubl. 27.02.2006. Bul. № 6.
4. Patent RV 2294490 Ustroystvo dlya teplovlagnostnoy obrabotki vosduha / Averkin A.G., Eremkin A.I., Galkin K.A., Knyasev A.A. Opubl. 27.02.2007. Bul. № 6.
5. Patent RV na polesnuju model 87782. Laboratorny stend dlya teplovlagnostnoy obrabotki vosduha / Averkin A.G., Eremkin A.I., Mironov K.V., Mischanin S.I., Korschunova N.V. Opubl. 20.10.2009. Bul. № 29.

Поступила в редакцию в июне 2010

© Аверкин А.Г., Коршунова Н.В., 2010

## **ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

УДК 628.16.085

**Т.И. Дровозова, Е.С. Кулакова**

### **ЭКОЛОГИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ**

Определены проблемы водообеспечения малых сельских поселений (на примере пос. Луговой Ростовской области). Предложены пути усовершенствования системы водоснабжения с целью повышения уровня экологической безопасности.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** водопотребление, рационализация водоснабжения, сельскохозяйственное водоснабжение, фотон-ионная обработка.

Problems of water supply for small rural settlements (Lugovoi settlement in Rostov Region as a model) are defined. Ways for improving water-supply systems to increase the level of environmental safety are suggested.

**К e y w o r d s:** water consumption, rationalization, agricultural water-supply, photon-ion treatment.

Нехватка доброкачественной питьевой воды, как известно, стала одной из самых острых и болезненных проблем не только в крупных городах, но и в сельских населенных пунктах, особенно расположенных в отдаленных и труднодоступных местах. Дефицит качественной питьевой воды в сельских поселениях отрицательно сказывается на здоровье жителей, у которых уровень жизнеобеспечения ниже, чем в городе, и тормозит развитие инфраструктуры, что, в свою очередь, является одной из причин оттока жителей из села.

К основным проблемам водообеспечения жителей малых поселков, характерных для большинства сельских населенных мест, относятся:

- 1) неудовлетворительное состояние водоисточников;
- 2) наличие в питьевой воде, прошедшей очистку традиционным способом, повышенных доз остаточного хлора;
- 3) нерациональное использование питьевой воды на технические и хозяйственно-бытовые нужды, в частности полив;
- 4) употребление жителями некачественной питьевой воды, что влечет повышение уровня заболеваемости населения кишечными инфекциями и снижение иммунитета в целом.

Все это требует принятия надлежащих мер по качественному улучшению существующего питьевого водоснабжения и решения вопроса рационализации системы водопотребления.

Поставлена задача исследования особенностей водообеспечения сельских населенных мест с целью частичного решения существующих проблем

в сельскохозяйственном водоснабжении на примере типового поселка Луговой (КФХ «Мелиоратор») Ростовской обл.

В пос. Луговой с целью очистки и обеззараживания воды используется метод хлорирования, основанный на получении гипохлорита натрия электролизным путем. Однако, в связи с тем что в последнее время отмечается увеличение загрязнения источников водоснабжения, существует необходимость вводить в обрабатываемую воду повышенные концентрации хлор-реагентов, в результате чего питьевая вода, прошедшая очистку традиционным способом, содержит повышенные дозы свободного хлора, что подтверждают результаты химико-бактериологических анализов питьевой воды на выходе с ОСВ пос. Луговой МУП «Горводоканала» г. Новочеркаска.

На основании вышеизложенного рекомендуются три варианта технологий водоподготовки с целью повышения качества питьевой воды в сельской местности (на примере фермерского хозяйства «Мелиоратор»).

1. С целью удаления повышенных доз остаточного хлора в питьевой воде, отрицательно воздействующих на здоровье человека и объекты окружающей природной среды, рекомендуется после обеззараживания воды гипохлоритом натрия обрабатывать ее сильным дезинфектантом-окислителем — пероксидом водорода ( $H_2O_2$ ).

2. Для снижения концентрации  $NaClO$ , вводимого в питьевую воду, устранения (при необходимости) повышенных доз остаточного хлора рекомендовано встраивать в существующую технологическую схему бактерицидный фотон-ионный реактор. Кроме того, на заключительном этапе подготовки питьевой воды ее рекомендуется обогащать жизненно важными микроэлементами: йодом и фтором, в которых население Ростовской области испытывает острый дефицит.

3. С целью повышения экологической безопасности технологии подготовки воды (в том числе и из подземных водоисточников), направляемой сельским потребителям, рекомендуется полная замена установки, генерирующей  $ClO_2$ , на бактерицидный фотон-ионный реактор, включающий УФ-обработку в сочетании с бактерицид-ионами. Также в технологии предусмотрено предварительное введение  $H_2O_2$  в трубопровод питьевой воды, содержащей загрязняющие вещества в концентрациях выше ПДК.

Технологическая схема предлагаемой разветвленной и исключаяющей хлорирование технологии водоподготовки приведена на рисунке.

Отличительной особенностью предлагаемой технологии водоподготовки является то, что с целью уменьшения возможных потерь воды питьевого качества в результате нерационального ее применения предлагается при водоснабжении сельских населенных мест использовать трубопровод, где вода на хозяйственные, технические и питьевые цели разделена различными ветвями, и доводить до уровня СанПиН 1.2.4.1074—01 только воду, подаваемую в питьевой водопровод. В этом случае объем водопотребления на питьевые цели может быть доведен до 30 л/сут на одного человека [1]. Кроме того, в поток воды, отведенный на питьевые цели, предусмотрено введение  $H_2O_2$  в качестве дополнительного дезинфектанта при значительном количестве в ней микроорганизмов или в качестве окислителя компонентов-загрязнителей. В случае нормативного содержания в воде химических компонентов, а также незначительного числа в ней бактерий дозирующее устройство из технологии исключается. Так-

же вода проходит через бактерицидный фотон-ионный реактор, отличающийся от существующих установок обеззараживания воды возможностью одновременно обрабатывать воду УФ-облучением и бактерицидными ионами, что позволяет достичь необходимый уровень обеззараживания при наименьших энергетических затратах (за счет снижения УФ-дозы) [2] и повысить устойчивость воды к вторичному бактериальному загрязнению.

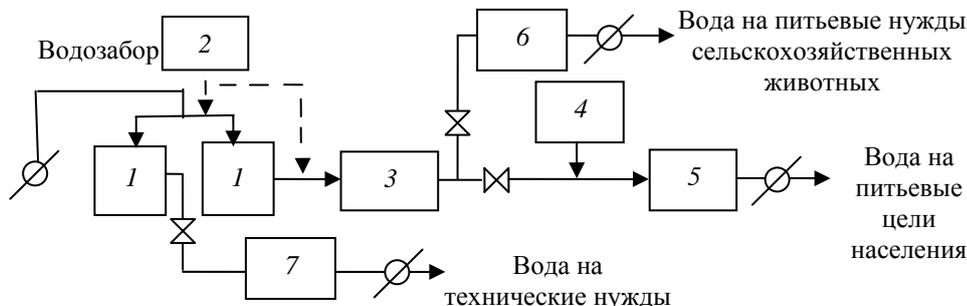


Схема разветвленной бесхлорной системы водоподготовки для сельских населенных мест: 1 — медленные фильтры; 2 — дозатор пероксида водорода; 3 — бактерицидный фотон-ионный реактор; 4 — дозатор для введения жизненно важных микроэлементов; 5, 6 — резервуар чистой воды (РЧВ); 7 — емкость с запасом технической воды

С целью обоснования возможности использования в условиях сельской местности фотон-ионной обработки воды оценены затраты на проведение процесса обеззараживания с помощью бактерицидного реактора. Ежегодные затраты на работу реактора производительностью  $2 \text{ м}^3/\text{ч}$  складываются из затрат: на используемый препарат  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , необходимый для внесения ионов  $\text{Cu}^{2+}$  в питьевую воду в концентрации  $0,5 \text{ мг/л}$ ; комплектующие изделия (стоимость основных и запасной УФ-ламп и блока промывки); электроэнергию, и составляют не более 15 тыс. р.

Таким образом, преимуществами предложенной бесхлорной технологии водоподготовки являются: повышение качества питьевой воды за счет исключения хлорирования, придание ей длительной бактериальной устойчивости, а также достижение рационального использования воды питьевого качества. Следовательно, рекомендуемая технология водоподготовки, на наш взгляд, может быть достаточно эффективной для водоснабжения малых сельских поселений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелиорация и водное хозяйство. Т. 7. Сельскохозяйственное водоснабжение : справочник / Л.Е. Тажибаев, В.С. Усенко, Г.И. Николадзе [и др.] ; под. ред. В.Н. Олейника. М. : Агропромиздат, 1992. 287 с.

2. Ажгиревич А.И. Интенсификация УФ-технологии обеззараживания воды для локализации негативных воздействий систем водоснабжения на окружающую среду : дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2002. 149 с.

1. Melioracija i selskoe hozjajstvo. T. 7. Selskohozjajstvennoe vodosnabjenje : spravocnik / L.E. Tajibaev, V.S. Usenko, G.I. Nikoladze [i dr.] ; pod. red. V.N. Oleinika. M. : Agropromizdat, 1992. 287 s.

2. Ažgirevič A.I. Intensifikacija UV-tehnologij obezraživanja vodi dlja lokalizacii negativnih vozdejstvij sistem vodosnabjenija na okružajuschuju sredu : dis. ... kand. tehn. nauk. Novočerkassk, 2002. 149 s.

Поступила в редакцию в июне 2010

© Дровозова Т.И., Кулакова Е.С., 2010

## **ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**

УДК 626/627

**С.О. Курбанов, А.А. Созаев**

### **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ТРАНЗИТНЫХ ЛОТКОВ ПОЛИГОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ**

Приведен анализ проблемы надежности транзитных лотков призматического сечения. Приводятся результаты натурных исследований по абразивному износу и эксплуатационной надежности лотковых каналов — быстроотоков, расположенных в предгорной зоне. Разработаны новые технические решения по конструкции и способу возведения лотков полигонального сечения. Даны рекомендации по проектированию и расчетному обоснованию транзитных лотков полигонального профиля в условиях предгорной зоны.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** надежность, лотковый канал, транзитный лоток, предгорная зона.

In this article is made the analysis of the problems of reliability of transit chutes with prismatic section. The results of researches for abrasive wear on location and using reliability of chute canals – canals with high-fleeting currents in foothill zones are also adduced. New technical solutions on construction and means of erection chutes with broken section are worked out. Recommendations how to project and calculate transit chutes with broken section under conditions of foothill zone are given in the annotation.

**К e y w o r d s:** reliability, chute canal, transit chutes, foothill zone.

Опыт эксплуатации и многолетние исследования транзитных лотков прямоугольного поперечного сечения в предгорной зоне показывают низкую эффективность их функционирования и как результат невысокий уровень надежности по многим параметрам. Транзитные лотки проектируют и строят в составе водосбросных и сопрягающих сооружений при напорных и безнапорных гидроузлах различного назначения, а также на мелиоративных и сбросных каналах, на участках с высокими уклонами (больше критических). При этом сооружения состоят из входных, транзитных и выходных частей. Входные части обычно выполняют в виде автоматических водосливных порогов или оборудуют регуляторами. На транзитных участках в большинстве случаев применяют прямоугольные лотки, работающие как быстроотоки или консольные перепады. На выходных участках проектируют гасители энергии в виде водобойных колодцев или водобойных стенок. Надежность работы транзитных лотков, которые должны обеспечить безопасный пропуск максимальных расчетных расходов воды, оказывает значительное влияние на надежность работы всего гидроузла или оросительной сети. Разрушение транзитного лотка водосбросного сооружения в составе напорных гидроузлов может привести к выходу из строя и нарушению режима работы на долгое

время или к разрушению всего гидроузла. На магистральном канале разрушение транзитного лотка быстротока может полностью нарушить режим работы всей оросительной сети. В качестве примера можно привести магистральные каналы (ПМК и ЛМК) Чегемской оросительно-обводнительной системы, которые авторами были подробно обследованы: изучены их гидравлические и наносные режимы, надежность работы, долговечность облицовки [1, 2]. Их длина составляет более 30 км, в том числе и участки с транзитными лотковыми каналами-быстротоками (5 быстротоков на разных участках, общей длиной около 5 км), которые проходят в Г-образных железобетонных блоках с монолитным дном. Уклоны быстротоков колеблются от 0,0127 до 0,0194, средние скорости составляют 4...5 м/с, а максимальные достигают 8 м/с и более. Поток транспортирует большое количество наносов, при этом крупные наносы поступают в каналы за пределы действия головных наносоудерживающих сооружений (с прилегающих склонов). Вследствие этого дно лотков по всей длине подвержено интенсивному истиранию и среднее значение коэффициента шероховатости увеличилось с 0,014 до 0,025, а максимальное его значение в течение 5...7 лет эксплуатации каналов местами достигало 0,035...0,04. В лотках наблюдаются катящиеся косые волны и аэрация потока. Высота волн достигает 1,5 м и более, местами происходит перелив воды через борта лотков. В результате их пропускная способность уменьшилась в среднем на 20 % по сравнению с проектными данными. Так, на участке ПМК между ПК30 и ПК150 максимальная пропускная способность составила 6,5...7,0 м<sup>3</sup>/с (вместо 9 м<sup>3</sup>/с по проекту).

Более подробно были исследованы и изучены характерные участки транзитных лотков на абразивный износ. По результатам были получены графические зависимости интенсивности абразивного износа дна лотков, приведенные на рис. 1 и построенные в безразмерных параметрах. На графике по оси абсцисс отложены относительное время  $T_i / T_k$  — отношение  $i$ -го рассматриваемого года наблюдения к конечному числу годов наблюдений, а по оси ординат — относительные шероховатости ( $\nabla / d_{50}$  — отношение средней величины шероховатости к средневзвешенному диаметру влекомых наносов и  $\nabla_m / d_{95}$  — отношение максимальной величины шероховатости к максимальному значению диаметра наносов, поступающих в лоток). Кривая 2  $\nabla = f(T_i / T_k)$  показывает процесс абразивного износа под воздействием (в основном) средних и мелких фракций влекомых наносов, а кривая 1  $\nabla_m / d_{95} = f(T_i / T_k)$  — процесс износа под преимущественным влиянием крупных фракций наносов. Как видно из графиков, интенсивность износа облицовки в разные годы эксплуатации различная. Исследования показали, что в первые два года эксплуатации на большинстве участков лотков интенсивность износа составляет 5...8 мм/год, в последующие годы процесс износа замедляется до 3...5 мм/год. Это связано с тем, что в течение первых двух лет эксплуатации изнашивается поверхностный слой бетона и оголяется крупный заполнитель, материал которого более твердый. Для большинства участков ПМК (где  $V > 2,5$  м/с) процесс замедления износа наблюдался только на 3-й или 4-й год их работы. В последующие годы интенсивность износа резко возрастала и достигала 15...20 мм/год, и это хорошо видно из графиков на рис. 1.

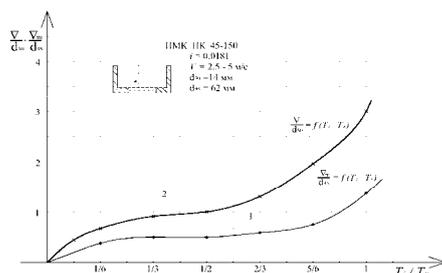


Рис. 1. Графики интенсивности износа дна лотка ПМК Чегемской ООС



Рис. 2. Характерное разрушение облицовки дна лотка Чегемской ООС

Это объясняется тем, что в результате истирающего воздействия твердого стока оголялись крупные заполнители, раскрывались трещины и поры в бетоне, далее под воздействием периодического увлажнения и высыхания, замораживания и оттаивания происходило увеличение трещин и ослабление связей заполнителя и цементного камня. Затем под ударным воздействием крупных частиц наносов, движущихся с высокой скоростью, происходили выбивание зерен заполнителя, сколы цементного раствора между ними, оголение арматуры и местами полное разрушение бетонной облицовки дна канала. Таким образом, дно рассматриваемых участков магистральных лотков через 6 лет эксплуатации было разрушено до 70 % (на рис. 2 хорошо видно состояние облицовки).

Результаты многолетних исследований позволили авторам получить несколько вариантов лотковых каналов с оптимальными наивыгоднейшими сечениями, подтвержденными авторскими свидетельствами и патентами на изобретения [3—6], которые могут быть эффективно использованы при реконструкции и проектировании транзитных лотков призматического сечения. Для повышения надежности облицовки разработан способ возведения гидротехнического лотка с износоустойчивым креплением облицовки (рис. 3, а, б) [5]. Лоток состоит из железобетонных вертикальных стенок 1 и донных откосов 2, по всей площади которых устроено крепление из полимербетона 3 и рядов из речного булыжника 4. По верху рядов булыжника уложены арматурные стержни, образующие решетчатую крышку 5, прикрепленную к анкерам 6, устроенным в стенках 1.

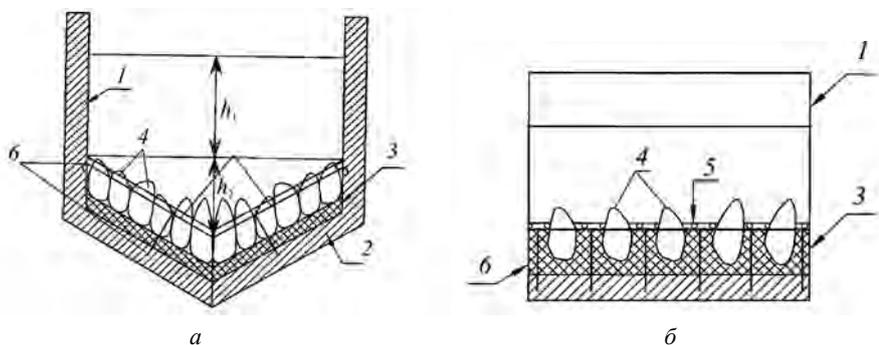


Рис. 3. Гидротехнический лоток с износоустойчивым креплением облицовки: а — поперечное сечение лотка; б — продольное сечение участка лотка

Другим решением является лоток полигонального профиля из однотипных сборных железобетонных блоков (рис. 4, а, б) [6].

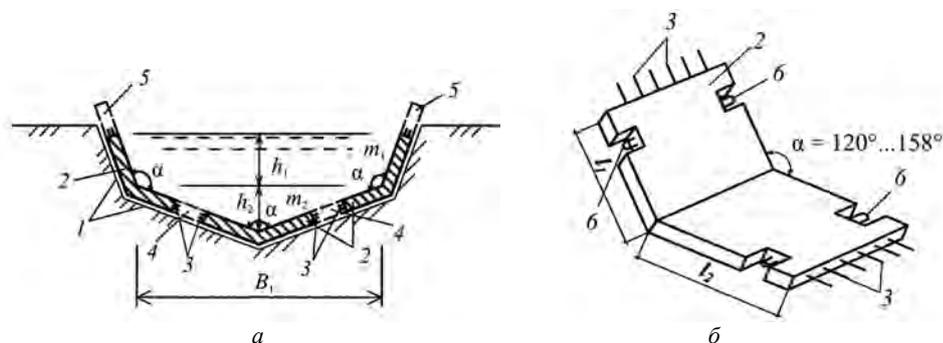


Рис. 4. Лоток полигонального профиля из однотипных сборных железобетонных блоков: а — поперечный профиль лотка; б — сборный железобетонный блок

При этом лоток образуется тремя блоками, соединенными по линии донных откосов по арматурным выпускам и замоноличенными бетоном. Сборные элементы представляют собой железобетонные блоки правильной угловой формы поперечного сечения с вершиной по центру. Оптимальные значения заложений откосов лежат в пределах  $m_1 = 0...1,5$  и  $m_2 = 1,7...5,1$ . На основании этих условий определен оптимальный угол  $\alpha = 120...158^\circ$  (табл.).

#### Обоснование угла вершины сечения угловых блоков

Угол вершины сечения угловых плит $\alpha$ , град	Заложение откосов	
	боковых $m_1$	донных $m_2$
120	0	1,7
140	0,58	2,7
150	1,0	3,7
158	1,5	5,1

Центральный сборный угловой блок в основании в условиях высокого скоростного и наносного режимов изготавливают из износостойких материалов. Авторами разработан и способ возведения гидротехнического лотка полигонального профиля из сборных железобетонных элементов [6].

Предлагаемые технические решения по приведению прямоугольного лотка к полигональному профилю обеспечивают повышение эксплуатационной надежности и гидравлической эффективности сооружения. Прямоугольные лотки легко реконструируются в полигональные путем углубления (разрушения уже отработавшего свой ресурс) дна по центру на небольшую величину и придания поперечному сечению дна треугольной формы (рис. 3). Приведение прямоугольного лотка к полигональному профилю с треугольным основанием обеспечивает стабилизацию турбулентной структуры потока, уменьшение кинетичности и бурности потока.

Авторами усовершенствована и методика гидравлического расчета лотка полигонального профиля на основе результатов ранее проведенных исследований [7, 8]. Сечение преобразованного лотка состоит из двух частей: верхней — прямоугольной и донной — треугольной. Для аналитических исследо-

ваний гидравлических характеристик глубина верхней части сечения обозначена через  $h_1$ , а донной части —  $h_2$ , относительная глубина  $\alpha_2 = h_2/h_1$  и заложение донных откосов —  $m_2$ .

Режим движения и состояние потока в русле лотка определяют с помощью параметра кинетичности  $\Pi_k$ , который для призматического русла выражается по известной формуле [9].

$$\Pi_k = \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — коэффициент Кориолиса, 1,05...1,1;  $Q$  — расчетный расход лотка, м<sup>3</sup>/с;  $B$  — ширина по низу лотка, м;  $\omega$  — площадь живого сечения, м<sup>2</sup>.

Площадь живого сечения определяется по выражению

$$\omega = Bh_1 + 0,5Bh_2 = B(h_1 + 0,5\alpha_2 h_2) = Bh_1 (1 + 0,5\alpha_2), \quad (2)$$

а для лотка с заложением бокового откоса  $m_1 > 0$  (рис. 3)

$$\omega = B \left( h_1 + 0,5\alpha_2 h_1 + \frac{m_1}{B} h_1^2 \right) = Bh_1 \left( 1 + 0,5\alpha_2 + \frac{m_1}{\beta} \right), \quad (3)$$

где  $\beta$  — относительная ширина,

$$\beta = \frac{B}{h_1} = 2m_2\alpha_2. \quad (4)$$

Подставляя значения  $\omega$  из выражений (2)—(4) в формулу (1), соответственно имеем:

$$\Pi_k = \frac{\alpha Q^2}{g\omega^2} \frac{B}{\omega} = \frac{\alpha Q^2}{g\omega^2} \frac{B}{Bh_1(1+0,5\alpha_2)} = \frac{\alpha v^2}{gh_1(1+0,5\alpha_2)} = \frac{\Pi_{kпр}}{1+0,5\alpha_2}, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Pi_k &= \frac{\alpha Q^2}{g\omega^2} \frac{B}{Bh_1 \left( 1 + 0,5\alpha_2 + \frac{m_1}{B} h_1 \right)} = \frac{\alpha v^2}{gh_1 \left( 1 + 0,5\alpha_2 + \frac{m_1}{\beta} \right)} = \\ &= \frac{\Pi_{kпр}}{1 + 0,5\alpha_2 + \frac{m_1}{\beta}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Как видно из формул (5) и (6), значение параметра кинетичности потока в полигональном лотке  $\Pi_k$  меньше, чем  $\Pi_{kпр}$  в прямоугольном лотке. И результаты проведенных исследований показывают, что значения  $\Pi_k$  лотка полигонального сечения на 20...30 % меньше, чем  $\Pi_{kпр}$  прямоугольного лотка. Соответственно, в полигональном лотке с треугольным основанием снижается турбулентность потока и стабилизируется гидравлическая структура потока.

Из уравнения критического состояния потока (1) для лотка полигонального профиля можно определить критическую скорость потока:

$$\frac{\alpha Q^2}{\omega^2 g} \frac{B}{\omega} = 1 = \frac{\alpha v_{кр}^2 B}{gB(h_{1кр} + 0,5h_2)}, \quad v_{кр} = \sqrt{\frac{g(h_{1кр} + 0,5h_2)}{\alpha}}. \quad (7)$$

Критическую глубину  $h_{1кр}$  для лотка полигонального сечения можно определить по формулам С.О. Курбанова [9]:

$$h_{1кр} = \sqrt[5]{\frac{\alpha Q^2 2(m_2 \alpha_2 + m_1)}{g(m_2 \alpha_2^2 + 2m_2 \alpha_2 + m_1)^3}}, \quad (8)$$

при  $m_1 = 0$  формула (8) имеет вид

$$h_{1кр} = \sqrt[5]{\frac{\alpha Q^2 2m_2 \alpha_2}{g(m_2 \alpha_2^2 + 2m_2 \alpha_2)^3}}. \quad (9)$$

С учетом характеристик критического состояния потока и на основе приведенных формул легко выполняется гидравлический расчет лотка. В начале принимаются заложения откосов, оптимальные их значения лежат в следующих пределах:  $m_1 = 0 \dots 1,5$ ;  $m_2 = 2 \dots 5$ . Относительная глубина  $\alpha_2 = h_2/h_1$ , ее наиболее выгодное значение лежит в промежутке  $0,4 \dots 0,7$ . Задаваясь произвольными значениями  $h_1$  от 0 и выше, определяются гидравлические характеристики ( $\omega, \chi, R, C, v$ ) и  $Q$  по формулам Шези [9]. По полученным итогам строится график зависимости  $Q = f(h_1)$ , и по графику с учетом расчетного расхода лотка  $Q_p$  снимается искомое значение глубины верхней части сечения лотка  $h_1$ , по величине которой уточняются остальные характеристики лотка  $\omega, \chi, R, C, v$ . Далее определяется критическая глубина по формуле (8) или (9) в зависимости от значения  $m_1$  соответственно, и параметр кинетичности потока по формуле (5) или (6). И по величинам полученных расчетных значений проверяется состояние потока (бурное, спокойное или критическое) [8, 9]. По результатам расчета, если средняя скорость движения воды в лотке  $v$  имеет значение  $8 \dots 10$  м/с и более, в обязательном порядке необходимо предусмотреть в основании лотка износостойкое крепление, показанное на рис. 3 или 4. В случае попадания в лоток большого количества крупных наносов и при относительно малых скоростях ( $3 \dots 4$  м/с и более) необходимо предусмотреть крепление, устойчивое к абразивным воздействиям наносов. Высоту лотков необходимо принять на  $0,5 \dots 1$  м выше критической глубины в зависимости от класса капитальности сооружения. При этом следует отметить, что критическая глубина полигонального лотка получается значительно меньше, чем такая же глубина прямоугольного лотка. Результаты проведенных натурных и теоретических исследований показывают, что вероятность обеспечения гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности прямоугольных лотков составляет около 0,7, а лотков полигонального сечения повышается до 0,98 [2, 10, 11].

Таким образом, предлагаемые новые технические решения по транзитным лоткам и усовершенствованная методика их гидравлического расчета позволяют повысить надежность и срок службы сооружений, а также снизить материальные затраты на строительство и эксплуатацию.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курбанов С.О., Созаев А.А. Повышение эксплуатационной надежности лотковых каналов призматического сечения // Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню воды. Махачкала : РИО ДГТУ, 2006. С. 242—247.
  2. Курбанов С.О., Созаев А.А. Расчетное обоснование эффективности и надежности лотковых каналов призматического сечения // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2008. № 2. С. 84—87.
  3. Авторское свидетельство № 1640271. Гидротехнический канал / Курбанов С.О., Ханов Н.В. Бюл. № 13. М., 1991.
  4. Патент на изобретение № 2336390 E02B 5/02. Способ возведения гидротехнического лотка полигонального профиля / С.О. Курбанов, А.А. Созаев. Бюл. № 29. 20.10.2008.
  5. Патент на изобретение № 2369688 E02B 5/00. Гидротехнический канал из сборных железобетонных элементов / С.О. Курбанов, А.А. Созаев. Бюл. № 28. 10.10.09.
  6. Патент на изобретение № 2366778 МПК E02B 5/00. Способ возведения лотка полигонального профиля из сборных железобетонных блоков / Курбанов С.О., Созаев А.А. Бюл. № 25. 10.09.09.
  7. Курбанов С.О., Ханов Н.В. К гидравлическому расчету наивыгоднейших сечений энергетических каналов полигонального профиля // Гидротехническое строительство. 2003. № 7. С. 40—44.
  8. Курбанов С.О., Ханов Н.В. К расчету критических глубин каналов полигонального профиля // Гидротехническое строительство. 2004. № 3. С. 42—44.
  9. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Кн. 2. М. : Энергоатомиздат, 1991. 367 с.
  10. Мицкхулава Ц.Е. О надежности крупных каналов. М. : Колос, 1981. 318 с.
  11. Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Колганов А.В. Эксплуатационная надежность оросительных систем. М. : Росинформагротех, 2005. 392 с.
1. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Povishenie ekspluatatsionoy nadejnosti lotkovih canalov prizmaticheskogo secheniya // Sbornic statey Vserossiyskoy nauchno-practicheskoy conferentsii, posvyashennoy Vsemirnomu dnyu vodi. Mahachcala : RIO DGTU, 2006. S. 242—247.
  2. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Raschetnoe obosnovanie efectivnosti i nadejnosti lotkovih canalov prizmaticheskogo sechenia // Izvestiy vuzov. Severo-Cavcazskiy region. Technicheskie nauki. 2008. № 2. S. 84—87.
  3. Avtorskoe svidetelstvo № 1640271. M., 1991. Gidrotehnicheskij kanal / Kurbanov S.O., Hanov N.V. Bul. № 13.
  4. Patent na izobretenie № 2336390 E02B 5/02. Sposob vozvedeniya gidrotehnicheskogo kanala poligonalnogo profilya / Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Bul. № 29. 20.10.2008.
  5. Patent na izobretenie № 2369688 E02B 5/00. Gidrotehnicheskij kanal iz sbornih jelezobetonnih elementov / Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Bul. № 28 10.10.09.
  6. Patent na izobretenie № 2366778 МПК E02B 5/00. Sposob vozvedeniya lotka poligonalnogo profila iz sbornih jelezobetonnih blocov / Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Bul. № 25 10.09.09.
  7. Kurbanov S.O., Hanov N.V. K gidravlicheskomu raschetu naivigodneyshih secheniy energeticheskikh kanalov poligonalnogo profilya // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. 2003. № 7. S. 40—44.
  8. Kurbanov S.O., Hanov N.V. K raschetu kritichescih glubin kanalov poligonalnogo profilya // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. 2004. № 3. S. 42—44.
  9. Shterenliht D.V. Gidravlika. Kn. 2. M. : Energoatomizdat, 1991. 367 s.
  10. Mirskhoulava Ts.E. O nadejnosti krupnih kanalov. M. : Kolos, 1981. 318 s.
  11. Shedrin V.N., Kosichenko Y.M., Kolganov A.V. Ekspluatatsionaya nadejnost' orositelnich system. M. : Rosinformagrotech, 2005. 392 s.

© Курбанов С.О., Созаев А.А., 2010

Поступила в редакцию в июне 2010 г.

**ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ  
И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ.  
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

УДК 711.4.01

**Г.Е. Игнатов**

**ПАРАДИГМА ПРОЕКТНОГО СОЗНАНИЯ И УТОПИЯ ФУТУРИЗМА**

Рассмотрена конструкция «складки» или перелома проектного сознания, сформировавшаяся в футуризме начала XX в., изучаются вопросы становления футуризма как проектного образа мысли. Проводится параллель между утопическим сознанием и проектным мышлением, формирующим план организации будущего бытия.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** города будущего, техноутопия, бездна, проектное сознание, футуризм, урбанизация.

This article focuses on the design of the “folds” of the project consciousness, formed in the early 20th century Futurism. Author researches the problems of Futurism history as a project consciousness development. Article draws a parallel between utopian consciousness and design thinking, shaping the future of life. A look back is a new “history project” and in the light of the “modernity projections” refers to it as the “new vision”, a reading-reconstruction of past versions.

**К e y w o r d s:** the city of the future, tehno-utopia, abyss, project consciousness, futurism, urbanization.

Проектная утопия Благорода или «справедливого общества» может превратиться в творческий революционный процесс, когерентность которого мировому целому реализуется в пульсациях жизненных порывов конкретных исторических личностей.

Такой личностью в начале прошлого века «явился в социальный мир» Филиппо Томмазо Маринетти, маргинальный современник Ницше, Бергсона и других выдающихся философов, перевернувших мир и открывших Бездну. Они переживали всеохватывающее чувство обновленного порядка, «абсолютной» морали и вселенской сопричастности, постоянно предлагая другим людям дар «своего гения».

Под «реализмом» Маринетти понимал «ультрареализм», в первую очередь, «техномир», отрицательно отмеченный в рациональности знания: «в человеке засела непреодолимая неприязнь к железному мотору», а поскольку преодолеть эту неприязнь, согласно Маринетти, может «только интуиция, но не разум», — он выдвигает программу преодоления разума: «Я хотел разбудить в вас врожденную интуицию и вызвать отвращение к разуму», или «Давайте вырвемся из насквозь прогнившей скорлупы Здравого Смысла», и то-

гда, «когда будет покончено с логикой, возникнет интуитивная психология материи». Результатом элиминации постулатов старой рациональности должно стать осознание того, что «господство человека» сменит новый социальный порядок, основанный на «силе техники».

«Корень всех вещей, — провозглашал Маринетти, — возможное, то есть незавершенное тотальное новаторство». Открытость всех утопий состоит во временной опережающей неадекватности, что, впрочем, вовсе не негативный, а скорее факт со знаком «плюс». Это дорога к освобождению, ибо надежда и ожидание расширяют горизонт человека, а не поперечат ему. Здесь всегда есть потребность в творческих личностях и их эпигонах, активирующихся в пространстве становящегося.

Пробужденный манифестом Маркса «Призрак» социальной революции уже «бродил по Европе». Стратегия мирового переворота в умах и социуме приобретала особую позицию в сфере искусства и архитектуры, оказывая влияние на все жанры утопического мышления сложными композициями, «пейзажами с несколькими точками зрения», осуществляя на практике свое учение о множественной перспективе.

Благодаря Бергсону и общему направлению мысли, связанной с традицией французского символизма и зарождением итальянского футуризма, появился новый архитектурный сюжет общественного подъема и взлета личности, ставший типичным для «философии будущего» начала прошлого века, — мегаполис как коллективное выражение современного индустриального общества. Анархический дух футуризма выразился двояко: в «преодолении» древнего Олимпа, как символа истории, и в прямом его преодолении как заоблачной вершины — пика социально-технологического развития общества.

Этот исторический манифест «вертикального покорения пространства» ассоциировался с бурным ростом небоскребостроения в США. Высотная архитектура в Новом Свете в обличьях стиля «ар-деко», который на тот момент уже вырос из национально-стилистических одеяний ар-нуво, югендштиля, либерти, сецессиона и русского модерна, отразила фундаментальный отказ от европейской рациональности и классического типа организации социокультурного пространства. Философия Анри Бергсона с его мыслями о всеобщей текучести, изменчивости, динамизме, также как и «внелогическая интуитивная эстетика» Бенедетто Кроче, в современной интерпретации «панэстетика» Ж.Ф. Лиотара, и, прежде всего, парадоксальная антиутопия «сверхчеловека» Фридриха Ницше сыграли ключевую роль в формировании концепции идеальных «городов будущего». Именно «городов», «городского образа жизни», поскольку понятие «деревня» выступало синонимом крестьянской «отсталости», а города всегда были очагами идеологического творчества, создающего собственные мифы и утопии.

Синтагма (целостно-образное словосочетание) «города будущего» трансформировалась в урбанизированное будущее, где: «будущее — не за деревней, а за городом». Футуристами все дезурбанизированные поселения трактовались как устаревшие. Из мира «невозможного» родилась новая реальность совершенного урбанизма: не «города, а мегаполисы», не «башни, а облакоскребы», что отозвалось в «Манифесте футуризма»<sup>1</sup>. Авторы манифеста стремились развить и рас-

<sup>1</sup> Ф.Т. Маринетти опубликовал первый «Манифест футуризма» 20 февраля 1909 г. в парижской

ширить динамичное мироощущение грядущего «до заоблачных вершин»<sup>2</sup>. Архитектура небоскребов возвратила себе звание матери всех искусств, звание, возводящее поэтов и художников к новым вершинам творческих достижений.

Неслучайно футуризм (от лат. *futurum* — будущее) возник в издревле урбанизированной Северной Италии. Страна-музей виделась архитектурной средой, в которой возник бунт против классической усталости и истощенности смысловых образов культуры, бунт против культурного мещанства, старой стилистики эпохи, ставший, в свою очередь, питательной средой для будущих социальных антиутопий. Эстетический нигилизм, принципиальный отказ от классической художественной традиции, включающей классическую теорию архитектурной композиции [1], намечается с выступлений французских импрессионистов, постимпрессионистов и кубистов, достигая своего апогея в первом самосознающем свою авангардность движении итальянских футуристов.

Первый коллективный манифест итальянских художников-футуристов, обнародованный в 1910 г., год спустя после первого манифеста Маринетти, выразил полную солидарность с ним и поддержал, прежде всего, решительный отказ от тесных духовных рамок этого общества:

«Крик возмущения, которое мы выражаем, соединяет наши идеалы с идеалами поэтов-футуристов. Эти идеалы не изобретены какой-то кликой эстетов. Они есть выражение сильного желания, которое кипит в жилах каждого творческого художника современности. Мы взываем против бесхребетного культа старых холстов, старых статуй, старых безделушек, против всех отбросов, изъеденных червями и коррозией времени. Мы полагаем, что обычное презрение ко всему, что молодо, ново и пылает жизнью, неправильно и даже преступно.

Товарищи, мы скажем вам теперь, что триумфальный прогресс науки делает глубокие изменения в человечестве неизбежными; эти изменения разрушат пропасть между покорными рабами традиций прошлого и нами, свободными современниками, которые верят в сверкающее великолепие нашего будущего. Мы ослаблены отвратительной леностью художников, кто, начиная с шестнадцатого века, бесконечно использовал славу римлян. В глазах других стран Италия — страна мертвых, огромная Помпея, белый могильник. Но Италия перерождается...

Прочь от наемных реставраторов античных инкрустаций. Прочь от притворных археологов с их хронической некрофилией... Долой все мраморные обломки, которые загромождают наши площади и профанируют наши кладбища... Долой трудолюбивых декораторов, фальшивых керамистов, продажных рекламных художников и дрянных идиотических иллюстраторов. Это наше окончательное решение. С нашей энтузиастической приверженностью к футуризму, мы хотим:

1) разрушить культ прошлого, одержимость античным, педантичным и академическим формализмом; 2) полностью обесценить все виды имитации;

---

газете «Фигаро». В России он был переведен с французского и напечатан через две недели в газете «Вечер» 8 марта 1909 г. В 1914 г. он написал теоретический трактат о художественном языке архитектуры и литературы «Великолепные геометрии и механики и новое численное восприятие».

<sup>2</sup> Словообразование «небоскребы» переросло «облакоскребы» позднее.

3) развивать все попытки оригинальности, даже вызывающие, даже грубые; 4) носить гордо и мужественно звание безумного, которым пытаются заставить замолчать новаторов; 5) считать художественную критику бесполезной и опасной; 6) восстать против тирании: «Гармония» и «хороший вкус» и других беспринципных выражений; 7) очистить все поле чистого искусства от всех тем и предметов, которые использовались в прошлом; 8) поддерживать и прославлять наш сегодняшний мир, который движется, чтобы быть бесконечно и великолепно трансформированным завоеваниями науки».

На научной ноте заключают свой коллективный манифест, опубликованный в виде листовки в Милане, художники Умберто Боччони, Карло Карра, Луиджи Руссоло, Джакомо Балла, Джино Северини.

«Конец века» есть «начало нового», констатировали темпоральность исторического развития футуристы. Антиутопии «другого мира», в суггестивных жестах пропагандировались поэтом-декадентом Д'Аннунцио<sup>3</sup>, человеком решительного действия и влияния на подсознательное. От него исходил концептуальный пафос «Манифеста»: «У нас нет жизни, а есть только одни воспоминания о более славном прошлом... Мы живем в великолепном саркофаге, в котором плотно привинчена крышка, чтобы не проник свежий воздух». Или радикальнее: «Музеи и кладбища! Их не отличить друг от друга — мрачные скопища никому не известных и неразличимых трупов» (Маринетти). В архитектурных «жестах» эгалитарный образ нарождающихся чернорубашечников воплотился в новаторском «Доме фашии» Джузеппе Терраньи, вошедшем в историю современной архитектуры как ее символ, но под именем «Дом профсоюзов». Поднять своих соотечественников на Олимп элиминации традиционного европо-культурного устройства — вот то, что, несомненно, стояло за эпатажно-эпическим стилем постоянных манифестов.

«Новое искусство может быть только насилием, жестокостью», — обосновывал «аристократический радикализм» Маринетти. Всего он выпустил более 80 различных манифестов и концептуальных программ, превратив их в своеобразный теоретический жанр самовыражения — гимн рабочей силе, индустриальной силе, пролетариату. «Без агрессии нет шедевра», «война — единственная гигиена мира», — небезуспешно внушал он впоследствии товарищам. Человек будущего в представлении эгалитарного искусства — это «механический человек с заменяемыми частями», символ веры, всемогущий герой — «сверхчеловек», циничный, жестокий и «лишенный всего слишком человеческого».

Насилие, жестокость, теснота остаются характерными чертами крупного города как такового. Мегаполис предстает на полотнах «ультрареалистов» будущего, на фоне «броуновского движения», турбулентности масс («Драка в Галерее» и «Нападение» У. Боччони<sup>4</sup>; «Похороны анархиста Галли» К. Карра)

<sup>3</sup> Габриеле д'Аннунцио был настолько популярен в России, что уже в 1904 г. в Киеве вышло его полное собрание сочинений. Акмеист Н.С. Гумилев в журнале «Гиперборей» даже опубликовал «Оду д'Аннунцио». Последний, получив «власть над умами», мечтал о полном господстве в мире. «Новый римский цезарь», по мнению д'Аннунцио, будет способен построить и перебросить в будущее тот идеальный мост, по которому «привилегированные породы» смогут, наконец, перейти пропасть, теперь еще отделяющую их, по-видимому, от вождя желанного господства.

<sup>4</sup> Умберто Боччони — лидер движения футуристов — совместно с Маринетти был соавтором «Технического манифеста футуристической живописи» (1910), «Программы футуристской политики» (1913), автором «Технического манифеста футуристической скульптуры» (1912).

или направленного восприятия архитектурных образов бытия («Восставший город», «Состояние оживления», «Мощь улицы», «Под перголой в Неаполе» Умберто Боччони, «Девушка, переходящая балкон» Джузеппе Балла и т.д.). В моделирующей плоскости холста динамика жизни выражается в том, что изображения объектов, по сюжету находящихся в движении, изменяют облик, их очертания как бы колеблются, и представляют взаимопересекающиеся формы и плоскости, вихреобразно «устремленные в бесконечность своими силолиниями, протяженность которых измеряется только интуицией художника. В скульптуре — так же силолинии, взаимопроникновение поверхностей, введение различных материалов. По свидетельству известного советского футуриста Б. Лившица, У. Боччони, хотя и утверждал, отдавая дань фетишистскому преклонению перед машинизмом, что закрывающийся и открывающийся клапан рождает ритм, несравненно более прекрасный и новый, чем веко животного, однако «все эти движущиеся поршни, зубчатые колеса, вращающиеся пропеллеры привлекают к себе Боччони не как символы сверх индустриальной современности, а как пластические элементы, от использования которых не вправе отказаться скульптор-футурист» [2, с. 184].

Сами названия литературных сборников: «Поджигатель» Палаццески, «Пистолетные выстрелы» Лучини, «Электрические стихи» Говони, «Штыки» д'Альбы, «Гимн моторов» Фольгоре, «Аэропланы» Буцци, — программно ориентированы на техномир и агитационно-революционные лозунги движения к нему. Словосложение было протестом против диктата рациональной логики языка над спонтанностью мысли. Товарищество футуристов вовлекло в композиции все органы ощущений и технические средства, прежде всего интуицию и воображение. «Наши холсты, — писал Карло Карра, — будут выражать пластические эквиваленты звуков, шумов и запахов в театре, в музыке, в зале кино, в публичном доме, на железнодорожном вокзале, в порту, гараже, клинике, мастерской». «Пластические эквиваленты», а не образные метафоры, не сюжетно-изобразительное сходство, а глубинный смысл, вот что выделял Карра. С позиций современного синергического типа мышления, «силолинии», энергетический порыв, напряжение, созидательная спонтанность, интуиция, нелинейность и множественность позиций и перспектив, имеют естественнонаучное обоснование и актуализированы в философии постструктурализма.

Философия жизни переносилась в моделирующую сферу «живописного станковизма». Впоследствии сам станковизм из плоскости перерос в реальное городское пространство площадей и улиц. При этом футуризм всячески стремился показать, что пространство, вобравшее в себя линию, звук, цвет и свет само по себе может быть достаточно выразительным, с ним надо экспериментировать, расширять его трансцендентные возможности. Актуализировалось «искусство организации пространства» — именно тогда архитектура приобрела данное функциональное определение.

Архитекторы и художники-футуристы с предельным социальным оптимизмом обратились к театру, чтобы по-новому экспериментировать с пространством и временем, монтировать не эффекты, а аффекты и переживания, используя динамичные цвето-, звуко- и светотехнические, а также другие сценографические приемы и средства выражения. «Сцена, — писал Э. Прампolini в «Манифесте футуристической сценографии», — будет не живописным фоном, а электромеханической нейтральной архитектурой,

мощно оживляемой хроматическими эманациями светового источника, проводимыми электрическими рефлекторами с разноцветными стеклами, — в соответствии с психической сущностью каждого отрезка сценического действия. Световое излучение этих пучков, этих световых плоскостей, динамические их комбинации приведут к замечательным результатам — взаимопроникновению, взаимопересечению света и тени. Родятся пустые провалы, ликующие световые ступки. Эти дополнения, эти ирреальные столкновения, это изобилие ощущений в сочетании с динамическими архитектурными конструкциями сцены, которые будут двигаться, размахивая металлическими руками, опрокидывая пластические поверхности, среди новых, современных шумов, увеличат «жизненную напряженность сценического действия». Прампolini продемонстрировал иное видение экзистенции — событийности нового футуристического типа, в которой не играют, а живут, и не артисты, а действующие лица — акторы. Полностью перевоплотившись они «смогут создать неожиданные динамические эффекты, которыми до сих пор пренебрегали или очень мало их использовали, в основном из-за старого предрассудка, призывающего имитировать и показывать реальность» [3, с. 66].

Новая модель театра по Прампolini — это перенесение в сценографическое пространство футурпроектов архитекторов, скульпторов и живописцев, которые они разрабатывали в своих ателье, мастерских, лабораториях, а то и прямо на подмостках перфомансов. Кинетические проекты неопластических композиций синтезировались в единый сплав пластических, хроматических, архитектурно-пространственных элементов: линий, плоскостей, объемов, движений, звуков, шумов, запахов и тактильных ощущений. Как описывал Прампolini, «нужно вымести все уже использованные сюжеты, чтобы выразить нашу вихревую жизнь стали, гордости, лихорадки и быстроты» [4, с. 121].

Ницшеанский «суперчеловек» и, скорее всего, интерпретированный им «Моби Дик» Меллвила, в свою очередь прообраз ученика Конфуция философа-утописта Мо Би, в образе Заратустры явил собой приметку времени, обозначив вековую складку, исторический изгиб, крутой трамплин в Бездну, для индустриального скачка, перевоплотившись в мечту о «механическом человеке», мечту о всемогущем роботе, о грядущей «машинизации» бытия и «оцифровке сознания». Ницше смоделировал, что интенция разума, его стремление и желания Заратустры в Тихом океане «Моби Дика», с лежащей в их основе «волей к власти» над территориями, телами и умами, есть критерий оценки прошлого, настоящего и будущего... Но, к счастью, не все получилось...

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Добрицина И.А. Теория композиции как поэтика архитектуры. М. : Прогресс-Традиция, 2002. 568 с.
2. Лившиц Б. Полутораглазый стрелец: Воспоминания. М. : Худож. лит., 1991.
3. Бобринская Е. Футуризм. М., 2000.
4. Березкин В.И. Итальянские футуристы и театр // Вопросы театра. М., 1993.
1. Dobritzina I.A. Teoriya kompozitsii kak poetika architekturi. M. : Progress-Traditsiya, 2002.
2. Livshitz B. Polutoraglazyy streletz : Vospominaniya. M. : Hudozhestv. lit., 1991.
3. Bobrinskaya E. Futurizm. M., 2000.
4. Berezkin V.I. Ital'yanskije futuristi i teatr // Voprosi teatra. M., 1993.

© Игнатов Г.Е., 2010

Поступила в редакцию  
в июле 2010 г.

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА.  
УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ**

УДК 711.553.9 (470.45)

**Е.С. Бачурина, Н.В. Иванова, М.С. Соколов**

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ  
В РАЗВИТИИ НАЗЕМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ АВИАЦИИ  
НА ПРИМЕРЕ АЭРОУЗЛА ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

На примере Волгоградской области приведено обоснование принципов градостроительной и планировочной преемственности инфраструктуры региональной авиации, формирующейся на базе существующих аэродромов, в контексте исторического развития территории и трансформации ее функционального назначения.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** аэродром, планировочная структура, инфраструктура региональной авиации, Волгоградская область.

The authors give substantiation of principles of urban planning and planning continuity of infrastructure of regional aviation which forms on the base of existent airfields in the context of historic development of territories and transformation of its functionality. Volgograd region is considered as an example.

**К e y w o r d s:** airfield, planning structure, infrastructure of regional aviation.

В крупных городах с увеличением интенсивности эксплуатации индивидуального автотранспорта, часто не сопровождающейся достаточными темпами развития сопутствующей наземной инфраструктуры, возникает необходимость в развитии альтернативных транспортных систем, не связанных с долгосрочными проектами. Такой альтернативой и неотъемлемой составляющей инфраструктуры современного общества, стимулирующей экономическую активность и мобильность населения, становится малая авиация.

Развитие малой авиации начинается с удобной, оптимально спланированной наземной инфраструктуры, восстановления сети региональных аэродромов. Именно проблематика сохранения и восстановления существующей аэродромной сети, доставшейся современной России от Советского союза и эффективно функционирующей до 90-х гг. двадцатого века, актуальна на сегодняшний день как предмет социально-экономических исследований [1].

Авторами было проведено исследование аэродромной базы Волгоградской области в контексте исторического формирования объектов. На примере Волгоградской области восстановлена хронологическая последовательность наложения планировочных особенностей региональных аэродромов, изучены

возможные направления дальнейшего развития. Подобным образом можно проследить генетику аэродромной базы других регионов.

Процесс формирования аэроузла Волгоградской области условно можно разделить на пять периодов: с 1930 г. по 1941 г. (аэродромная база Сталинградского военного авиационного училища); с 1941 г. по 1945 г. (аэродромная база Красной армии и армии Люфтваффе в период Великой Отечественной войны и Сталинградской битвы); с 1945 г. по 1954 г. (послевоенный период, функционирование авиации в условиях общего становления экономики); с 1954 г. по 1998 г. (аэродромная база Качинского летного училища); с 1998 г. по настоящее время (период деградации аэродромной базы).

Первый период характеризуется становлением аэродромной базы: выбором площадок, наиболее оптимальных по погодным условиям, рельефу и удаленности от города. Тип эксплуатируемых самолетов не требовал обустройства взлетно-посадочных полос с искусственными покрытиями, основными показателями при выборе местоположения являлись роза ветров и погодные условия, характеристики грунтов летного поля, привязка к транспортным путям и населенным пунктам. В этот период эксплуатировалось четырнадцать грунтовых аэродромов: Бекетовский, Песчанка, Воропоново, Центральный, Гумрак, Россошка, Разгуляевка, Конный, Городище, Латошинский сад, Пичуга, Дубовка, Котлубань, Качалино [2].

Второй период характеризуется бурным темпом аэродромного строительства, обусловленного стратегической необходимостью. Оборудование аэродромов на территории Волгоградской области и в граничащих с ней областях велось как Красной армией, так армией фашистской Германии. К 1942 г. в Волгоградской области сформировано более 30 аэродромов, три из которых с железобетонным покрытием взлетно-посадочных полос [3]. Использовались как существующие наземные базы, так и новые площадки, соответствующие стратегическим задачам воюющих сторон. Приоритетными факторами при строительстве аэродромов в этот период являлись удаленность от линии фронта, наличие транспортных коммуникаций, обеспечивающих снабжение и сообщение подразделений, базирующихся на аэродромах. В этот период сформировалась разветвленная аэродромная сеть, включающая в себя следующие объекты: Бекетовский, Песчанка, Воропоново, Центральный, Гумрак, Россошка, Разгуляевка, Котлубань, Качалино, Новополтавка, Абганерово, Кривомузгинский, Суворикино, Быково, Урюпинск (2 аэродрома), Новоаннинский (2 аэродрома), Алексеевка (2 аэродрома), Солодча (3 аэродрома), Фролово, Райгород, Средняя Ахтуба, Питомник, Песковатка, Чернышковский, Киквидзе, Котельниково и др. [3].

Послевоенный период развития авиационных перевозок и аэродромостроения проходил на фоне всеобщего восстановления экономики, материально-пространственной среды. Только к 1952 г., когда в Сталинграде была восстановлена работа большинства довоенных предприятий, возобновилось полноценное авиасообщение между районами области, с другими регионами. Северо-Кавказским управлением гражданской авиации в этот период принимается решение о переводе аэропорта с аэродрома Воропоново на аэродром Гумрак. При выборе местоположения учитывались характеристики летного поля, достаточные для обеспечения безопасной работы авиации при увеличении ее интенсивности, наличие сформированной инфраструктуры, удаленность от города.

В 1954 г. в Сталинград переводят Качинское училище. Район Сталинграда был выбран как наиболее оптимальный по метеоусловиям (почти 300 летних дней в году), положительным фактором было также наличие аэроузла ранее базировавшегося здесь Сталинградского летного училища, выбранного для этих целей еще в 1927 г. высококвалифицированными специалистами из Германии [2].

Первоначально Сталинградский аэроузел составляли три постоянных аэродрома: Центральный, Бекетовский, Котельниково — и шесть лагерных, полеты на которых осуществлялись только летом: Абганерово, Целина (Ростовская область), Райгород, Жутово, Гумрак, Зимовники (Ростовская область). Затем были освоены еще несколько аэродромов, функционирующих во время Великой Отечественной войны: Староселье, Лог, Лебяжье, Тацинская (Ростовская область), Морозовск (Ростовская область), Красный Яр. Большинство этих аэродромов располагались вблизи железных и автомобильных дорог [4].

Период с 1998 г. характеризуется стагнацией региональных авиаперевозок, деградацией аэродромной базы.

В последнее время наметились положительные тенденции восстановления сети местных аэродромов [1], связано это, прежде всего, с общим повышением спроса на услуги бизнес-авиации, развитием авиатуризма, необходимостью оптимизации местных транспортных систем. В рамках законодательных мер по развитию регионального авиасообщения особым пунктом стоит развитие и восстановление наземной инфраструктуры.

Каждый из последующих периодов в развитии наземной авиационной инфраструктуры Волгоградской области имел в своей основе базу, заложенную предыдущим периодом. С 1920-х г. XX в., когда авиация только начинала развиваться как вид транспорта, и по 1998 г. (расформирование Качинского училища) сохранялась градостроительная преемственность территорий, выбранных под строительство аэродромов. В течение более полувековой истории аэродромной базы Волгоградской области происходило наложение объектов с усложнением их наземного обеспечения, связанного с развитием авиационной техники, изменением статуса (аэропорт Гумрак, Бекетовка, Котельниково, Лебяжье, Мариновка), требующими более проработанной организации всех сопутствующих процессов. В разные периоды региональные аэродромы обеспечивали работу сельскохозяйственной, санитарной и гражданской авиации.

Наглядно процесс планировочной трансформации можно проследить на примере аэродрома Гумрак.

28 ноября 1941 г. Сталинградский городской комитет обороны поручил специальной комиссии подготовить проект строительства аэродрома с жестким покрытием на станции Гумрак [5]. Аэропорт города в то время функционировал на аэродроме Воропоново у станции М. Горького, аэродром Гумрак использовался в учебных целях.

Ввиду военной обстановки, необходимости снабжения армии и оборонных заводов и эвакуации жителей с сентября по декабрь 1941 г. строится железная дорога Гумрак — Владимировка (Астраханская область) протяженностью более 160 км с железнодорожной переправой через Волгу [6]. Стратегическим назначением данного железнодорожного направления определялось обеспечение кратчайших связей между машиностроительными и металлургическими заводами Сталинграда и сырьевой базой Урала и Сибири [6].

Наличие железной дороги положительно сказалось на выборе места под строительство постоянного аэродрома с жестким покрытием. Незадолго до наступления немецко-фашистской армии на Сталинград планировочная схема аэродрома выглядела следующим образом (рис. 1).

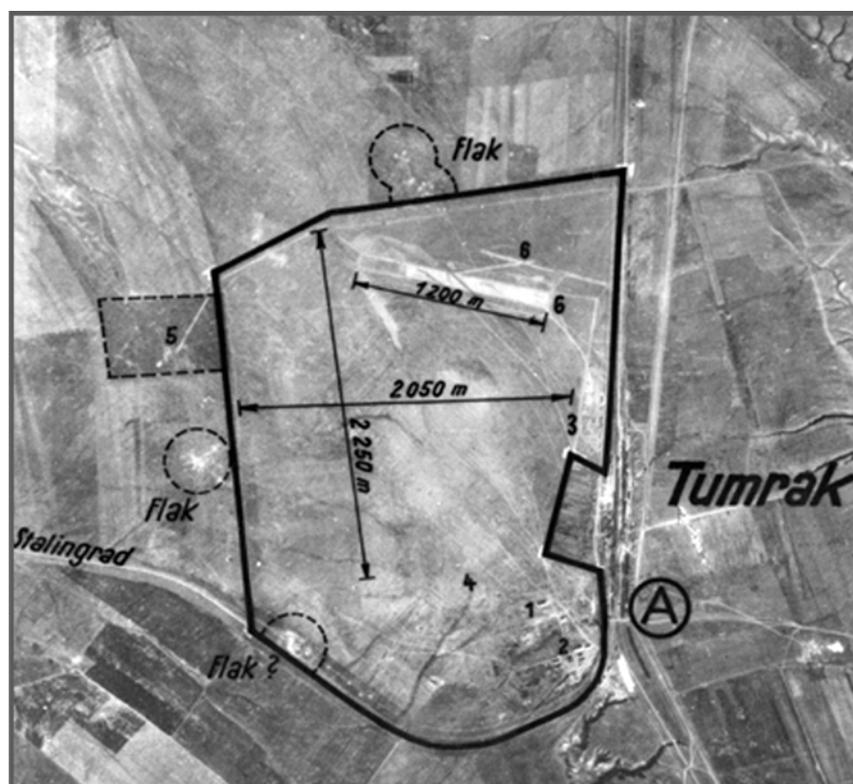


Рис. 1. Схема аэродрома Гумрак 1942 г. (немецкая аэрофотосъемка 13.07.1942)

По данным немецкой аэрофотосъемки к июлю 1942 г. на территории находилось две строящиеся взлетно-посадочные полосы длиной 1200 м, один ангар для ремонта самолетов, прирельсовый склад, авиагородок, капониры для укрытия самолетов, пеленгующие системы и несколько зенитных установок.

Планировочная организация территории этого периода соответствует стратегическим задачам военного аэродрома и представлена соотношением минимального набора функций.

В 1952 г. в Гумрак переводят гражданский аэропорт. На летном поле к этому времени остается полуразрушенная взлетно-посадочная полоса, контрольно-диспетчерский пункт и электростанция. В виду перемены статуса аэродрома с военного на гражданский меняется и планировочная организация восстанавливаемого объекта.

В 60—70-х гг. XX в. аэродром Гумрак интенсивно развивается как Волгоградский аэропорт. В этот период строятся два аэровокзала, здания для обслуживания самолетов ТУ-134 и АН-2, укрупняется авиационно-техническая база, благоустраивается территория аэропорта. В 1964 г. завершается строительство новой взлетно-посадочной полосы (с другим магнитным курсом и параметрами рабочей поверхности) длиной 2500 м, шириной 49 м (рис. 2).

С 1976 г. авиапарк пополняется самолетами ТУ-34 и ЯК-40, продолжается строительство производственных сооружений. В этот период авиация широко применяется в народном хозяйстве [7]. Дополнительно к основной системе взлетно-посадочных полос и рулежных дорожек обустраиваются две пересекающиеся грунтовые полосы длиной 550 м, шириной 100 м у северо-восточной границы аэропорта для сельскохозяйственной авиации.

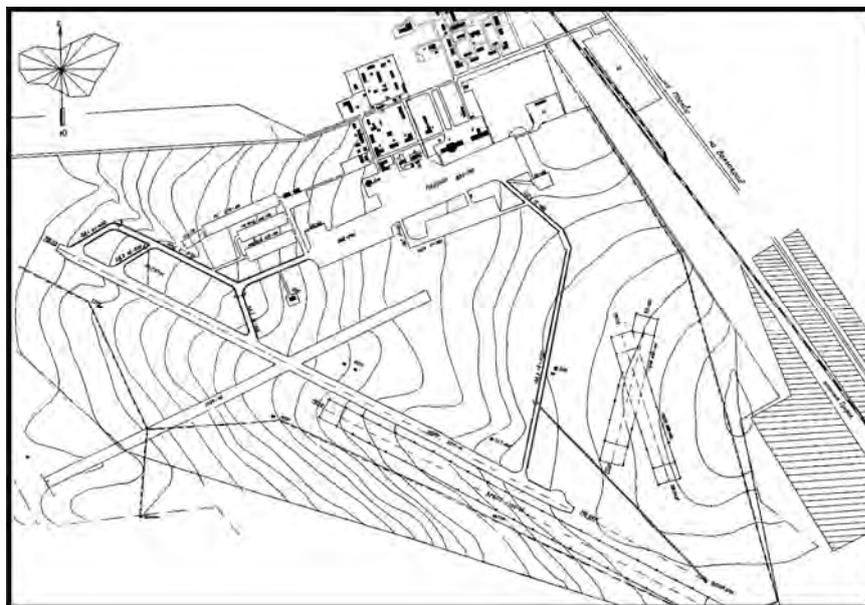


Рис. 2. Схема аэропорта Гумрак в период с 1970-х гг.

Планировочная организация территории этого периода соответствует технологическому процессу крупного аэропорта: в составе объекта появляется пассажирско-грузовой сектор, усложняется система взлетно-посадочных полос и рулежных дорожек, принципиально меняется схема расстановки воздушных судов на местах стоянок (с рассредоточенной, характерной для военных аэродромов, на локальную, соответствующую технологическому процессу гражданского аэропорта). Относительно неизменными факторами остаются природно-климатические условия района (скорость, направление, интенсивность ветра, количество солнечных дней), рельеф летного поля, наличие автомобильной и железной дороги.

В 1994 г. аэропорт получил статус международного, в 2008 г. — статус федерального аэропорта. В соответствии с последними тенденциями формирования на базе крупных аэропортов транспортно-логистических комплексов (рис. 3) в проект «Схема территориального планирования Волгоградской области» до 2025 г. были внесены предложения по развитию аэропорта в данном направлении [8].

На фоне общих социально-экономических процессов под влиянием изменения потребительского спроса на различные виды услуг усложняется планировочная организация такого показательного объекта как аэропорт. С включением новых функций возникает необходимость в реконструкции наземной инфраструктуры.

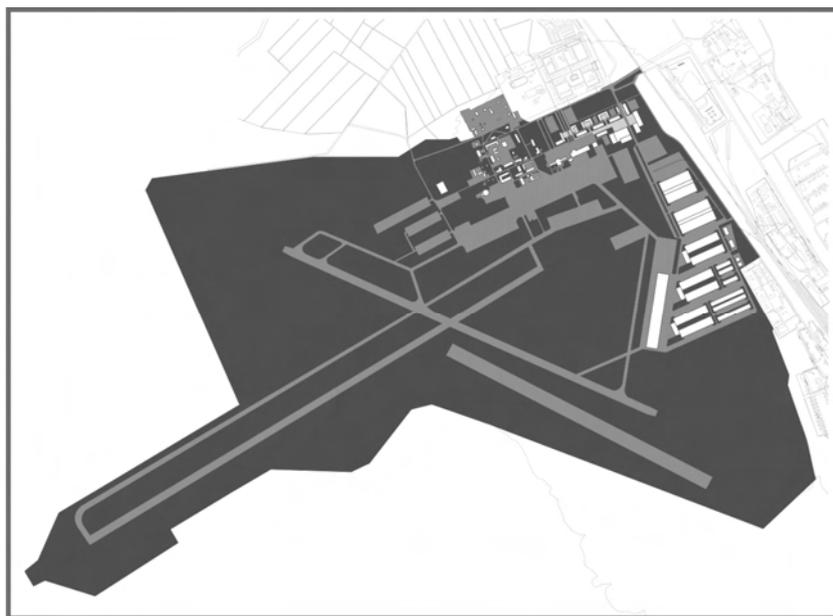


Рис. 3. Схема возможного развития многофункционального транспортно-логистического комплекса на территории аэропорта Гумрак

Изучив планировочную генетику аэропортов и аэродромов, состоявшихся в пределах своего целевого назначения, возможно спрогнозировать пути их дальнейшей функционально-пространственной трансформации и смоделировать процесс планировочного развития объектов, имеющих высокий потенциал (как элементы транспортной, рекреационной, социально-экономической системы), но еще не реализованных в рамках данной функции.

При этом целесообразнее придерживаться принципов градостроительной преемственности территорий, основанной на сложившихся планировочных элементах, инженерной и транспортной инфраструктурах, природно-климатических факторах, ландшафтных характеристиках местности, наличии свободных воздушных подходов и сложившихся трасс.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козочкина О.А. Социально-экономическое обоснование развития региональной аэродромной (аэропортовой) сети в Российской Федерации : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05. М., 2009. 24 с.
2. Мануиров Ю.А. Сталинградские соколы. Волгоград : Пилот, 2007. 159 с.
3. Сталинградская битва. Июль 1942 — февраль 1943 : энциклопедия / под. ред. М.М. Загоруйко. 2-е изд., испр. и доп. Волгоград : Издатель, 2009. 752 с.
4. Кохан П.П. Они создали Качу. Волгоград, 2006. 288 с.
5. Сталинградский городской комитет обороны в годы Великой Отечественной войны : док. и материалы / сост. М.М. Загоруйко (рук.) и др. ; Науч.-исслед. ин-т пробл. экон. истории России XX в. Волгогр. гос. ун-та. Волгоград, 2003. 904 с.
6. Болотов Н.А., Ополев М.Н. Железнодорожники Нижнего Поволжья в годы Великой Отечественной войны : монография. Волгоград : Перемена, 2007. 187 с.
7. Международный аэропорт Волгоград / официальный сайт [Электронный ресурс]. <http://www.mav.ru>.
8. Администрация Волгоградской области / официальный сайт [Электронный ресурс]. <http://www.volganet.ru>.

Поступила в редакцию в мае 2010

© Бачурина Е.С., Иванова Н.В., Соколов М.С., 2010

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА**

УДК 72.01

**И.Н. Тюкова (Тур)**

### **ОЦЕНКА ВИЗУАЛЬНОГО КОМФОРТА ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА МЕТОДАМИ ФОРМАЛЬНО-ДЕКОРАТИВНОГО АНАЛИЗА И ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ОТКЛИКА (НА ПРИМЕРЕ Г. ВОЛГОГРАДА)**

Исследование посвящено поиску решений повышения визуального комфорта городского пространства. Обозначена роль цвета в формировании эмоционального воздействия архитектурных пространств на человека и филогенетическая связь эмоции и цвета. Проведен анализ филогенетического образа идеального города и г. Волгограда. Описаны методы оценки визуального комфорта: метод формально-декоративного анализа и метод эмоционального отклика.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** визуальная экология, городское пространство, визуальное восприятие, филогенетический, идеальный город, эмоциональный отклик.

The paper is aimed to describe possible solutions to improve urban space visual comfort. Role of color is designated in emotional impact formation of architectural spaces on people. Phylogenetic relationship between emotions and colors was established by the author. Volgograd city is compared with an ideal city. Formal analysis method and decorative technique of emotional response were described as methods of visual comfort evaluation.

**К е у w o r d s:** visual ecology, urban space, emotions, visual perception, ideal city, emotional response.

1. *Цвето-эмоциональный комфорт при визуальном восприятии.* Одной из самых значительных проблем современного города является недостаточная сбалансированность визуальных характеристик городских пространств. Проблема визуального комфорта имеет экологический характер и выражается в хроническом раздражении, апатии, депрессии жителей, о чем свидетельствуют социологические опросы горожан. Помимо претензий к однообразию форм, элементов сооружений, негармоничному соединению старого и нового строительства в городской застройке, часто встречающимися претензиями являются негативные цветовые характеристики городских пространств. К ним отнесены безликость, серость общего впечатления, однообразие цветового решения и отделки фасадов зданий, отсутствие ярких радостных оттенков или излишняя пестрота, также негармоничные и несбалансированные цветовые сочетания [1]. Большинство исследователей проблемы обеспечения визуального, а значит психологического комфорта, сходятся во мнении, что решение лежит в области психологии, психофизиологии и инженерной психологии. Однако психологический комфорт необходимо рассматривать и с

позиции комплексного анализа материальной среды, поскольку психологический комфорт является следствием зрительного восприятия объекта наблюдения, а причина этой мотивации — материализованное воплощение формообразующих факторов, в частности архитектурного пространства, как элементов, слагающих красоту образа. Поскольку архитектура призвана рожать эмоции защищенности, способствовать преодолению первобытных страхов и негативных эмоций, создавать условия для воспроизводства, творческого труда и полноценного отдыха, красота образа архитектурного пространства может и должна быть оценена с гуманистической, а значит экологической точки зрения. Как заметил А. Раппопорт по поводу эмоционального воздействия архитектуры и ее глобальной роли в жизни общества: «Архитектура в большей мере, чем другие искусства, выражает общую функцию культуры — нейтрализацию человеческих страстей, успокоение и возвращение душевного равновесия» [2]. В свете данных исследований становится очевидной мысль, что для повышения визуальной экологии городов необходимо закладывать сценарий эмоционального воздействия проектируемого пространства, который будет отвечать функциональному назначению проектируемых городских пространств. Для решения этих сложных задач необходимо подойти к вопросу решения городского пространства филогенетически, с позиции эмоционального воздействия цвета и формы пространства на ощущение визуального комфорта. Несмотря на то что в архитектурном проектировании вопрос формы и функции до настоящего времени является главенствующим, важно понимать, что именно цвет придает форме эмоциональную завершенность, включает генетические коды, приближая образ города к идеальному — городу, в котором хочется жить.

2. *Филогенетическая связь эмоции и цвета при создании образа идеального города.* Тема взаимозависимости формы, цвета и эмоции в городском пространстве недостаточно разработана, несмотря на то, что к ней обращались многие ученые прошлого и настоящего времени. В числе их можно назвать В. Гете, Р. Арнхейма, К. Линча, А. Иконникова, А. Раппапорта, С. Митягина, С. Соколова и др. В данном разделе статьи рассмотрим тему филогенетической взаимозависимости цвета архитектурного пространства и эмоции, возникающей при его восприятии.

Еще Гете в «Учении о цвете» разделил цвета на положительные, отрицательные и нейтральные и выявил законы уравнивания цветового восприятия и цельности [3]. Экологической составляющей цвета является и тот исследуемый и доказанный современными учеными факт, что цветовое воздействие на психический аппарат человека затрагивает не только его эмоции и характер, но и познавательные процессы и, прежде всего, мышление. В исследовании А.И. Берзницкаса (1980) [4] подмечено, что для таких эмоций, как «догадка», «удивление», «уверенность», общим является выбор самых ярких и светлых цветов теста М. Люшера — красного и желтого. Вместе с тем «сомнение» и «огорчение» связывались испытуемыми с серым, коричневым, черным и темно-синим. В связи с этими исследованиями становится очевидным, что к применению в городе цветов, вызывающих некомфортные: подавляющие, раздражающие, а значит, «неэкологичные» эмоции, необходимо не только относиться с осторожностью, но и научно определить их визуальную норму.

Родоначальник экспериментальной психологии В. Вундт в «Основах физиологической психологии» (1880) доказал [5], что ощущения и чувства неразрывно связаны между собой филогенетически. Воздействие раздражителя вызывает не только ощущение (сенсорный компонент), но и чувство по отношению к этому ощущению. В первую очередь это чувства удовольствия и неудовольствия. Вторым существенным фактом является достаточно жесткая степень «закрепленности» за определенным цветом определенной эмоции, что было доказано в исследованиях В.С. Мухиной (1981). Проведенный сравнительный анализ использования «неподражательных» цветов детьми разных стран показал удивительное постоянство в выборе цвета для изображения красивого и некрасивого. Как указывает В.С. Мухина: «цветовое решение красивого у детей всех стран сходно: цвета в большинстве случаев теплые и уж обязательно чистые, локальные» [6]. В работе В.Н. Ворсобица и В.Н. Жидкина (1980) [7] экспериментально было доказано, что ядро цвето-эмоциональных значений является принципиально схожим у детей и взрослых.

Догадка о филогенетической связи эмоции и цвета имеет и другие подтверждения. К ним относится так называемая идея идеального города, которая, по мнению О.Е. Железняк, несет в себе «иррациональное стремление человека к первообразу, к попытке воссоздать — реставрировать на земле божественный, космический образ или, может быть, утвердить свой приоритет над неорганизованностью космоса и естественной природной среды» [8, с. 213], и содержит в себе представления об идеальном городе, как особом «месте», устроенном по законам идеальной гармонии «поселении», среде обитания избранных. Если рассмотреть древние источники описания идеального города, разработки утопических проектов, тексты фантастических романов, а также описания представлений об идеальном образе обывателей, то обнаруживается удивительное сходство в описании первичных элементов этой гармонии, а именно: «идеальный город в модели мира предстает как сверкающее, излучающее цветной свет многоцветное пространство, достаточно структурированное и глубоко сакрализованное» [8, с. 216]. Таково описание Рая-града небесного — Иерусалима, «венца» идеального представления о мироустройстве. Город предстает как многоцветный, сверкающий и светящийся подобно драгоценному камню «яспису кристалловидному» (Евангелие, гл. 21).

В этой связи нельзя не упомянуть о разработках утопических проектов идеальных городов Т. Кампанеллы, И.В. Андреа, Ле Корбюзье и др. и заметить, что цветовой компонент в качестве эмоциональной составляющей идеального города в их проектах не рассматривался. Можно предположить, что это связано с восприятием палитры, состоящей из цвета природного камня и обожженной керамики, как аксиомы. Однако с появлением новых отделочных материалов появляются новые возможности в применении цвета и проявлении представления о красоте на филогенетическом уровне. Так, в текстах научно-фантастических романов, например, в цикле произведений С. Лема «Кибериада», приводится описание планеты Крионии, которая блестит «словно бриллиант, медленно вращающийся на черном бархате». Города и дворцы на планете из прозрачных кристаллов и освещаются лимонно-желтыми и серебристыми северными сияниями, все искрится бриллиантами и сапфирами. А вот антиидеальным представлен город, абсолютно лишенный

цвета — исключительно белый город — «порождение разума» пришельцев в романе К. Саймака «Кукла судьбы». Он сияет надменным блеском дорогого фарфора, возносясь в небеса. Человек чувствует себя пойманным в ловушку: «Город давил. Все здания были одинаковыми ... только прямые линии и массивность» [8, с. 220].

Анализ описания образа идеального города выявил ряд характеристик, которые с точки зрения визуальной экологии являются обоснованными. Это чувство защищенности от внешних врагов; богатство, выраженное в сверкании, словно от драгоценных камней; наличие цвета самой архитектуры и наличие излучающего цветного света; связь с миром и Космосом, определяющая божественное происхождение; наличие водоема как выражение двойной связи с небесным миром через удвоение отражения. Безусловно, данные характеристики не полно отражают интуитивное стремление к раю на Земле. Таким образом, проблема визуального комфорта архитектурного пространства относится к важнейшим экологическим проблемам и имеет филогенетический уровень. Позволим себе определить некоторые акценты при анализе визуального комфорта г. Волгограда.

*3. Анализ образного и цвето-эмоционального состояния г. Волгограда.* Идея строительства идеального города на протяжении многих столетий продолжает восприниматься утопичной, однако она не оставляет умы архитекторов, проектировщиков, искусствоведов, социологов, психологов и философов. Город Волгоград является городом, который испытал на себе подобные эксперименты. Разрушенный почти полностью во время войны, город был восстановлен и позиционировался как идеальный советский город. Он имеет четкую линейную планировочную структуру и обладает запоминающейся образностью, соответствующей сталинской эпохе. Однако по прошествии 65 лет мирной жизни стало очевидным, что город Волгоград не является комфортным как с функциональной, планировочной, так и с визуально-образной точек зрения. Это подтверждает анализ проведенного автономного опроса среди студентов политехнического вуза (50 студентов) и института искусств и культуры (34 студента) г. Волгограда. На вопросы, каким опрашиваемые представляют себе образ идеального города и есть ли у Волгограда характерные черты идеального города, были получены схожие ответы. В описании идеального города наличие цветности, сверкания, похожего на блеск кристалла, близости водоема присутствовало у 90 % опрошенных; наличие компактности, ясности планировки, гармоничных цветовых сочетаний — у 75 %; отсутствие темных тонов с преобладанием пастельных оттенков выявлено у 60 %. Волгоград, по мнению опрошенных, обладает характеристиками идеального города на 4 % . Результаты опроса ясно свидетельствуют о неразвитой цветовой культуре, выраженной в цветовой ограниченности, являющейся, вероятно, последствием приоритетного значения мемориальной идеи, заложенной в образ города-монумента в послевоенные годы.

Для выяснения причин визуального дискомфорта обратимся к истории формирования города. Небезынтересными в данном ключе являются исследования архитектурной образности г. Сталинграда в послевоенный период, выполненные Ю.В. Янушкиной. Автор широко и полно рассматривает историю формирования образа города в послевоенное время, однако в данной работе не затрагивается вопрос взаимосвязи образа с формой и цветом, не рассмат-

ривается также вопрос образности с гуманистической, а значит экологической позиции.

Имя города, а затем его роль в истории Великой Отечественной войны, как утверждает Ю.В. Янушкина, придавали ему особый символический статус и способствовали идеализации его архитектурного облика. Архитектурная образность в Сталинграде «связана с метафорическим воплощением идей: власти, величия, вечности, обозначенный как сталинский стиль» [9]. Эти идеи особенно ярко были выражены в формообразовании центральной части города. Далее Ю.В. Янушкина пишет, и с этим нельзя не согласиться: «Город формировался исходя из противоречивых установок. На словах концепция города-ансамбля предполагала полную органичность его архитектурного образа, динамично развивающегося и вписывающегося в окружающий ландшафт (город-организм), а на уровне реализации шло воспроизводство классицистических планировочных схем, игнорировавших сложившийся контекст и превращавших город в «памятник эпохи» (монумент), чему сам город упорно «сопротивлялся»... Таким образом, к началу 1950-х г. образно-пространственная модель Сталинграда как города-монумента конструировалась аналогично дворцово-храмовой архитектуре: дворец-храм с «жертвенником» под открытым небом (Вечный огонь и обелиск), окруженный стенами и башнями, возвышающийся на высоком подиуме с гигантской лестницей (ансамбль набережной и Аллеи Героев, 1951—1953)» [9].

Далее идет важное замечание о том, что подобная образно-пространственная схема интерпретировалась и на уровне отдельного жилого квартала. «...Основу квартальной планировки составляла система пересекающихся осей, маркирующая «сакральный» центр, а фасады домов, выходящие на улицы, трактовались как пограничные рубежи. В этом аспекте принципы построения квартала интерпретируют тему города-крепости. Переход с улицы во внутриквартальное пространство оформлялся тем же набором архитектурных элементов, что и парадный въезд в город. Но если за триумфально оформленной аркой с улицы в квартал еще можно увидеть фонтан или памятник — продолжение «советской сказки», то за арочным входом в подъезд сказка, как правило, заканчивалась» [9]. О разнообразии цветовой палитры строений этого периода говорить не приходится. Доставшаяся по наследству от царицынской архитектуры цветовая гамма, включающая красный кирпичный, белый, серый, охристый, стала основной на протяжении многих лет, была дополнена цветом бетонных плит, серого и черного, красного гранита. В этой гамме выполнены как основные ансамбли города, так и панельная и блочная застройка жилых кварталов и общественных сооружений последующих периодов: хрущевской и брежневской эпох. Белые жилые 5...9-этажные здания с включением красно-кирпичного цвета с типовыми декоративными колосьями на панельных торцах домов стали визитной карточкой жилых типовых кварталов. Идея подчинения центру привела к тому, что периферия города однородна и однообразна как по цвету, так и по образу. Только в конце последнего десятилетия XX в. цветовая палитра города стала меняться в сторону разнообразия. Если архитектурно-формообразованию городских пространств в проектировании города уделялось внимание, то колористическое решение производит впечатление случайного. Отсутствие критериев оценки визуального состояния города

при проектировании и принятии административных решений не позволили выполнить комплексный анализ цвето-эмоционального состояния городских пространств. Результатом явилось отсутствие положительного цвето-эмоционального образа города.

4. *Метод формально-декоративного анализа и метод эмоционального отклика.* Для решения проблемы визуальной экологии необходимо выработать новое мышление, в основу которого будет положено повышенное внимание к эмоциональной составляющей воспринимаемого пространства с вычлениением филогенетической основы материальной среды, формирующей ощущения. Для выявления проблемных зон с целью оптимизации решения автором предлагаются методы формально-декоративного анализа и эмоционального отклика. Метод формально-декоративного анализа строится на известных законах визуального восприятия искусства, выявленных известным американским эстетиком и психологом искусства Рудольфом Арнхеймом и изучавшихся в основном на плоскости. Известно, что законы визуального восприятия действуют независимо от желания и воли людей, так как основаны на свойствах человеческого мозга и едины для восприятия любых объектов (предметов), наблюдаемых человеком. Это касается формы, размеров, цвета и взаимного расположения наблюдаемых объектов. Если эмоциональное воздействие цвета, воспринимаемого с плоскости, достаточно хорошо изучено, то воздействие цвета, обладающего формой, изучено недостаточно и требует совместного с объемной формой рассмотрения.

Теория эстетического восприятия, которую развивает Арнхейм, строится на том, что «восприятие в основе своей представляет познавательный процесс, определяемый формами и типом зрительного воспитания» [10]. Законы восприятия, выявленные им: закон завершения, закон продолжаемости (направления движения), закон подобия (похожести), закон соседства (близости), закон выравнивания, — являются едиными для всех людей. Это по сути своей способы анализа зрительного ряда, присущие человеческому мозгу, для получения познавательной информации. Открытие данных законов позволило подтвердить верность композиционных принципов, интуитивно выработанных старыми мастерами. На основе данных законов построены принципы композиции, позволяющие решать практические задачи при построении гармоничных композиций на плоскости. Поскольку восприятие пространства строится в основном из множества фиксированных точек, которые соединяются в сознании в единый образ, мы можем рассматривать отдельные фиксированные точки как картинные обзоры данного пространства и брать их за основу исследования с формальной точки зрения, применяя опыт, накопленный в решении композиционных декоративных решений в живописи и в сценографии путем перенесения его в зону объемно-пространственного поля. Метод формально-декоративного анализа позволяет выявлять степень несбалансированности формального композиционного решения, находить зоны недостаточной детализации, зоны монотонности фактур, вялости силуэта, определять степень выразительности всей исследуемой зоны с целью оптимизации различных городских пространств с помощью цветопластических решений. Анализ нескольких видовых фиксированных точек позволяет выявить уровень динамики развития пространства по определенным линиям передвижения жителей. Однако оценка комфорта архитектурного простран-

ва с помощью формально-декоративного анализа, даже формализованного, представляется недостаточной, поскольку он фиксирует объективные признаки пространства, не в полной мере учитывает субъективное восприятие горожан, являющихся современными потребителями данного пространства. Субъективное восприятие пространства основано на принципе комфорта — соответствия визуальных образов и ожидаемых ощущений. Визуальный комфорт как предмет виртуальной природы, имеет опосредованное выражение в понятии «эмоциональный отклик», который проявляется в эмоциональной сфере человека, а именно в оценке значимости для индивида переживаний удовлетворения или неудовлетворения его актуальных потребностей. Очевидно, что визуальный комфорт городской среды, как и любой комфорт, должен поддаваться количественным оценкам, и отношение к нему должно быть как к элементу социальной комфортности, обеспечиваемой эталонными требованиями в виде формализованных нормативов.

*Заключение.* При архитектурном проектировании городской среды в проектных решениях не обеспечивается объективность визуальной гармонии. В большей степени выражается субъективное видение разработчиков, основанное на их вкусах, опыте и таланте. Творчество в архитектуре остается субъективным, в то же время взгляд на его результаты как на законченные решения может быть уточнен и углублен благодаря применению рассматриваемых методов.

Визуальный комфорт не рассматривался как измеряемая переменная величина. Критерии визуального комфорта ограничены субъективными понятиями: либо он есть, либо его нет.

Наличие признаков композиционной выразительности, обусловленное применением в определенных сочетаниях, количествах и видах композиционных средств, формирующих архитектурные формы, вызывает иллюзии визуального комфорта при зрительном восприятии архитектурных пространств.

Таким образом, для создания гармоничного городского пространства как с точки зрения колорита, так и с точки зрения формы, отвечающего эмоциональным требованиям современной жизни, необходимо знания об объективных законах красоты, выявленные за долгие годы развития цивилизации и научных изысканий, сопоставить с эмоциональным откликом современников на феногенетическом уровне. Данный подход с применением методов эмоционального отклика и формально-декоративного анализа позволит получить данные оценки с высокой степенью точности. Сопоставление необходимо базировать на комплексном социологическом опросе с последующим применением интерполяционных вычислений. Применение данных методов на примере г. Волгограда позволило выявить зоны с низкой визуальной комфортностью, определить причины визуального дискомфорта, вычислить формулу оптимизации, позволяющую аргументировано вносить изменения в материальную среду городского пространства в целях улучшения качества жизни.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванова Н.В., Соколов И.И.* Видеоэкология и комфортность городской среды // Российское предпринимательство: решение вопросов российского бизнеса : сб. научн. статей. Волгоград : ВолгГАСУ, 2001. С. 211.

2. *Раннапорт А.* Эмоции и профессиональное сознание архитектора // Архитектура и эмоциональный мир человека [Электронный ресурс]. М. : Стройиздат, 1985. Режим доступа: [http://papardes.blogspot.com/2009/09/blog-post\\_04.html](http://papardes.blogspot.com/2009/09/blog-post_04.html).

3. *Базыма Б.А.* Цвет и психика [Электронный ресурс]. URL: <http://psyfactor.org/lib/colorpsy3.htm>.
  4. *Берзницкас А.И.* Экспериментальное исследование некоторых характеристик интеллектуальных эмоций : автореф. дис. ... канд. психол. наук. Л., 1980.
  5. *Вундт В.* Основы физиологической психологии. М., 1880. 589 с.
  6. *Мухина В.С.* Изобразительная деятельность ребенка как форма усвоения социального опыта. М., 1981. С. 240.
  7. *Ворсобин В.Н., Жидкин В.Н.* Изучение цвета при переживании положительных и отрицательных эмоций дошкольниками // Вопросы психологии. 1980. № 3. С. 121—124.
  8. *Железняк О.Е.* Пространство осознания современного города: реальность и метафизика // Вопросы теории архитектуры. Архитектурное сознание XX—XXI веков: разломы и переходы. Эдиториал УРСС, 2001.
  9. *Янушкина Ю.В.* Особенности архитектурного формообразования в Сталинграде в историко-культурном контексте 1930—1950-х гг [Электронный ресурс] : автореф. дис. ... канд. архит. Режим доступа: <http://niitag.ru/info/doc/?248>.
  10. *Арнхейм Р.* Искусство и визуальное восприятие. М. : Архитектура-С, 2007. С. 11.
- 
1. *Ivanova N.V., Sokolov I.I.* Videoyekologiya i komfortnost gorodskoy sredi. Rossiyskoe predprinimatelstvo: reshenie voprosov possiyskogo biznesa. Sb.naushnih ctatey. Volgograd : VolgGASU, 2001. 211 s.
  2. *Rappaport A.* Yemotsii i professionalnoe cosnanie arhitekтора [Elektronniy resurs] // Arhitektura i emotsionalniy mir cheloveka. M. : Stroyizdat, 1985 Rezhim dostupa: [http://papardes.blogspot.com/2009/09/blog-post\\_04.html](http://papardes.blogspot.com/2009/09/blog-post_04.html).
  3. *Bazima B.A.* Tsvet i psihika [Elektronniy resurs]. URL: <http://psyfactor.org/lib/colorpsy3.htm>.
  4. *Berznicckas A.I.* Eksperimentalnoe issledovaniye nekotoryh harakteristik intellektualnyh yemitsiy : avtoref. dis. ... kand. psihol. nauk. L., 1980.
  5. *Vundt V.* Osnovy fiziologitceskoy psihologii. M., 1880. 589 s.
  6. *Muhina V.S.* Izobrazitel'naya deyatelnost' rebienka kak forma usvoeniya sotsialnogo opyta. M., 1981. S. 240.
  7. *Vosorbin V.N., Jidkin V.N.* Izutcenie tcveta pri perejivaniipolozitelnih i otritcatelnih yemitsiy doskolnikami // Voprosi psihologii. 1980. № 3. S. 121—124.
  8. *Szelezniak O.E.* Prostranstvo osoznaniy sovremennogo goroda: realnost i metafizika // Voprosi teorii arhitekturi. Arhitekturnoe soznanie XX—XXI vekov: razlomi i perehodi. Yeditirial URSS, 2001.
  9. *Ynushkina Yu.V.* Osobennosti arhitekturnogo formoobrazovaniya v Stalingrade v istoriko-kulturnom kontekste 1930—1950-h gg. [Elektronniy resurs] : avtoref. dis. ... kand. arhit. Rezhim dostupa: <http://niitag.ru/info/doc/?248>.
  10. *Arnheym R.* Iskusstvo i vizualnoe vospriyatie. M. : Arhitektura-S, 2007. S. 11.

© Тюкова (Тур) И.Н., 2010

Поступила в редакцию  
в июне 2010

УДК 711.4(470.45)

*Г.Н. Ковалева*

## **СОСТОЯНИЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ ПРОСТРАНСТВ В Г. ВОЛГОГРАДЕ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СОЦИОКУЛЬТУРНУЮ ЖИЗНЬ ГОРОДА**

Приведен анализ рекреационных городских пространств, где природа существует в своеобразной урбанизированной среде, которой свойственна дискретность. Рассмотрен вопрос влияния рекреационных территорий на разнообразную деятельность населения.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** экология, город-сад, рекреационные территории, открытые пространства, отдых, стереотип поведения, линейная структура, осевая система, ландшафтная архитектура, ландшафтный дизайн.

The authors carried out the analysis of recreation urban spaces in which the nature exists in specific urbanized environment, which is characterized by discrecity. The issue of influence of recreational territories on various activities of population was considered.

**К е у о р д s:** ecology, garden city, recreation territories, open spaces, rest, behavior stereotype, linear structure, axial system, landscape architecture, landscape design.

Тема человек — среда в 1969 г. впервые стала предметом обсуждения на сессии Генеральной Ассамблеи ООН, заявившей, что жизнь на Земле находится в опасности, что уничтожение природы угрожает существованию человека в такой же мере, как атомная война.

Роль городской архитектуры в предотвращении возможной катастрофы, в восстановлении связей между человеком и природой огромна, так как в городе сосредоточены процессы, вызвавшие разрушение этих связей. В конце XIX — начале XX в. идея города-сада, сложившаяся в Англии, завладела умами многих архитекторов того времени, среди них: англичане Паркер и Анвина, французские интерпретаторы этой доктрины Фовилл, Люка, Шейссон. Экспериментальное строительство города-сада в Хеллерау, близ Дрездена, произвело огромное впечатление на Ле Корбюзье, который в мае 1914 г. сделал проект жилого пригорода-сада для Шо-де-Фон. Уже здесь чувствуется прототип унифицированных жилых ансамблей, очень живописных, расположенных среди паркового ландшафта.

В этих проектах архитекторы более ста лет назад пытались решить проблемы больших городов, улицы которых, лишённые радости и поэзии, стали мрачным зрелищем с адским шумом, грязным, отравленным воздухом и постоянной опасностью для жизни людей.

И в настоящее время вместо совершенствования человека в действительности происходит деформация и дегенерация его физической и интеллектуальной организации. Только сейчас стали отдавать себе отчет в серьезности последствий нынешнего кризисного состояния среды. А ведь еще Ле Корбюзье искал соответствие архитектуры физиологическим и психологическим потребностям людей, искал способности архитектуры поддерживать условия биологического существования и развития человека, изложил принципы возрождения генетических связей человека с природой. Именно природа является биологической средой людей как неисчерпаемый источник, из которого

можно заимствовать правила, необходимые для создания предметного мира. Все архитектурные архетипы заключены в природе, и формотворчество сводится к их поиску и открытию.

Слияние с природой происходит в основном не из-за трепетного пиетета перед ней, но по реальной необходимости. Уподобление природе — не результат безропотного ученичества у нее или экологической паники, а достойная реализация естественного развития человеческой культуры. Природу нельзя «учитывать» или «иметь в виду». Нужно целиком исходить из нее, то есть сотрудничать с ней на паритетных началах.

В городской среде все элементы тесно взаимосвязаны, постоянно изменяются в результате природных явлений и деятельности человека. Человек взаимодействует со средой по трем основным направлениям: санитарно-гигиеническому, функциональному и психо-эстетическому [1].

На санитарно-гигиеническом состоянии природной среды сказывается влияние городских структурных элементов (селитебный, промышленный, коммуникационный, инженерно-транспортный и др.). Такое наступление на природу приводит к сокращению размеров и целостности природных комплексов, образованию раздробленной структуры и снижению устойчивости природных экосистем. В связи с этим изменяется облик природного окружения, теряется его индивидуальный характер, ухудшаются визуально-пространственные характеристики природного ландшафта, т.е. ухудшаются и эстетические характеристики среды.

Функциональное направление взаимодействия человека со средой заключается в наличии взаимообусловленных процессов на отдельных участках территории города (формирование рекреационных зон отдыха, внутриквартального озеленения, озеленения примагистральных территорий, реабилитация нарушенных земель и др.).

При негативном проявлении одной из этих сторон единого взаимодействия нарушаются и остальные. Независимо от этого, сознательно или бессознательно, человек фиксирует окружающее, оно влияет положительно или отрицательно на психофизическое состояние и стереотип поведения человека. Неухоженные территории города: пустыри, овраги — часто превращаются в свалки и места негативных явлений. Наоборот, ухоженные, композиционно законченные участки даже скромных художественных достоинств производят ощущение порядка. Наиболее чутко в этом плане взаимодействие человека и растительности.

Волгоградская область богата великолепными пейзажами с довольно молодыми и еще не устоявшимися традициями садово-парковой архитектуры. В 50—60-е годы XX в. была создана хорошая основа для формирования своеобразного ландшафтного стиля, который складывался постепенно. Однако в настоящее время в самом Волгограде, городах и поселках области стала уже привычной для глаз картина: заросшие бурьяном пустыри и заросшие порослью необлагороженные деревья — тоскливое «благоустройство» вокруг большинства домов. Хотя даже в послевоенный период, в застойные времена в городах области разрабатывались и осуществлялись масштабные ландшафтные проекты: Центральный парк культуры и отдыха, Городской парк, ансамбль Центральной набережной, парк им. Гагарина г. Волгограда, система озеленения г. Волжского и др. Однако повсеместное внимание к культурному ланд-

шафту у нас традиционно было недостаточно и ландшафтный дизайн многим представлялся роскошью, позволительной лишь на «показательных» объектах.

В настоящий момент остро стоит вопрос нехватки, деградации, загрязнения территорий, используемых или потенциально пригодных для использования в городах для отдыха населения.

Данная проблема усугубляется постепенной деформацией культурного городского ландшафта, увеличением численности городского населения в основном за счет застройки существующих рекреационных территорий объектами жилого и нежилого назначения, спецификой природно-климатических условий. На юге России произошло обострение континентального климата, деградация и разрушение ландшафтов, особенно в крупных промышленных центрах. Волгоград вошел в число самых грязных с экологической точки зрения городов мира. Вместе с тем, в Волгограде активизировались действия по экологической оптимизации городской среды путем преобразования территорий, которые остаются источником экологической напряженности.

В связи с этим необходимо произвести мероприятия по стабилизации экологической ситуации за счет последовательного восстановления и оптимального распределения природных компонентов среды в системе преобразованных городских территорий.

Оценку рекреационного потенциала территорий предлагается вести по следующей схеме:

выявление рекреационного ресурсного потенциала городского пространства, его картирование по структурно-типологическому принципу (точечные, зональные, линейные объекты);

дифференцированная оценка ресурсного потенциала по принципу иерархии;

плотностная оценка рекреационного ресурса городских образований;

оценка рекреационной привлекательности территории по данным социологических исследований [2].

В последние годы в ландшафтном проектировании принята концепция формирования городского ландшафта как целостной пространственной системы, получившей различные наименования в разных странах: национально-экологическая сеть (Нидерланды), национальный траст (Великобритания), сеть развития природы (Франция).

В России в течение последних десяти лет достаточно полно обоснованы идеология и методология разработки природного каркаса. Одним из основных принципов природного каркаса является принцип непрерывности природно-ландшафтной структуры города. Природный каркас включает в себя площадные (крупноареальные), линейные и точечные элементы.

Крупноареальные элементы: заповедники, заказники, национальные и природные парки, памятники природы, водохранилища и территории с особым режимом использования — являются территориями высокой экологической активности — «ядрами» природного каркаса.

Линейные элементы: долины, русла и поймы рек, водотоки, защитные лесопарки — служат «экологическими коридорами», обеспечивают возможность миграции растений.

Точечные элементы: скверы, парки, бульвары, набережные, придомовые пространства и внутриквартальное озеленение — образуют «узлы экологической активности».

Природный каркас выступает как существенная часть ландшафтно-планировочной структуры города [3].

В основу композиционного решения, организации культурного ландшафта г. Волгограда положена система продольных (параллельно Волге) и поперечных осей, сложившаяся исторически.

В 20-е гг. XX в. Н.А. Милютиным была предложена теория планировки развития линейного города, которую он разработал на примере г. Сталинграда. Милютин придавал особое значение функциональному зонированию города и трактовал его в виде полос протяженного линейного типа. Город имел вид многослойной ленточной структуры, состоящей, начиная от Волги, из параллельных полос: парковой, жилой, зеленой и промышленной, по границе которой проходила железная дорога. По схеме Милютина промышленная зона переносилась в глубину осваиваемой территории, от Волги к железнодорожному полотну. Эта идея планировки города в 20-х гг. была воплощена при возведении незначительной части северо-восточной территории Сталинграда в Краснооктябрьском районе. Идеальная схема Милютина вошла в противоречие с уже существующим расположением промышленности вдоль берега Волги и поэтому не была полностью реализована.

Основой, стержнем градостроительной композиции Волгограда является осевая система города, которую составляет главная магистраль — Первая продольная (пр. Ленина, Рабоче-Крестьянская ул.), параллельно ей построены Вторая и Третья продольные магистрали. Первая продольная, проходя по территории города, «нанизывает» отдельные его части и связывает центральную часть с северными и южными районами. Частью этой системы является река Волга, вдоль которой в центральной части организована прекрасная набережная, излюбленное место горожан. Вдоль прибрежной полосы на высоком берегу создана непрерывная система озелененных пространств (центр города), используемых для размещения регулярного парка, прогулочных бульваров на разных уровнях. В массивах прибрежных насаждений умело сочетаются хвойные и лиственные породы деревьев, зеленые склоны садово-парковых газонов в сочетании с яркими партерными газонами, расположенными на парадной эспланаде и возле монументов.

Набережная является важнейшим функциональным элементом и мощным средством композиционного объединения городской застройки с пространством реки, что придает неповторимое своеобразие и выразительность архитектурному образу города.

К центру набережной ведет Аллея Героев, разделенная бульваром проспекта им. Ленина на две части, каждая из которых имеет свой характер и единый героически смысл — это сценарий формирования рекреационных пространств центральной части г. Волгограда. Так как здесь создана ясно выраженная система осей, то наблюдается хорошо обозреваемая пространственная структура улиц и площадей центра. Чем полнее выбор рекреационной деятельности, тем выше социальных эффект: многогранное развитие личности, улучшение физического здоровья, укрепление семейных и социальных связей, патриотическое воспитание и т.д. [4].

Создание пешеходного бульвара на пр. Ленина связывает важные композиционные элементы центра: площадь Ленина; студенческую зону, расположенную между педагогическим и техническим университетами; интеллекту-

альный сквер напротив библиотеки им. Горького; Аллею Героев; административную зону; поэтическую зону с лирическим памятником Маргарите Агашиной — и завершается монументом в честь 400-летнего юбилея города. Пешеходный путь решен в виде парковой аллеи со скамьями для отдыха. С него зрительно воспринимается прилегающая озелененная территория, открываются перспективы на интересные фрагменты застройки. Для затенения пешеходов от солнечных лучей в жаркое время дня применяются деревья с высоким штамбом, не мешающим обзору. Размещенные вдоль аллеи различные древесно-кустарниковые группы и партерные цветники сменяющимся колоритом и рисунком в зависимости от функциональной зоны придают аллее необходимую живописность и индивидуальность, однако пешеходный путь вдоль застройки засажен вязами с прозрачной кроной, не дающей необходимую тень, такую желанную во второй половине летнего дня, что приводит к перегреву как фасадов зданий, так и асфальтового покрытия. В решении проблемы теплового дискомфорта могут помочь оптимизация условий аэрации застройки с помощью зеленых насаждений, имеющих раскидистую и плотную крону. Такой же недостаток свойственен почти всем коммуникационным связям города, поэтому инструментами реорганизации зеленой зоны крупного линейного города призваны стать проекты планировки, имеющие в виду рационализацию использования рекреационного пространства. Особенно следует обратить внимание на изменения дендрологического состава и организации сплошной линии многоярусной посадки вдоль дорожно-транспортного полотна. Система озеленения, будучи одной из самых значительных функционально-пространственных систем города, во многом определяет качество городской среды.

В целом на магистральных улицах г. Волгограда (шириной от 40 м и более) озеленение в среднем занимает 10...18 % от общей ширины при рекомендованных 25 %, на узких улицах (ширина до 40 м) удельный вес насаждений равняется 15 % (рекомендовано 20), на улицах с бульварами достигает 25 % (рекомендовано 48), на набережных — 42 %. Целесообразно площадь насаждений на улицах повысить до 7,5...9 м<sup>2</sup> на жителя. Это составит в сумме около 780,0...900,0 га насаждений общего пользования на улицах и бульварах. В настоящее время этот показатель колеблется по районам от 4,0 до 5,0 м<sup>2</sup> на жителя.

Площадь рекреационных территорий г. Волгограда составляет 1292,82 га, т.е. на одного человека приходится в среднем 10,8 м<sup>2</sup>, тогда как нормативный показатель составляет в среднем 25 м<sup>2</sup> на человека. Всем уже известно, что зеленые насаждения улучшают микроклимат и способствуют оздоровлению городской среды, они изменяют тепловой режим, увлажняют, очищают воздух, обогащают его кислородом, защищают от солнечной радиации, ветров, городских шумов, поглощают вредные газы и убивают болезнетворные микроорганизмы; своим зеленым цветом, фитонцидами и способностью ионизировать воздух они благотворно влияют на психику и организм человека.

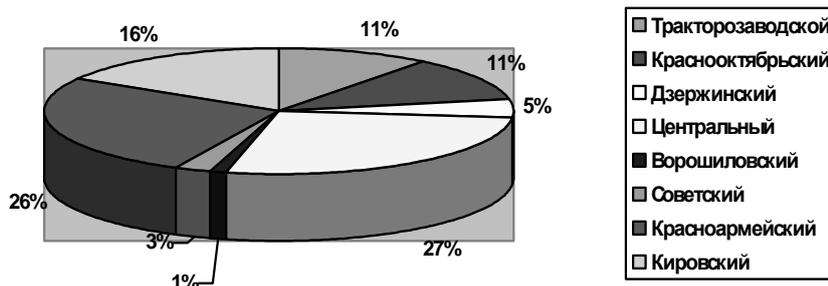
В настоящее время выявлено несоответствие площади существующих рекреационных территорий существующим нормативным показателям в г. Волгограде, где нормы озеленения ниже нормативных показателей в 2...5 раз.

Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов, в т. ч. и земельных, создание экономичных в строительстве и эксплуатации, а также удобных для жизни человека городов приводит к необходимости интенсификации использования земли для нужд градостроительства, которая не должна приводить к сокращению общих размеров открытых и озелененных пространств. В настоящее время в городе насчитывается 12389 га озелененных территорий, из них 1292,82 га — насаждения общего пользования, в том числе 852,0 га — территории, озелененные до 1965 г. [5]. Около 80 % занимают территории со старовозрастными посадками с выраженными процессами усыхания. Существующие территории отдыха находятся в 70 % случаев в запущенном, неухоженном состоянии, их размещение в г. Волгограде происходит неравномерно: по лучевому принципу от реки Волги через административный центр города. Средний возраст древесно-кустарниковой растительности составляет около сорока лет с выраженным процессом усыхания 70 %.

Несомненным минусом городского озеленения является неравномерность распределения зеленых массивов на территории города, которая представлена в таблице.

*Обеспеченность районов города зелеными насаждениями общего пользования*

Наименование района	Нормативная обеспеченность, м <sup>2</sup> /чел	Фактическая обеспеченность, м <sup>2</sup> /чел	Площадь озелененных территорий общего пользования, га
1. Центральный	25	27,9	370,0
2. Ворошиловский	25	4,9	54,4
3. Советский	25	4,0	76,0
4. Дзержинский	25	6,0	200,1
5. Тракторозаводской	25	7,8	110,42
6. Краснооктябрьский	25	11,4	172,5
7. Кировский	25	12,2	113,5
8. Красноармейский	25	12,2	195,9
Всего по городу:		10,8	1292,82



Распределение площадей садово-парковых объектов по районам города

Как видно из представленных данных, формирование по районам города крупных участков озеленения проходит неравномерно. Жители Дзержинско-

го, Советского, Ворошиловского районов города практически лишены мест отдыха в рекреационных зонах.

На современном этапе происходит уплотнение городской жилой застройки, которая имеет как положительные, так и отрицательные моменты. Положительное состоит в том, что если на месте пустырей, оврагов мы получаем дополнительное жилье, то решается социальная и народно-хозяйственная задача. Отрицательное состоит в том, что, уплотняя застройку посредством ликвидации внутриворотовых пространств, мы ухудшаем такие показатели, как разрывы между зданиями, инсоляция, озеленение, ликвидируем места отдыха. С другой стороны, натурное обследование жилых микрорайонов показывает, что в местах разукрупненной застройки в пределах жилой территории образуются пустыри. Одна из причин превращения территории микрорайонов в пустыри — невыполнение работ по благоустройству и озеленению. Таким образом, стремление улучшить условия жизни в жару путем увеличения в проектах удельных размеров общественных зеленых зон не приводит к желаемым результатам. Пустыри становятся источником пыли и дополнительных теплоступлений. Центральная часть микрорайонов, предназначенная для зон общего пользования, в летнее время превращается в «мертвую» непосещаемую зону [6].

Микроклимат хорошо озелененной территории жилой застройки сходен по своим характеристикам с микроклиматом городского парка. Исследование микроклимата внешней среды современной многоэтажной жилой застройки возможно при применении обоснованных приемов благоустройства и озеленения территории, т.е. с полным исключением участков открытого грунта — возможных источников пыли. Высокая культура благоустройства городских территорий требует покрытия грунта травяным покровом или малотеплоемкими и гигиеническими материалами. При этом важно правильное и равномерное озеленение территории, не задерживающее потока воздуха, затеняющее от солнца пешеходные пути и места дневного пребывания людей.

Социальный опрос показал, что из 133 респондентов — жителей жилой группы в возрасте от 14 до 80 лет — спортивные площадки прежде всего хотели бы иметь во дворах 34 %, озеленение — 48 %, стоянки для автомобилей — 12 %, освещение — 23 % и мощения — 16 %.

Как видно, большее число респондентов жилых групп склонно считать, что озеленение дворов является приоритетной задачей, далее следует спорт и освещение, но, безусловно, задачей максимум должно стать благоустройство всех этих составляющих в комплексе.

Внутримикрорайонные озелененные территории должны отвечать разнообразным запросам населения. В связи с этим озеленение жилых микрорайонов будет изменяться не только по функциональной структуре, но и по характеру.

В рамках реализации национальных проектов «Доступное и комфортное жилье» и «Здоровье» поставлена задача обеспечения жителей комфортным и здоровым жильем. Однако понятие комфортности жилья включает в себя не только инженерное благоустройство, т.е. чисто утилитарные задачи, но и благополучное размещение дома, наличие прилегающих озелененных территорий. Внутриворотовое пространство необходимо организовать так, чтобы оптимизировались жизненные функции проживающих в окружающих домах людей.

Зеленое строительство и формирование городского ландшафта надо рассматривать не как разовое мероприятие, а как повседневную, кропотливую работу, включающую первичную организацию зеленых территорий, уход и эксплуатацию, а также развитие и реконструкцию во времени. Только при этих условиях мы можем получить интересные и своеобразные решения, отвечающие функциональному назначению и обогащающие архитектурный облик и колорит города. Поэтому уже сегодня необходимо решать задачи не только выполнения всего комплекса работ, связанного с текущим строительством, но и реконструкции озеленения в районах строительства прошлых лет. И эту особенность настоящего этапа следует учитывать при планировании проектных, строительных работ и научных исследований.

Наряду с успехами по внедрению эколого-ландшафтного подхода, при реорганизации нарушенных городских территорий следует отметить снижение уровня формирования дизайна ландшафтных территорий в оформлении Волгограда и других городов области. Недостаток финансирования, отсутствие поливного городского водопровода, недостаточный уход за растительностью — все это повлекло резкое ухудшение состояния рекреационных территорий. Поэтому следует принять меры по улучшению экологии городской среды:

реконструкцию существующих объектов ландшафтной архитектуры: Центральный парк культура и отдыха, Городской парк, парк им. Гагарина и др.;

создание такого городского парка, который стал бы «лицом» и гордостью горожан;

выделение небольших площадок для поисковых проектов ландшафтного дизайна с необычной стилистикой, устоявшимися и новыми образами, знаками (наподобие экспериментального сада при Педагогическом университете);

формирование Волгоградской школы ландшафтного искусства как направления, основанного на использовании местных растительных форм.

Гармоничное развитие всех элементов зеленых зон города невозможно без четко разработанной системы планирования работ по озеленению. Необходимо привлечь внимание всех городских организаций, учреждений, предприятий, всего населения и направить их усилия на решение этой важной проблемы, так как сегодня не все в достаточной степени понимают огромное социальное, гигиеническое и эстетическое значение зеленых насаждений в формировании городского ландшафта, в преобразовании и оздоровлении городской среды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванова Л.И.* Об экологии городского ландшафта // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика : материалы 66-й Всерос. научн.-техн. конф. по итогам НИР за 2008 г. Ч. 1 / СГАСУ : Самара, 2009. С. 253.
2. *Вавилонская Т.В.* Кластеризованная модель развития рекреационных функций региона // Архитектура и строительство России. 2009. № 10. С. 3—11.
3. *Чистякова С.Б.* Город и природа // Архитектура и строительство России. 2009. № 5. С. 3—9.
4. *Иванова Н.В.* Эколого-эстетические основы регионального проектирования озеленения города. 2-е изд., перераб. и доп. Волгоград : ВолгГАСУ, 2006. 158 с.
5. *Соколов А.И.* Организация городских рекреационных территорий крупных городов Волгоградской агломерации (на примере г. Волгограда и г. Волжского) : дис. ... канд. архит. Волгоград, 2008. 148 с.
6. *Иванова Н.В., Соколов И.И.* Формирование рекреационных территорий Нижнего Поволжья // Архитектурно-градостроительные и строительные проблемы национального проекта — доступное, комфортное жилище : сб. науч. тр. Волгоград : ВолГАСУ, 2006. С. 8—13.

Поступила в редакцию в июне 2010

© Ковалева Г.Н., 2010

## **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ. МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИН СТРОИТЕЛЬНОГО И АРХИТЕКТУРНОГО НАПРАВЛЕНИЙ В ВУЗЕ**

УДК 378.015.31:72

**Н.В. Иванова, Н.Н. Антонова, А.Г. Карпенко**

### **ТВОРЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ НАЧАЛЬНОГО ЭТАПА ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ КАК КРИТЕРИЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОГО СПЕЦИАЛИСТА-АРХИТЕКТОРА**

Освещены проблемы совершенствования начального архитектурного образования в вузе в соответствии с реализацией национального проекта «Образование», предполагающего качественное изменение содержания и форм учебно-познавательной деятельности на базе компетентного подхода. Последний проектирует новые образовательные технологии начального цикла подготовки специалистов-архитекторов с широким гуманитарным мышлением и стремлением в будущем к личной саморегуляции, т.е. обладанию конкурентоспособностью.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** начальное архитектурное образование, учебно-познавательная деятельность, образовательные технологии, личная саморегуляция, креативная компетентность, педагогическая деятельность, адаптация студентов, оценочно-рефлективные навыки.

Article is directed on perfection of an architectural elementary education, according to realization of the national project "Formation" which assumes qualitative change of the maintenance and forms of education-informative activity on the basis of the competent approach. Last projects new educational technologies of an initial cycle of preparation of experts-architects with wide humanitarian thinking and aspiration in the future to personal self-control, that is possession of competitiveness.

**К e y w o r d s:** elementary architectural education, education-informative activity, educational technologies, personal self-control, creative competence, pedagogical occupation, student's adaptation, estimation-reflection skills.

Целью высшего профессионального образования России XXI в. признана в новой концепции модернизации российского образования подготовка квалифицированного работника, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, ориентирующегося в смежных областях деятельности, подготовленного к постоянному профессиональному росту социальной и профессиональной мобильности [1]. По нашему мнению, существенный вклад в этот процесс может внести успешная адаптация студентов-первокурсников, позволяющая полноценно развивать креативную компетенцию как формирующую у архитектора способность к эффективной жизнедеятельности и готовности к жизнетворчеству.

Исходный принцип высшей школы — высокий уровень фундаментализации обучения — основывается на позиции деятельностного подхода. В от-

личие от традиционного обучения, базисом которого являлся предмет деятельности, по современным представлениям деятельность в полном объеме формируется при взаимопроникновении таких ее сторон, как личностная, функциональная и предметная. Предметная деятельность по освоению понятий, способов выполнения учебных заданий, решению ситуационных задач на основе образовательного стандарта не заменяет студенту личностного смысла его профессиональной подготовки. В концепции личностно-ориентированного обучения особое значение придается развитию гуманистического потенциала личности. Личностная сторона предполагает раскрытие возможностей студента как личности, осознание его мотивов, интересов, стремлений. Особенно это показательно и важно для студентов начального цикла творческого образования — архитекторов-первокурсников. Личность студента при этом становится — в органическом единстве эмоционального и интеллектуального плана в своей нравственной цельности — самоцелью образовательного процесса.

Для проблемы гуманитаризации высшего образования свойственен сложный комплексный характер. При этом всестороннее и глубокое понимание закономерностей личностно-ориентированной педагогической деятельности в целом невозможно без раскрытия роли отдельных звеньев этого процесса. Успешность педагогической деятельности взаимосвязана с успешностью деятельности студентов-архитекторов. Поддерживаем общие представления о том, что при оценке успешности профессиональной деятельности важно учитывать внешние оценки успешности — субъективные характеристики, оценивающие три группы факторов: результативность деятельности, эффективность взаимодействия с коллегами и инициативность работающего, а также сопоставление их с затратами на реализацию деятельности, получаемым вознаграждением и мотивационно-оценочными структурами личности, что характеризует внутреннюю оценку успешности будущего архитектора-профессионала. Успешность деятельности студента традиционно оценивается по усвоению изучаемого материала, что определяется своевременной сдачей зачетов и экзаменов. На кафедре основ архитектурного проектирования, рисунка, живописи и скульптуры ВолгГАСУ стали применять рейтинговую систему оценок, которая в той или иной степени учитывает помимо результативности и инициативность студента. Другие же факторы, формирующие внешнюю и внутреннюю оценки успешной учебной деятельности студента, остаются пока неустраиваемыми.

Для начального периода профессионального образования свойственен период адаптации, при котором студенты приспосабливаются к специфике вузовского обучения, связанной с большим объемом учебного материала и новыми для них формами его освоения (лекции, самостоятельная учебно-исследовательская работа). В то же время этот период у ряда студентов совпадает с нормативными кризисами переходного характера: отдаленностью от дома, кризисом самоопределения и т.д. У студентов при этом наблюдается напряжение механизмов адаптации, дестабилизация физиологических функций, большая нервно-психическая нагрузка, возрастание уровня заболеваемости. Для студентов, приехавших на учебу из-за рубежа, к трудностям преодоления учебных и бытовых проблем присоединяются языковые, социально-культурологические, и все это приходится на молодой организм, который находится в процессе адаптации.

Как известно, период адаптации сокращается, а эффективность обучения успешно повышается при положительном эмоциональном настрое. На наш взгляд, коррекции проблем адаптации, прежде всего педагогической, созданию эмоционального подъема будет способствовать востребованность и реализация всех факторов оценки успешной деятельности студентов. Установка на создание образовательных ситуаций, вынуждающих студента показать себя как личность: проявлять инициативу, выражать свою позицию, принимать решения — позволит выявить такие факторы успешности учебной деятельности студентов, как эффективность общения и сотрудничества с коллегами, инициативность [2]. Систематический учебный труд мы не можем оценивать положительно и считать успешным, если студент постоянно работает на износ, переутомляется. Поэтому задачей педагогической адаптации является такое использование современных образовательных технологий, которое бы соизмеряло результативность деятельности студента с психофизиологическими, временными и прочими затратами на нее. Осознание индивидуально-личностного потенциала студентов будет способствовать справедливому вознаграждению за учебу. Причем имеется в виду вознаграждение за учебную деятельность как внешнее (не только баллом на итоговом контроле, но и похвалой, отличием, возможностью выполнить более интересное, сложное учебное задание, подготовить реферат), так и внутренне, которое заключается в самом процессе труда (в удовлетворении познавательной потребности, формировании адекватной самооценки, потребности в самореализации).

Опыт нашей работы со студентами-первокурсниками убеждает, что эффективность педагогических воздействий будет зависеть от того, насколько применяемые методы будут адекватны уровню профессиональной направленности студента. Мы полагаем, что такой уровень следует определять уже на начальном этапе профессиональной подготовки. Так, на кафедре ОАПРЖС прошла апробацию методика по определению уровней профессиональной направленности студентов-первокурсников, согласно которой можно выделить, основываясь на параметрах, отражающих мотивационно-смысловую, когнитивную, практико-действенную сферы, следующие уровни профессиональной направленности: низкий, средний и высокий.

Студенты, отнесенные к низкому уровню профессиональной направленности, характеризовались в мотивационно-смысловой сфере неустойчивым интересом к изучению предметов начальной профессиональной подготовки, нечетким пониманием их значимости для специалиста. Такие первокурсники не задумывались или крайне редко размышляли об идеальном образе специалиста, о будущей специальности, о собственном профессионально-личностном развитии. В когнитивной сфере им свойственны нерегулярное и бессистемное чтение научной или дополнительной учебной литературы, занятия в рисовальной аудитории только по указанию преподавателя. Объем изучаемого материала по дисциплинам таким студентам представляется избыточным, тогда как получение дополнительного и последипломного образования пока не рассматривается и представляется делом далекого будущего. В действенно-практической сфере таких студентов находит отражение как низкая учебная дисциплина (пропуски без уважительных причин, постоянная задержка при сдаче отчетов), так и выполнение самостоятельной работы лишь по заданию преподавателя. Студенты с низким уровнем профессио-

нальной направленности не принимают участия в научно-исследовательской работе, в творческих конкурсах и выставках.

Первокурсники со средним уровнем профессиональной направленности имеют как выраженный интерес к изучению, так и понимание значимости только некоторых основных предметов цикла начальной подготовки. У таких студентов представление об образе идеального специалиста не соотносится с собственными личностными качествами, нет полной определенности с будущей специальностью, а занятия профессионально-личностным саморазвитием не имеют конкретных целей и сроков, либо планируются в будущем. Представление об избыточности изучаемого материала касается отдельных предметов (архитектурное проектирование, архитектурная композиция). Работа с проектами, чтение научной литературы осуществляются не всегда и не по всем предметам. Дополнительное образование при благоприятном стечении обстоятельств такие студенты не прочь получить, но специально такой цели не ставят. Получение последиplomного образования ставят в зависимость от будущих обстоятельств. Пропуски занятий без уважительных причин у студентов со средним уровнем профессиональной направленности бывают редко и только по отдельным дисциплинам, архитектурные проекты, итоговые рисунки не всегда сдаются своевременно. Самостоятельную работу такие студенты выполняют по ряду предметов по указанию преподавателя, а по другим — по собственной инициативе, участвуют в реферативной работе, только иногда участвуют в творческих конкурсах.

Студентам, обладающим высоким уровнем профессиональной направленности, свойственны устойчивый интерес к изучению предметов начальной подготовки и понимание их важности для профессионала. Студенты этой группы соотносят образ идеального специалиста со своими качествами. У них сформирован образ будущей специальности, а профессионально-личностное саморазвитие имеет свои цели и программу. Объем изучаемого по дисциплинам материала таким студентам представляется достаточным или по отдельным темам недостаточным. Студенты стремятся изучить максимум рекомендуемой литературы, в рисовальной аудитории занимаются с желанием, по собственной инициативе, а дополнительное образование получают или планируют получить в будущем, имеют конкретные планы на последиplomную специализацию. Таким студентам свойственна высокая учебная дисциплина (нет пропусков без уважительных причин, все проекты сдаются своевременно). Самостоятельную работу студенты с высоким уровнем профессиональной направленности выполняют с желанием, часто по собственной инициативе, а в научно-исследовательской работе занимаются как реферативной, так и экспериментально-проектной деятельностью, всегда принимают активное участие в творческих конкурсах.

Каждому из указанных параметров соответствует количество баллов: 1 — низкому уровню, 2 — среднему, 3 — высокому и если суммарное количество баллов от 15 до 25, то студента относим к низкому уровню, от 26 до 35 — к среднему и от 36 до 45 — к высокому уровню профессиональной направленности.

Представленная методика оценки профессиональной направленности первокурсника необходима преподавателям выпускающей кафедры для индивидуализации обучения студентов, может быть полезна для проверки эффектив-

ности применения новых образовательных технологий. Мы полагаем, что новая образовательная технология оптимальна, если позитивные изменения отмечены и у студентов с низким уровнем профессиональной направленности.

Ознакомление студентов с характеристикой уровней профессиональной направленности и их самооценка по предлагаемым параметрам может стать для студентов одним из побудительных факторов для включения в процесс профессионально-личностного саморазвития.

Достижение успешной деятельности студентов-первокурсников в аспекте педагогической адаптации в вузе мы рассматриваем как необходимое условие развития творческих, креативных начал будущих архитекторов. В содержании и технологии архитектурного образования отсутствует такая ключевая компетенция, как креативная, направленная на развитие интеллектуальных способностей студентов, самостоятельности, инициативности, позволяющая уверенно и творчески работать в современной производственной среде, т.е. есть быть конкурентоспособным [3].

Овладение студентами креативной компетенции как основы конкурентоспособности будущих архитекторов позволит решить задачи обеспечения конкурентоспособности российского образования на мировом рынке образовательных услуг, возможности вхождения Российской Федерации в Болонский процесс и подготовки специалистов высокого качества, отвечающих мировым требованиям в области архитектуры [1]. Положительная реализация этих вопросов невозможна без научного подхода, разработки моделей содержания образования и соответствующих инновационных авторских курсов с учетом приобретения студентами креативной компетенции.

Развить личностные факторы творческого креативного мышления студента — ответственная задача, лежащая на преподавателях вуза, в частности на сотрудниках кафедры ОАПРЖС ВолгГАСУ. И если многие исследователи-психологи считают, что прямое обучение творчеству невозможно, то вполне успешно косвенное влияние на мышление за счет создания педагогических технологий, стимулирующих творческую деятельность молодого человека (личности). В такой педагогической деятельности основным девизом может стать суждение, что творческая личность способна слышать свое «Я». В связи с этим на занятиях по архитектурному проектированию, объемно-пространственной композиции, рисунку и живописи преподаватели уделяют большое внимание формированию художественных и мыслительных свойств, определяющих индивидуальность студента. Педагогические технологии здесь опираются на творческий потенциал деловых игр, презентации и выставки проектов, поиск решений в проектах-клаузулах, критических рецензиях рефератов, проектов одногруппников, раскрытие вопросов традиций и новаторства в семинарских выступлениях.

Развитие в будущем архитекторе образно-конкретной и одновременно абстрактно-обобщенной системы освоения действительности является следствием занятий творческим проектированием. При этом приходится учитывать, что социальный опыт, предлагаемый учебным планом, усваивается в зависимости от индивидуальности студента. Для успешного креативного поиска решений проектной задачи мы развиваем многие личностные черты: уверенность в своих силах, доминирование эмоций радости, отсутствие боязни показаться странным, любовь к фантазированию, наблюдательность и т.д.

Активизация творческого поиска в области проектирования, по нашему мнению, может достигаться системой дидактических кратковременных заданий, охватывающих архитектурные проекты и задания первого курса. Личная ориентировка здесь представляется как последовательное проникновение студента в сущность изучаемого предмета, систему его связей с человеком, его деятельностью и духовным миром. Так, упражнения первого курса по объемно-пространственной композиции «Членение геометрических фигур» находят логическое продолжение и развитие в архитектурном проектировании объемов остановки, кинотеатра, офиса и т.д. Проводимые упражнения выполняются за 10...15 мин с последовательным усложнением задачи: от простого геометрического членения до насыщения объемов заданными функциями.

Обращаясь к начальной форме развития креативной компетенции, нельзя забывать об учебном задании, выполнение которого формирует «индивидуальный код» прочтения памятников архитектуры, — о классике. Ведь творческий процесс не всегда характеризуется созданием совершенно нового, а заключается в реорганизации имеющегося опыта и формировании на его основе новых комбинаций. Полезно вспомнить суждение А. Бурова о необходимости найти соотношение между элементами узнаваемости и новизны, которое бы позволило двигаться вперед. Это высказывание становится основой продуктивной интерпретации на занятиях по архитектурной композиции, где студенты выполняют «проект в манере» по образцу и в духе мастера; по методике профессора В. Квасова выполняют два макета: исторический и решение современной пространственной и культурно-художественной задачи на основе изучения памятника и т.д. Креативное мышление студента проходит стадии подражания и интерпретации образа. Третья заключительная фаза — выражение своего решения — свидетельствует о творческом мышлении автора.

На всех стадиях личностного обучения архитекторов преподаватели всячески поощряют стремление студента быть самим собой, «слушать свое Я». Преподаватель выполняет роль советчика, старшего друга, не просто декларирует свое уважение к личности обучающегося, а реально чувствует ни с чем несравнимую ценность личности в ее творческом, креативном мышлении.

Не можем не остановиться еще на одном аспекте развития креативных наклонностей студентов-архитекторов при необходимом отборе соответствующих форм и методов обучения: на вовлечении наших студентов в учебно-познавательную деятельность, которая обеспечивает оптимальные условия для развития личности [4]. Вот поэтому в образовательной технологии для первокурсников в последние годы все большее место занимает проведение деловых игр. Это связано с тем, что, во-первых, сама образовательная технология сегодня представляет объемный материал для личностного ориентирования студентов. Во-вторых, известная свобода в составлении учебных программ и соответствующий рост творческого потенциала педагога требуют новых, приближенных к реальности форм обучения студентов в их личностном ориентировании.

В-третьих, требования современных цивилизованных рыночных отношений по-новому ставят вопрос о личностной ориентации в профессиональной подготовке конкурентоспособных специалистов. Выполнить все это можно только в том случае, если в замкнутой цепочке образовательной технологии, как нам представляется, в отечественной педагогике достойное место займут деловые игры с учебными целями.

Деловые игры, разработанные для начального цикла обучения, имеют строго деловое назначение, принципы и механизм проведения. Это означает, что в одних случаях применительно к аудитории, личности обучающегося — студента-архитектора возможно эффективны те из деловых игр, которые направлены на расширение творческого потенциала занимающихся (это особенно относится к исследовательским группам).

В других случаях, когда необходимо выявить интерес к профессиональной подготовке, видимо, можно использовать деловые игры более специально-профессионального уровня.

И, наконец, к тем деловым играм, которые становятся обобщающими в личностно-ориентированном обучении, следует применить более высокие параметры их содержания и проведения. А именно, чтобы участники игр мыслили и принимали собственное решение, а также доказательно защищали его, высказывали свое мнение, делали выбор, принимали решения, т.е. проявлять себя как личность. Участники групповых занятий не получают в готовом виде знания того или иного понятия, решение той или иной задачи, проблемы, а вырабатывают определения сами, формируя свою собственную модель обучения, отвечающую их личностным особенностям. Поэтому важным звеном в играх становится этап доказательной защиты своего решения. Защиты могут проходить не только в словесной форме, а и в виде рисунков, проектов, зарисовок, заранее подготовленных презентаций.

Все это возможно при разработке и выполнении следующих принципов формирования и проведения деловых игр:

- 1) требования деловых игр понятны участникам (цели, задачи, назначение, результаты — форма оценки);
- 2) массовый охват учащихся с постановкой общих задач, учитывающих особенности личности;
- 3) заинтересованность каждого в решении задачи деловой игры путем выработки у личности положительных эмоций и ответственности за выполнение вводных задач.

В соответствии с отмеченными принципами механизм реализации деловой игры может иметь несколько взаимосвязанных стадий, которые замыкаются в завершённый этап с выходом на новый виток обучения. С позиций личностно-ориентированного образования в деловой игре можно выделить несколько этапов: осмысление темы, игровая деятельность на имитационной модели с развитием в личности «специалиста»; приобретение навыков социального взаимодействия.

Что же касается содержательного аспекта обучения с помощью деловых игр, то можно отметить следующие моменты: повышение интереса к учебным занятиям вообще и к тем проблемам, которые моделировались в деловой игре; усвоение большего количества информации, основанной на примерах конкретной деятельности; изменение отношения к конкретным ситуациям, которые были предметом игры.

Еще один важный результат развития критичности — коррекция самооценки с помощью других, что, несомненно, является фактором становления творческой конкурентоспособной личности учащегося. Поэтому, по нашему мнению, замкнутая цепочка образовательной технологии будет «работать» тогда, когда просматриваются варианты, альтернативные решения участников деловых игр.

Постоянно анализируя итоги профессиональной подготовки архитекторов на начальном уровне (проекты, кратковременные задания), мы столкнулись с отсутствием такого важного, на наш взгляд, фактора успешности обучения студентов в вузе, как навыки анализа собственной деятельности. Поэтому задачей наших преподавателей стала необходимость сформировать у первокурсников рефлексивно-оценочные навыки. Эксперимент проводился по программе научной школы «Инновационные, конкурентоспособные технологии в современной системе архитектурного образования» на базе кафедры ОАПРЖС, и в нем активно принимали участие 90 студентов-архитекторов 1-го курса и 50 — 2-го.

Методика включала в себя три этапа: мотивационный, деятельный, корректирующий. На этапе мотивации студентам объясняли значимость рефлексивно-оценочных навыков в структуре профессиональной компетентности специалиста архитектора. Студенты сами приходили к мысли, что профессиональные ошибки во многом могут быть следствием отсутствия у специалиста критичности, несформированности навыков оценивания и рефлексии своих затруднений.

Второй, деятельный этап включает обязательным элементом учебной работы для первокурсников систематическую рефлексивно-оценочную деятельность. Самоподготовка, выполнение самостоятельной работы обязательно завершались самоконтролем (ответы на тесты, составление плана ответа, наброски и зарисовки в цвете). На занятиях студентам предлагался лист — дубликат журнала учета посещаемости и успеваемости, и каждый выставлял себе оценку. Студенты-архитекторы проводили самооценку выполнения проекта на всех этапах его представления: от эскизов в карандаше до окончательного варианта. Преподаватель не использовал эти данные, они сразу помещались в специальную папку, и лишь в конце семестра преподаватель подводил итог. Студенту, результат оценивания которого преподавателем отличается от его оценки, давались рекомендации проанализировать причины несоответствия. К следующему занятию студенту рекомендовалось осмыслить ситуацию, продумать и принять корректирующие меры. То есть реализовывался процесс, направленный на снижение уровня несоответствия между ожидаемой моделью реальности и ее субъективным отражением.

Результаты формирования рефлексивно-оценочных навыков по указанной методике свидетельствуют о положительной тенденции: самооценка знаний стала более корректной, причем число студентов с адекватной самооценкой возросло в 1,6 раза. Переоценивает качество своих знаний в 2,5 раза меньшее число студентов [5].

Предложенная методика может быть полезна для формирования рефлексивно-оценочных навыков у студентов не только на начальном этапе профессиональной подготовки.

Можно отметить, что вовлечение студентов-первокурсников в осознанное формирование рефлексивно-оценочных навыков является, с одной стороны, ресурсом, повышающим качество учения, а значит, и качество образования, а с другой стороны, способствует профессионально-личностному развитию будущего специалиста-архитектора.

В заключение можно сказать, что формирование рыночных отношений в мире трудоустройства требует подготовки молодых людей уже с начального

цикла высшего профессионального образования к активному, самостоятельному, неординарному решению профессиональных вопросов, что и достигается участием в деловых играх, развитием навыков самооценки, а от педагогов требует выбора целесообразного содержания вузовской подготовки, способной развить креативное мышление студентов-архитекторов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванова Н.В., Антонова Н.Н., Карпенко А.Г.* Конкурентоспособный специалист-архитектор и инновационные технологии // Педагогический менеджмент и прогрессивные технологии в образовании : сб. ст. XIX Междунар. науч.-метод. конф. Пенза : Приволж. Дом знаний, 2010. 120 с.

2. *Иванова Н.В., Антонова Н.Н.* Подготовка конкурентоспособного специалиста на рынке труда // Молодежь и рынок труда: конкурентоспособность в современных социально-экономических условиях : сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. Пенза : Приволж. Дом знаний, 2009. 120 с.

3. *Иванова Н.В., Артюхина А.И., Игнатьева М.К.* Характеристика уровней профессиональной направленности студентов // Проблемы образования в современной России и на постсоветском пространстве : сб.ст. XIV Междунар. науч.-практ. конф. Пенза : Приволж. Дом знаний, 2009. 120 с.

4. *Иванова Н.В., Антонова Н.Н., Гончарова Е.А.* Совершенствование образовательного процесса в подготовке конкурентоспособного специалиста-архитектора // Малоэтажное строительство в рамках национального проекта «Доступное и комфортное жилье — гражданам России»: технологии и материалы, проблемы и перспективы развития в Волгоградской области : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф, 15—16 декабря 2009 г., Волгоград / Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. 486 с.

5. Динамика формирования рефлексивно-оценочных навыков у студентов на начальном этапе профессиональной подготовки / Альманах-2010 / А.И. Артюхина, О.Ф. Великанова, Н.Н. Складановская, Н.В. Иванова ; под ред. д-ра хим. наук, проф., акад. РАЕН, РЭА, МААНОИ, ЕАЕН Г.К. Лобачевой ; ВО МААНОИ, РЭА, РАЕН, ВолГУ. Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2010. 318 с.

1. *Ivanova N.V., Antonova N.N., Karpenko A.G.* Konkurentosposobnyj specialist-arxitektor i innovacionnye tehnologii / Pedagogicheskij menedzhment i progressivnye tehnologii v obrazovanii : sb. st. XIX Mezhdunar. nauch.-metod. konf. Penza : Privolzh. Dom znaniy, 2010. 120 s.

2. *Ivanova N.V., Antonova N.N.* Podgotovka konkurentosposobnogo specialista na rynke truda / Molodyozh` i rynek truda: Konkurentosposobnost` v sovremennyx socialno-e`konomicheskix usloviyax: sbornik statej II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Penza : Privolzh. Dom znaniy, 2009. 120 s.

3. *Ivanova N.V., Artyuxina A.I., Ignat`eva M.K.* Karakteristika urovnej professional`noj napravlennosti studentov / Problemy obrazovaniya v sovremennoj Rossii i na postsovetskom prostranstve : sb. st. XIV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Penza : Privolzh. Dov znaniy, 2009. 120 s.

4. *Ivanova N.V., Antonova N. N., Goncharovf E.A.* Sovershenstvovanie obrazovatel`nogo processa v podgotovke konkurentosposobnogo specialist-arxitektora / Maloe`tazhnoe stroitel`stvo v ramkax nacional`nogo proekta «Dostupnoe i komfortnoe zil`yo — grazhdanam Rossii» : tehnologii i materialy, problemy i perspektivy razvitiya v Volgogradskoj oblasti : sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 15—16 dekabrya 2009 g., Volgograd. Volgogr. gos. arxит.-stroit. un-t. Volgograd : VolgGASU, 2009. 486 s.

5. Dinamika formirovaniya refleksivno-ocenochnyx navykov u studentov na nachal`nom etape professional`noj podgotovki : al`manah-2010 / A.I. Artyuxina, O.F. Velikanova, N.N. Skladanovskaya, N.V. Ivanova ; pod red. G.K. Lobachyovoj ; VO MAANOI ; REA ; RAEN ; VolGU. Volgograd : Izd-vo VolGU, 2010. 318 s.

© *Иванова Н.В., Антонова Н.Н., Карпенко А.Г., 2010*

*Поступила в редакцию  
в июне 2010 г.*

## НАШИ АВТОРЫ

**Аверкин Александр Григорьевич**  
Averkin Aleksandr Grigoriyevich

канд. техн. наук, проф., проф. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 8(8412)92-94-10, algraw@mail.ru;  
Candidate of Technical Science, Professor, Professor at Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Penza State University of Architecture and Construction

**Акчурин Талгат Кадимович**  
Akchurin Talgat Kadimovich

канд. техн. наук, проф., зав кафедрой строительных материалов и специальных технологий, ВолгГАСУ, (8442) 96-99-57, info@vgasu.ru;  
Professor, Doctor of Technical Science, Head of Department of Construction Materials and Special Processes, VSUACE

**Антонова Наталья Николаевна**  
Antonova Nataliya Nikolayevna

доц. кафедры основ архитектурного проектирования, рисунка, живописи и скульптуры, ВолгГАСУ, (8442) 96-98-44, OAPRGS@mail.ru;  
Senior Lecturer at Department of Basic architecture design, Draw, Art and sculpture, VSUACE

**Бачурина Екатерина Сергеевна**  
Bachurina Ekaterina Sergeevna

аспирант, ассистент кафедры основ архитектурного проектирования, рисунка, живописи и скульптуры, ВолгГАСУ, (8442) 97-13-58, k-a09@mail.ru;  
Post-graduate student, Assistant at Department of Basic of Architectural Design, Drawing, Painting and Sculpture, VSUACE

**Беломутенко Светлана Владимировна**  
Belomutenko Svetlana Vladimirovna

доц. кафедры отопления, вентиляции, экологической и пожарной безопасности, ВолгГАСУ, (8442) 96-98-19;  
Docent at Department of Air Heating, Ventilation, Environment and Fire Safety, VSUACE

**Богомолов Александр Николаевич**  
Bogomolov Aleksandr Nikolaevich

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, проректор по научной работе ВолгГАСУ, (8442) 96-99-54, boazaritcyn@mail.ru;  
Professor, Doctor of Technical Science, Head of Department of Hydraulic and Earth Structures, Vice-Rector for Scientific Research of VSUACE

**Богомолова Оксана Александровна**  
Bogomolova Oksana Aleksandrovna

канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики и вычислительной техники ВолгГАСУ, (8442)96-99-45, boazaritcyn@mail.ru;  
Candidate of Technical Science, Docent at Department of Applied Mathematics and Computer Engineering of VSUACE

**Бойков Алексей Геральдович**  
Boikov Aleksey Geraldovich

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры теплогазоснабжения, ВолгГАСУ, (8442) 97-06-84, bag@fromru.com;  
Candidate of Technical Science, Docent, Docent at Department of Heat and Gas Supply, VSUACE

**Габиров Фахраддин Гасан оглы**  
Gabibov Fakhreddin Gasan oglu

канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, зав. лабораторией оснований, фундаментов и механики грунтов, Азербайджанский научно-исследовательский институт строительства и архитектуры, (99450)323-36-65, farchad@yandex.ru;  
PhD on engineering, Assistant Professor, Head of laboratory base, foundations and soil mechanic, Azerbaijan Science Research Institute of Construction and Architecture

**Голубева Светлана Ивановна**  
Golubeva Svetlana Ivanovna

канд. техн. наук, доц. кафедры отопления, вентиляции, экологической и пожарной безопасности, ВолгГАСУ, (8442) 96-98-19;  
Candidate of Technical Science, Docent at Department of Air Heating, Ventilation, Environmental and Fire Safety, VSUACE

**Диденко Василий Григорьевич**  
Didenko Vasiliy Grigoriyevich

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой отопления, вентиляции, экологической и пожарной безопасности, ВолгГАСУ, (8442) 96-98-19;  
Professor, Doctor of Technical Science, Head of Department of Air Heating, Ventilation, Environmental and Fire Safety, VSUACE

**Дровозова Татьяна Ильинична**  
Drovovozova Tatiana Il'inichna

д-р техн. наук, доц., доц. кафедры химии и прикладной экологии, Новочеркасская государственная мелиоративная академия, (918)892-63-83, kes\_9@mail.ru;  
Doctor of Technology, Associate Professor, Novocherkassk State Land Reclamation Academy

**Золотозубов Дмитрий Геннадьевич**  
Zolotozubov Dmitry Gennadievich

старший преподаватель кафедры строительного производства, Пермский государственный технический университет, (342)244-20-91, spstf@pstu.ru;  
Senior Teacher at Department of Construction Procedure, Perm State Technical University

**Иванова Нина Васильевна**  
Ivanova Nina Vasiliyevna

канд. архит., проф., зав. кафедрой основ архитектурного проектирования, рисунка, живописи и скульптуры, ВолгГАСУ, 8-927-522-26-55, OAPRGS@mail.ru;  
Candidate of Architecture, Prof., Holder of Department of Basic Architecture Design, Draw, Art and Sculpture, VSUACE

**Ивашченко Наталья Александровна**  
Ivashchenko Nataliya Aleksandrovna

инженер кафедры «Производство строительных изделий и конструкций», Саратовский государственный технический университет, (8452) 99-88-90, strachov83@mail.ru;  
Engineer, "Production of Building products and structures" Department, Saratov State Technical University

**Ивашченко Юрий Григорьевич**  
Ivashchenko Yuriy Grigoriyevich

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Производство строительных изделий и конструкций», Саратовский государственный технический университет, (8452) 99-88-90, strachov83@mail.ru;  
Doctor of Technical Sciences, Professor, Holder of "Production of Building products and structures" Department, Saratov State Technical University

**Игнатов Григорий Евгеньевич**  
Ignatov Grigory Evgenevich

канд. архит., доц., старший научный сотрудник Межкафедрального научно-исследовательского центра, Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, (4232) 633727; 8-924-242-9972, grigoriy.ignatov@vvsu.ru  
Ph.D in Archit., Docent, Senior Researcher at Inter-Departmental Science Research Center, Vladivostok State University of Economics and Service  
кафедра энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, (8442) 96-98-86, info@vgasu.ru; Department of Energy Supply and Heat Engineering, VSUACE

**Карпенко Анатолий Николаевич**  
Karpenko Anatoliy Nikolaevich

- Карпенко Анна Геннадьевна**  
Karpenko Anna Gennadiyevna  
доц. кафедры основ архитектурного проектирования, рисунка, живописи и скульптуры, ВолГАСУ, (8442) 96-98-44, OAPRGS@mail.ru;  
Senior Lecturer at Department of Basic Architecture Design, Draw, Art and Sculpture, VSUACE
- Киреев Сергей Николаевич**  
Kireyev Sergey Nikolayevich  
соискатель ВолГАСУ, ведущий специалист отдела проектирования и диагностики автомобильных дорог, Волгоградский филиал «РосдорНИИ», 8-905-434-77-26, info@vgasu.ru;  
Applicant of VSUACE, Leading Specialist at Department of Design and Diagnostics of Highways, Volgograd Branch of "RosdorNII" (Russian Scientific Research Institute of Highways)
- Ковалева Галина Николаевна**  
Kovalyova Galina Nikolayevna  
доц. кафедры основ архитектурного проектирования, рисунка живописи и скульптуры, ВолГАСУ, (8442) 96-98-44, galina.arh@mail.ru;  
Senior Lecturer at Department of Basic architecture design, Draw, Art and sculpture, VSUACE
- Ковылин Андрей Васильевич**  
Kovylin Andrey Vasilyevich  
ассистент, аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолГАСУ, (8442) 96-98-86, info@vgasu.ru;  
Assistant, Post-graduate Student of Department Power supply and the heating engineer, VSUACE
- Козлов Николай Алексеевич**  
Kozlov Nikolay Alekseyevich  
инженер кафедры «Производство строительных изделий и конструкций», Саратовский государственный технический университет, (8452) 99-88-90, kozlovnikolai@rambler.ru;  
Engineer, Department "Production of Building products and structures", Saratov State Technical University
- Коршунова Наталья Викторовна**  
Korshunova Nataliya Viktorovna  
ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, (8412) 92-94-10;  
Assistant at Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Penza State University of Architecture and Construction, 28 Titova St., 400028, Penza
- Крутилин Александр Александрович**  
Krutilin Aleksandr Aleksandrovich  
ст. преподаватель кафедры строительных материалов и изделий Себряковский филиал, ВолГАСУ, 8-906-175-52-59, sfvolgasu@yandex.ru  
Senior Teacher at Department of Construction Materials and Articles, Sebyakovsky Affiliate Institute, VSUACE
- Кужель Владимир Николаевич**  
Kuzhel Vladimir Nikolayevich  
соискатель кафедры оснований и фундаментов, Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, matsiy@mail.ru, (8442) 96-98-87;  
Post-graduate Student at Department of Foundation Engineering, Kuban State Agrarian University
- Кулакова Екатерина Сергеевна**  
Kulakova Ekaterina Sergeevna  
инженер кафедры химии и прикладной экологии, Новочеркасская государственная мелиоративная академия, (918) 892-63-83, kes\_9@mail.ru;  
Engineer, Novocherkassk State Land Reclamation Academy
- Курбанов Салигаджи Омарович**  
Kurbanov Saligadzhi Omarovich  
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительных конструкций и сооружений, Кабардино-Балкарская сельскохозяйственная академия, г. Нальчик, 05bereg@rambler.ru, 8-928-706-48-45-сот, 8-8662-42-44-51, 8-8662-74-26-63;  
Candidate of Technical Sciences, Professor, Chair of Department of building structures and constructions, Kabardino-Balkaria State Academy of Agriculture, Nalchik
- Малкандуев Юсуф Ахматович**  
Malkanduyev Yusuf Ahmatovich  
д-р хим. наук, проф., кафедра органических и высокомолекулярных соединений, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик, (8662) 40-40-93, malkanduyev@mail.ru;  
Doctor of Chemistry, Prof., Dept. of organic and high-molekular compounds, Kabardino-Balkarskiy gosudarstvennyj universitet im. H.M. Berbekova, Nalchik
- Маришев Мухаммед Хажимурзович**  
Marishev Muhamed Hazhimurzovich  
доц. кафедры строительного производства, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик, (8662) 42-45-37, marihev@mail.ru;  
Senior Lecturer of Dept. of Construction production, Kabardino-Balkarskiy gosudarstvennyj universitet im. H.M. Berbekova, Nalchik
- Медведева Светлана Вячеславовна**  
Medvedeva Svetlana Vyacheslavovna  
ст. преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства, Астраханский инженерно-строительный институт, (8512) 38-26-03, zolina@darvodgeo.ru;  
Senior Lecturer at Department of Industrial and Civil Construction, Astrakhan Engineering Building Institute
- Остриков Александр Сергеевич**  
Ostrikov Aleksandr Sergeevich  
аспирант кафедры отопления, вентиляции, экологической и пожарной безопасности, ВолГАСУ, (8442) 96-98-19;  
Post-graduate student at Department of Air Heating, Ventilation, Environmental and Fire Safety, VSUACE
- Павлова Ирина Леонидовна**  
Pavlova Irina Leonidovna  
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Производство строительных изделий и конструкций», Саратовский государственный технический университет, (8452) 99-88-90, strachov83@mail.ru;  
Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Senior Lecturer at "Production of Building products and structures" Department, Saratov State Technical University
- Пыжов Андрей Сергеевич**  
Pizhov Andrey Sergeevich  
аспирант кафедры «Строительство дорог и организация движения», Саратовский государственный технический университет, 8-904-244-05-38, pizhov.andrej@gmail.com;  
Post-graduate Student, "Construction of the roads and organization of the motion" Department, Saratov State Technical University
- Разинкова Ольга Александровна**  
Razinkova Olga Aleksandrovna  
аспирант кафедры органических и высокомолекулярных соединений, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик, инженер по техническому надзору представительства в г. Астрахани ООО «Корстонстрой», 8-903-347-32-31, o.a.razinkova@rambler.ru;  
Post-graduate Student, Department of Organic and High-molekular Compounds, Kabardino-Balkarskiy gosudarstvennyj universitet im. H.M. Berbekova, Nalchik, Engineer of technical supervision of OJSC "Corstonstroy" Astrakhan branch

<b>Слонов Азамат Ладимович</b> Slonov Azamat Ladinovich	аспирант кафедры строительного производства, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик, (8662) 40-40-93, 173mar@mail.ru; Post-graduate Student, Department of the construction production, Kabardino-Balkarskiy gosudarstvennyj universitet im. H.M. Berbekova, Nalchik
<b>Созаев Ахмед Абдулкеримович</b> Sozaev Aхmed Abdulkерimovich	канд. техн. наук, доц. кафедры строительных конструкций и сооружений, Кабардино-Балкарская сельскохозяйственная академия, г. Нальчик, sozaev07@mail.ru, 8-928-912-05-44; Candidate of Technical Sciences, Chair of Department of building structures and constructions, Kabardino-Balkaria State Academy of Agriculture, Nalchik
<b>Соколов Максим Сергеевич</b> Sokolov Maksim Sergeevich	аспирант, ассистент кафедры дизайна и монументально-декоративного искусства, ВолгГАСУ, 8-905-336-11-46, proporcja@mail.ru; Post-graduate student, Assistant at Department of Design and Monumental and Decorative Art, VSUACE
<b>Соколов Олег Леонидович</b> Sokolov Oleg Leonidovich	д-р техн. наук, проф., науч. спец. «Строительная механика», зав. кафедрой сопротивления материалов, Вологодский государственный технический университет, 160000, Вологда, Ленина, 15, 72-78-34, sopr@mh.vstu.edu.ru; Professor, Doctor of Technical Science, Head of Department of Strength of Materials, Vologda State Technical University
<b>Старов Александр Васильевич</b> Starov Alexandr Vasilevich	канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительной механики, ВолгГАСУ, 8-(8442)-96-98-17, info@vgasu.ru; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Senior Lecturer at Department-faculty of Structural mechanics, VSUACE
<b>Стефаненко Игорь Владимирович</b> Stefanenko Igor Vladimirovich	канд. техн. наук, ген. директор, ООО «ЛУКОЙЛ-Волгоградэнерго», (8442) 25-28-59, stefanenkoiv@gc-v.ru Candidate of Technical Science, Director-General of "LUKOIL-Volgogradenergo" Ltd
<b>Страхов Александр Владимирович</b> Strachov Aleksandr Vladimirovich	ассистент кафедры «Производство строительных изделий и конструкций», Саратовский государственный технический университет, (8452) 99-88-90, strachov83@mail.ru; Assistant, "Production of Building products and structures" Department, Saratov State Technical University
<b>Стрыгин Федор Игоревич</b> Strygin Fyodor Igorevich	аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности, Самарский государственный университет путей сообщения Post-graduate Student of chair Safety of Ability to live, Samara State University of Means of Communication, 8-920-059-50-01, strygin.f@gmail.ru
<b>Тимохин Денис Константинович</b> Timohin Denis Konstantinovich	ассистент кафедры «Производство строительных изделий и конструкций», Саратовский государственный технический университет, (8452) 99-88-90, voiced@list.ru; Assistant, "Production of Building products and structures" Department, Saratov State Technical University
<b>Титова Елизавета Викторовна</b> Titova Elizaveta Viktorovna	аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, 8-917-832-11-11; info@vgasu.ru; Post-graduate Student, Department of energy supply and heat engineering, VSUACE
<b>Тишин Валерий Григорьевич</b> Tishin Valeriy Grigoriyevich	НИППИ «УльяновскСтройПроект», tishin-vg@mail.ru, 8-8422-43-02-05, 8-902-355-65-30; Scientific-Research and Design-Processing Institute "UlyanovskStroyProekt"
<b>Тюкова (Тур) Ирина Николаевна</b> Tyukova (Tur) Irina Nikolaevna	аспирант, ст. преподаватель кафедры основ архитектурного проектирования, рисунка, живописи и скульптуры, ВолгГАСУ, (8442) 73-29-09, сот. 8-906-165-72-90, Irena.tour@gmail.com; Post-graduate Student, Senior Lecturer at Department of Basic Architecture Design, Draw, Art and Sculpture, VSUACE
<b>Усадский Денис Геннадиевич</b> Usadskiy Denis Gennadievich	кафедра энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, (8442) 96-98-86, info@vgasu.ru; Department of Energy Supply and Heat Engineering, VSUACE
<b>Фокин Владимир Михайлович</b> Fokin Vladimir Mihaylovich	доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, (8442) 96-98-86, info@vgasu.ru; Professor, Doctor of Technical Science, Head at the Department of Energy Supply and Heat Engineering, VSUACE
<b>Шиян Станислав Иванович</b> Shiyans Stanislav Ivanovich	канд. техн. наук, докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, banzaritsyn@mail.ru, (8442) 96-98-87; Candidate of Technical Science, Person working for Doctor's degree at Department of Hydroengineering and Earth Constructions, VSUACE
<b>Шубин Олег Владимирович</b> Shubin Oleg Vladimirovich	аспирант кафедры отопления, вентиляции, экологической и пожарной безопасности, ВолгГАСУ, (8442) 96-98-19; Post-graduate student at Department of Air Heating, Ventilation, Environmental and Fire Safety, VSUACE
<b>Якименко Игорь Владимирович</b> Yakimenko Igor Vladimirovich	соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ, (8442) 96-98-87, info@vgasu.ru; Applicant at Department of Hydraulic and Earth Structures, VSUACE

**Примечание.** С авторами статей — аспирантами, докторантами и сотрудниками ВолгГАСУ — можно связаться по e-mail: [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.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 и пристатейные списки литературы представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru).

**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.) и акта передачи произведения (2 экз.) (скачать бланки по адресу [http://www.vgasu.ru/rus/publishing/rio\\_vestnik\\_prop.php](http://www.vgasu.ru/rus/publishing/rio_vestnik_prop.php)), согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк там же), 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 — 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 (до 500 знаков), ключевые слова.* Текст статьи заверяется личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — от 3 до 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*, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, иллюстрации обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. Подписи к рисункам выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jrg.

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). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Сур) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников.

*Библиографический список* приводится *дважды*. Во втором варианте все русскоязычные библиографические записи приводятся 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 орга-

низациями 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. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлекцией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректурная статья 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 авторов 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. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГАСУ [www.vgasu.ru](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. (8-442)-96-98-46. E-mail: info@vgasu.ru (для В.И. Воробьева).**

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно по тел. (8-442)-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. (8-442)-96-98-28. E-mail: goracheva@mail.ru.**