Министерство образования и науки Российской Федерации

# **ВЕСТНИК**

# ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО **УНИВЕРСИТЕТА**

# Серия: Строительство и архитектура

Выпуск 18 (37)

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

2010

63

Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo 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.

ВолгГАСУ Волгоград

# Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ. СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА	
Богомолова О.А., Качурин Я.В., Кужель В.Н., Якименко И.В. Расчет устойчивости откосов	
земляного сооружения с учетом их взаимного влияния	4
Богомолов А.Н., Качурин Я.В., Кужель В.Н., Якименко И.В., Богомолова О.А. Расчет устойчи-	
вости откосов выемок и насыпей различных геометрических параметров с учетом их взаимно-	
го влияния	9
Статун А.С., Богомолова О.А., Богомолов А.Н., Якименко И.В. Расчет устойчивости потоло-	
чины горизонтальной штольнеобразной выработки квадратного сечения на основе анализа	
напряженно-деформированного состояния	14
<b>Золотозубов Д.Г., Пономарев А.Б.</b> Расчеты армированных грунтовых оснований при	
возникновении карстовых провалов	19
<b>Лебедь Е.В.</b> Статистический анализ схем начального опирания двух односетчатых куполов из-	
за погрешностей их сборки на основе численного моделирования	23
<b>Логутин В.В., Таржиманов М.А.</b> Определение усилий в ограждающих конструкциях котлована	29
Соколов О.Л. Расчет вертикальных призматических резервуаров и силосов многоконтурного	
сечения	35
<b>Масляев А.В.</b> Реальное и расчетное время между первыми толчками гаитского землетрясения 2010 г.	41
ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	
Дмитриева И.В. Укрупненные показатели оценки безопасности дорожного движения для	
улично-дорожной сети города	44
Боровик В.С., Соркин М.Б. Модель управления безопасностью дорожного движения	51
Ковалев Н.С. Оптимизация структуры асфальтобетона из шлаковых материалов в процессе	
технологических операций	56
Андронов С.Ю. Холодный вибролитой регенерированный асфальт	63

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
<b>Фомичев В.Т., Филимонова Н.А.</b> Электролитические наноструктурированные растворы на основе бишофита	69
<b>Романов С.И., Лескин А.И., Пронин С.А., Гофман Д.И.</b> Регулирование структуры и свойств	
нефтяных битумов <b>Стефаненко И.В.</b> Установки с ускорителями электронов для производства защитных материалов от радона и торона	72 78
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	
<b>Масюкова Л.В.</b> Прогнозирование параметров состояния производственной среды как важнейший инструмент для оценки профессиональных рисков в строительстве	82
ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ	
<b>Чернобровкин Г.Я., Ефанова И.А.</b> Энергосберегающие технологии производства изделий из	0.0
серополимербетонов <b>Мелихов О.О.</b> Снижение энергозатрат и сохранение качества битума при обезвоживании <b>Осипова Н.Н.</b> Оптимизация тепловой защиты зданий в условиях динамики стоимости энерго-	89 93
ресурсов	98
<b>Семенов В.Н.</b> Методы обоснования факторов, показателей и критериев оценки эффективности в системе управления энергосбережением жизнеобеспечения муниципальных предприятий и населения	104
	104
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ  М. 2. 2. 2. 4 . В. 5	
<b>Медведева О.Н.</b> Выбор рациональной области применения одно- и двухступенчатых систем газоснабжения	110
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
<b>Голованчиков А.Б., Ефремов М.Ю., Дулькина Н.А., Новиков М.Г.</b> Очистка подземных вод от ионов двухвалентного железа в катионообменном модуле под действием электрического поля <b>Алешин А.В., Алешин В.С., Рассказов Е.Б.</b> Доочистка сточных вод гальванического цеха элек-	118
тровозоремонтного завода фильтрованием через различные зернистые материалы <i>Саинова В.Н., Ушакова Е.В., Саинов Д.И., Костров А.Н.</i> Рациональная двухступенчатая схема биологической очистки сточных вод кондитерской фабрики	123 126
ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ. АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	
<b>Терягова А.Н.</b> Архитектурно-градостроительные принципы преобразования городской среды в безбарьерное пространство для маломобильных групп населения	132
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА	
<b>Балакин В.В.</b> Расчет загрязнения атмосферного воздуха на застраиваемых участках городских дорог	138
<b>Чебанова С.А., Воробьев В.И., Бальчев В.Д.</b> Учет влияния факельных выбросов от предприятий ТЭК при расчетах рассеивания загрязняющих веществ и проектировании санитарно- защитных зон	144
<b>Мякинин А.С., Косицына Э.С., Ганжа О.А.</b> Автозаправочные станции, расположенные на городских территориях, как объект экологической опасности	149
<b>Стефаненко И.В.</b> Меры по обеспечению защиты населения и работников от негативного влияния природных радионуклидов при строительстве зданий и сооружений	153
НАШИ АВТОРЫ	159
Contens	
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. BASEMENTS, FOUNDATIONS. UNDERGROUND STRUCTURES. STRUCTURAL MECHANICS	
<b>Bogomolova O.A., Kachurin Ya.V., Kuzhel V.N., Yakimenko I.V.</b> Analysis of slope stability of earth structure regarding their interference	4
Bogomolov A.N., Kachurin Ya.V., Kuzhel V.N., Yakimenko I.V., Bogomolova O.A. The slopes of fluting and embankment of different geometrical parameters stability calculation in accordance with	
fluting and embankment of different geometrical parameters stability calculation in accordance with their mutual influence	9

Statun A.S., Bogomolova O.A., Bogomolov A.N., Yakimenko I.V. Stability calculation of ceiling beam of horizontal adit-like work of square section on the basis of stress and strain state analysis	14
<b>Zolotozubov D.G., Ponomaryov A.B.</b> Calculations of the reinforced soil bases at generation of karst downfall	19
<b>Lebed E.V.</b> Statistical analysis of schemes of initial supporting two single layer grid domes for inaccuracy of their assembly on basis of computational modeling	23
<b>Logutin V.V., Tarzhimanov M.A.</b> Definition of efforts in retaining structures of a foundation ditch	29
<b>Sokolov O.L.</b> Towards the algoritm for analysis vertical prismatic reservoirs with multicontour section	35
Masiyaev A.V. Real and settlement time between the first pushes Haiti 2010 of earthquake	41
DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF HIGHWAYS, SUBWAYS, AERODROMES, BRIDGES AND TRAFFIC TUNNELS	
Dmitrieva I.V. The integrated indicators of the estimation of traffic safety for a street and highway	
system of a city  Borovik V.S., Sorkin M.B. The model of safety traffic management	44 51
Kovalev N.S. Structure optimization of asphalt concrete produced from cindery materials in the proc-	31
ess of technological operations	56
Andronov S.Y. Cold reclaimed asphalt compacted vibration	63
BUILDING MATERIALS AND ARTICLES	
Fomichev V.T., Filimonova N.A. Electrolytic nanostructured solutions on basis of bischofite Romanov S.I., Leskin A.I., Pronin S.A., Gofman D.I. Structure and properties of petroleum bitumen control	69
<b>Stephanenko I.V.</b> Electron accelerator installations for production of antiradon and antithoron materials	72 78
TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION. LIFE SAFETY END LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION	
<b>Masyukova L.V.</b> Forecasting of parameters of the condition of the industrial environment as the major tool for the estimation professional risks in building	82
INNOVATIONS IN CONSTRUCTION, INTENSIFICATION, ENERGY SAVING	
Chernobrovkin G.Ya., Ephanova I.A. Energy-saving technologies of manufacture of products from	
sulphur polymer concretes	89
<b>Melikhov O.O.</b> Decrease of power inputs and protecting the bitumen quality at dehydration	93
<b>Osipova N.N.</b> Optimization of thermal protection of buildings in the dynamics of the cost of energy <b>Semenov V.N.</b> Methods of the substantiation of factors, indicators and criteria of the estimation of effi-	98
ciency in the control system of power savings of life-support of the municipal enterprises and the population	104
HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION	110
<b>Medvedeva O.N.</b> The choice of a rational use of one-and two-stage gas supply systems	110
WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION	
Golovanchikov A.B., Efremov M.J., Dulkina N.A., Novikov M.G. The purification of groundwater of ions of bivalent iron in the cation-exchange module under the influence of electric field	118
<b>Aleshin A.V., Aleshin V.S., Rasskazov E.B.</b> Waste water treatment in plating workshop of railway repair plant by filtration throught different granular materials	123
Sainova V.N., Ushakova E.V., Sainov D.I., Kostrov A.N. The rational two-level scheme of biological	
sewage treatment of confectionery factory	126
THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF THE HISTORIC AND ARCHITECTURAL HERITAGE. ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	
<b>Terjagova A.N.</b> Architectural and urban planning principles of transformation of the city environment in the barrier-free space	132
ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING. LANDSCAPE ARCHITECTURE	
Balakin V.V. Calculation of atmospheric air pollution within urban roads framed with buildings	138
<b>Chebanova S.A., Vorobiyev V.I., Balychev V.D.</b> Account of the influence of the torch ejections from the enterprises of the fuel and power complex at calculations of dispersion of the polluting substances and	
designing of the sanitary-protective zones	144
Myakinin A.S., Kositsyna E.S., Ganzha O.A. Petrol stations located on urban territories as an object of	
environmental threat  Statementa IV Measures for population and worker protection against pagetive influence of natural	149
<b>Stefanenko I.V.</b> Measures for population and worker protection against negative influence of natural radionuclides during engineering of buildings and constructions	153
OUR AUTHORS	159
	139

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

УДК 624.131

О.А. Богомолова, Я.В. Качурин, В.Н. Кужель, И.В. Якименко

### РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ

Показано, что игнорирование взаимного влияния откосов в составе сооружения может приводить к серьезным погрешностям в определении степени их устойчивости. Приведены рекомендации по величине некоторых геометрических параметров откосов, при которых расчет их устойчивости может проводиться без учета взаимного влияния.

К л ю ч е в ы е с л о в а: изолированный откос, откосы выемки и насыпи, напряженно-деформированное состояние, взаимное влияние откосов, устойчивость откосов.

Analysis of slope stability of earth structures in most cases is carried out irrelatively of the function fulfilled by the slope in the given structure. The article shows that the ignorance of slope interference within the structure can lead to serious accuracies in evaluation of the degree of their stability. Authors consider recommendation in size of some geometric parameters of slopes. With their help analysis of slope stability can be carried out without taking into account their interference.

 $K\ e\ y\ w\ o\ r\ d\ s$ : isolated slope, cut and fill slopes, stressed-deformed state, slope interference of structure on their stability.

При решении задач геомеханики, связанных с определением степени устойчивости грунтового откоса, последний может рассматриваться как собственно отдельно стоящий (изолированный) откос, как откос выемки или как откос насыпи, например грунтовой плотины.

Расчетные схемы методов расчета устойчивости откосов, основанных на гипотезе о круглоцилиндрической поверхности скольжения или теории предельного равновесия, составляются безотносительного к тому, какую функцию выполняет в рассматриваемой задаче откос, т.е. без учета взаимного влияния откосов выемки или насыпи на устойчивость рассматриваемого объекта. Эти расчетные схемы лишь приблизительно отвечают граничным условиям задачи об устойчивости изолированного откоса, так как кроме всего прочего не учитывают наличия подошвы откоса и ее влияния на НДС грунтового массива.

Очевидно, при проектировании откосов, расчете устойчивости бортов строительных котлованов и насыпей необходимо учитывать природные напряжения, трансформацию напряженно-деформированного состояния и поля парового давления при изменении главного вектора внешней нагрузки. Кроме того, следует учитывать анизотропию грунта и его неоднородность, изменение свойств грунта с глубиной, последствия строительства на близлежащих

территориях, влекущие за собой изменение нагрузок, рельефа, гидрогеологической обстановки и т.д.

Учесть все многообразие факторов, перечисленных выше, можно используя расчетные методы, основанные на анализе НДС грунтового массива. Не случайно согласно СНиП 33-01—2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» [1] для обоснования надежности и безопасности гидротехнических, в т.ч. грунтовых, сооружений должны выполняться расчеты НДС 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 предельным состояниям, их прочности, устойчивости.

Поэтому для проведения сопоставительных расчетов нами выбрана компьютерная программа [2], в которой для анализа НДС грунтового массива формализован метод конечных элементов, а для вычисления величины коэффициента запаса устойчивости откоса K — методика, изложенная в [3, 4].

В качестве примеров вычислим значения коэффициентов устойчивости гипотетических изолированного откоса  $K_{\text{и.о.}}$ , откосов выемки  $K_{\text{в}}$  и насыпи  $K_{\text{н.}}$ . При проведении вычислений примем, что откосы сложены однородным связным грунтом с объемным весом  $\gamma=22.5~\text{кH/m}^3$ , обладающим удельным сцеплением C=0.08~МПа и углом внутреннего трения  $\phi=15^\circ$ , причем их высота H поочередно принимает такие значения, что соответствующие им величины приведенного давления связности равны  $\sigma_{\text{св}}=C(\gamma\,H\text{tg}\,\phi)^{-1}=0.0375;\,0.075;\,0.15;\,0.3.$  Сечения выемки и насыпи представляют собой геометрически равные равнобедренные трапеции, одно из оснований которых равно по величине их высоте.

На рис. 1 изображены изолинии безразмерных (в долях  $\gamma$  H) вертикальных ( $\sigma_z$ ), горизонтальных ( $\sigma_x$ ) и касательных ( $\tau_{xz}$ ) напряжений, возникающих от сил гравитации в однородных грунтовых массивах, образующих выемку и насыпь, при величине коэффициента бокового давления  $\xi_o = 0.75$  (глинистый грунт). Анализ изображений показывает, что картины изолиний соответствующих напряжений значительно отличаются и по интенсивности, и по рисунку. Исходя из этого можно сделать предположение, что и величины коэффициентов запаса устойчивости, вычисленные для откосов насыпи и выемки по одной и той же методике, будут отличаться.

Действительно, для вычисления численного значения величины коэффициента устойчивости и угла ориентации площадки наиболее вероятного сдвига нами используются формулы (1), (3), (4) и условие (2) [3]:

$$K = \frac{\left[\frac{1}{2}(\sigma_z - \sigma_x)\cos 2\alpha + \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) + \tau_{xz}\sin 2\alpha + \sigma_{cB}\right] tg\phi}{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z)\sin 2\alpha + \tau_{xz}\cos 2\alpha};$$
(1)

$$\frac{\partial K}{\partial \alpha} = 0;$$

$$\frac{\partial^2 K}{\partial \alpha^2} > 0,$$
(2)

$$\sin 2\alpha_{1;2} = -\frac{2\tau_{xz}}{B} \pm (\sigma_z - \sigma_x) \sqrt{\frac{B^2 - D}{B^2 D}},$$
где  $B = (\sigma_z + \sigma_x + 2\sigma_{cs}); \quad D = 4\tau^2_{xz} + (\sigma_z - \sigma_x)^2.$ 

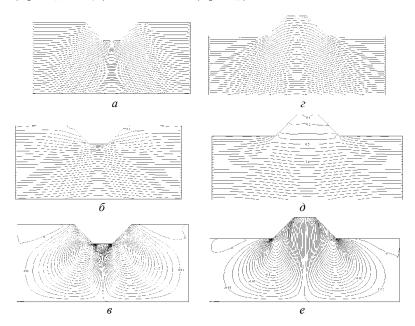


Рис. 1. Изолинии безразмерных напряжений  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$  и  $\tau_{xz}$  (a,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ) в выемке и насыпи ( $\epsilon$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ), сложенных однородным грунтом

Величина глобального коэффициента устойчивости  $K_{\rm гл}$ , вычисленного для наиболее вероятной линии скольжения, определяется соответственно выражением

$$K_{\Gamma\Pi} = \frac{\int\limits_{l}^{l} F_{y\pi}(S) ds}{\int\limits_{0}^{l} F_{c\pi}(S) ds},$$
(4)

где  $F_{yx}$  и  $F_{cx}$  — удерживающие и сдвигающие силы в точках наиболее вероятной линии скольжения, определяемые соответственно числителем и знаменателем формулы (1); S — дуговая координата точки линии скольжения.

На рис. 2 приведены графические зависимости вида  $K = f(\sigma_{cs})$  для трех вариантов, оговоренных выше. Анализ графиков позволяет установить, что значения коэффициентов запаса устойчивости для откосов выемки при-

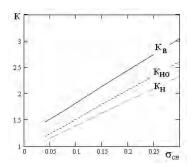


Рис. 2. Графики зависимостей вида  $K = f(\sigma_{cb})$  для изолированного откоса, откосов насыпи и выемки

мерно на 30...35 % больше при всех прочих равных условиях соответствующих значений для насыпи. Численные значения коэффициентов запаса устойчивости для изолированного откоса лежат между ними.

В связи с этим может быть высказано следующее логичное предположение. Если постепенно увеличивать ширину основания выемки и ширину насыпи, то при достижении ими некоторых значений взаимное влияние откосов насыпи и выемки друг на друга сведется к нулю. НДС каждого из них станет идентичным НДС изолированного откоса, что и определит равенство соответствующих значений коэффициентов запаса устойчивости.

Теперь возникает задача об определении значений ширины основания выемки b и верхнего основания насыпи L, при которых величина их коэффициента запаса устойчивости при всех прочих равных условиях будет такой же, как у изолированного откоса.

На основе анализа результатов многочисленных вычислений удалось построить графические зависимости, приведенные на рис. 3, которые позволяют вычислять значения коэффициента запаса устойчивости однородного изолированного откоса в зависимости от его геометрии и физико-механических свойств слагающих его грунтов. Следует отметить, что все вычисления проведены при величине коэффициента бокового давления  $\xi_0 = 0.75$ , что соответствует глинистым грунтам.

Оказалось, что все кривые, приведенные на рис. 3, a—e, могут быть аппроксимированы выражением (5), причем погрешность не превысит 4 %.

$$K = am^{-0.302}, (5)$$

где K — коэффициент запаса устойчивости откоса; a — коэффициент, определяемый по графику на рис. 3, z;  $m = \operatorname{tg} \beta$  — уклон откоса.

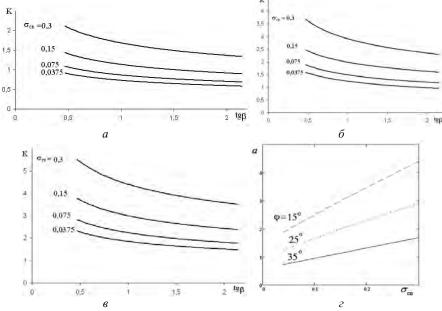


Рис. 3. Графики зависимости вида  $K = F(\lg \beta)$  для значений угла внутреннего трения грунта  $\varphi$ : 15° (a), 25°  $(\delta)$  и 35°  $(\epsilon)$  — и график  $(\epsilon)$  для определения коэффициента a в формуле (5)

Используя графики, приведенные на рис. 3, формулу (5) и метод линейной интерполяции, можно легко вычислить численные значения величины коэффициента запаса устойчивости для изолированного откоса, если его угол  $\beta \in [25^{\circ}...65^{\circ}]$ , а физико-механические и геометрические параметры таковы, что  $\sigma_{cr} \in [0.0375...03]$ .

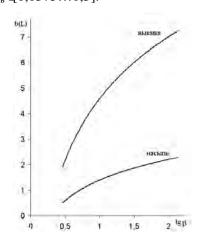


Рис. 4. Графики зависимости вида  $b = f(\operatorname{tg} \beta)$  и  $L = f(\operatorname{tg} \beta)$  для откосов выемки и насыпи

Проведенные нами исследования позволили установить, что если величины b и L для выемки и насыпи, найденные по графикам, приведенным на рис. 4, больше соответствующих размеров в натуре, то формулу (5) и графики (см. рис. 3) можно использовать для вычисления величин коэффициентов устойчивости откосов выемок и насыпей, так как в данном случае взаимное влияние откосов земляных сооружений будет исключено.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. СНи $\Pi$  33-01—2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. М. : Госстрой России, 2004.
- 2. Устойчивость (напряженно-деформированное состояние) : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г. / А.Н. Богомолов, О.А. Богомолова, М.Ю. Нестратов и др.
- 3. *Цветков В.К.* Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Нижн.-Волж. кн. изд-во, 1979.
- 4. *Богомолов А.Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996.

© Богомолова О.А., Качурин Я.В., Кужель В.Н., Якименко И.В., 2010

Поступила в редакцию в апреле 2010 г.

УДК 624.131

#### А.Н. Богомолов, Я.В. Качурин, В.Н. Кужель, И.В. Якименко, О.А. Богомолова

# РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ВЫЕМОК И НАСЫПЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ

На основе анализа результатов расчетов установлено, что величина коэффициента запаса устойчивости изолированного откоса при всех прочих равных условиях всегда ниже, чем у откоса выемки, и всегда выше, чем у откоса насыпи, при условии, что их сечения имеют форму треугольника. Приведены графики и изложена последовательность проведения вычислений, позволяющие определить величину коэффициента запаса устойчивости откосов насыпи и выемки при любых значениях ширины насыпи и длины основания выемки.

Ключевые слова: изолированный откос, откосы выемок и насыпей, напряженнодеформированное состояние, взаимное влияние откосов сооружения на их устойчивость.

According to the results of the calculations it is determined that the dimension of the reserve stability coefficient of the isolated slope in other equal conditions is always lower than the slope of the fluting, and is always higher than the slope of embankment in condition that their intercept have the triangle shape. The present work sets the charts and states the coherence of the calculations conducting that allow defining the dimension of coefficient of the reserve stability of the isolated slope and the slope of embankment in all valuations of the width of the embankment and the length of the fluting foundation.

 $K\ e\ y\ w\ o\ r\ d\ s$ : isolated slope, the slope of fluting and embankment, strained-deformed condition, mutual influence of the construction slopes on their stability.

Анализ картин изолиний напряжений, приведенных на рис. 1, показывает, что напряженно-деформированные состояния откосов выемок и насыпей при одинаковом их угле наклона β существенно отличаются друг от друга; отличаются и численные значения величин коэффициентов запаса устойчивости, вычисленные при помощи компьютерной программы [1], проводящей анализ напряженно-деформированного состояния грунтового массива на основе МКЭ, осуществляющей построение наиболее вероятной поверхности скольжения (НВПС) и вычисление соответствующего значения коэффициента запаса устойчивости исходя из условия его минимальности в каждой точке НВПС [2; 3].

На рис. 2, 4 и 5 приведены графические зависимости вида  $K = f(\lg \beta)$  для откосов насыпей и выемок при условии, что длины нижнего основания выемки и верхнего основания насыпи равны  $b_{\rm H} = L = 0$  и  $b_{\rm H} = L = H$ . Оказалось, что все без исключения кривые, как нами показано в [4], могут быть аппроксимированы выражением

$$K = am^{-b}, (1)$$

где K — коэффициент запаса устойчивости откоса; a и b — коэффициенты;  $m=\operatorname{tg}\beta$  — уклон откоса.

При этом погрешность аппроксимации не превышает 5 %.

На рис. 3, a,  $\delta$ , 4,  $\epsilon$ , 6, a — e приведены кривые, позволяющие определить численные значения коэффициентов e и e, при помощи которых по формуле (1) можно рассчитать численные значения коэффициентов запаса устойчивости для откосов выемок и насыпей при условии, что e0 и e1 = e1 и e3.

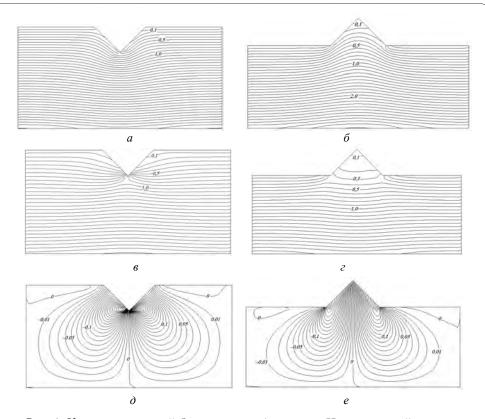


Рис. 1. Картины изолиний безразмерных (в долях  $\gamma$  H) напряжений  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$  и  $\tau_{zx}$  в откосах выемки  $(a; e; \partial)$  и насыпи  $(\delta; e; e)$  при  $\beta = 45^\circ$  и условии, что длины нижнего основания выемки и верхнего основания насыпи равны  $b_{\rm H} = L = 0$ 

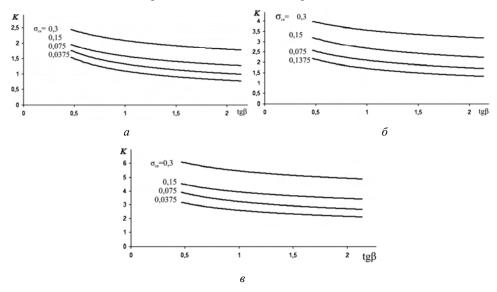


Рис. 2. Графические зависимости вида  $K=f(\lg\beta)$  для четырех значениях давления связности  $\sigma_{\rm cs}=0,3;~0,15;~0,075;~0,0375$  и трех значений угла внутреннего трения  $\phi=15^\circ~(a);~\phi=25^\circ~(\delta)$  и  $\phi=35^\circ~(\epsilon)$  для выемки, изображенной на рис. 1, a

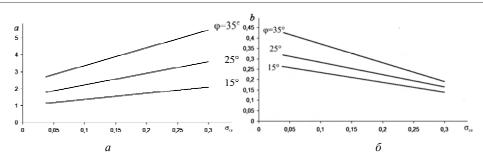


Рис. 3. Графики для определения коэффициентов a (a) и b ( $\delta$ ), определяющих величину коэффициентов запаса устойчивости откосов выемки при  $b_{\rm H}=L=0$ , вычисляемых по формуле (1)

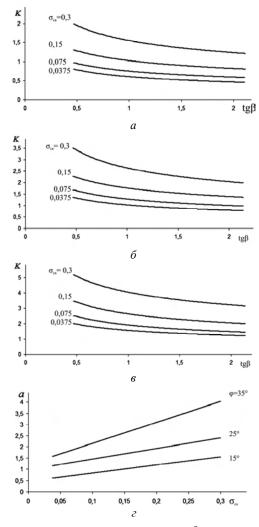


Рис. 4. Графические зависимости вида  $K=f(\lg\beta)$  для четырех значений давления связности  $\sigma_{\rm cs}=0.3;\ 0.15;\ 0.075;\ 0.0375$  и трех значений угла внутреннего трения  $\phi=15^\circ$  (*a*);  $\phi=25^\circ$  (*б*) и  $\phi=35^\circ$  (*в*) для откосов насыпи (рис. 1, *б*) и график для определения коэффициента *a* (*г*), определяющего величину коэффициента запаса устойчивости откосов насыпи при  $b_{\rm H}=L=0$ , вычисляемого по формуле (1)

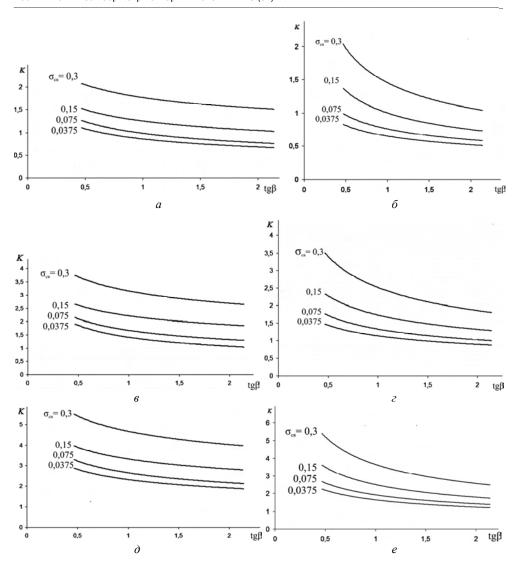


Рис. 5. Графические зависимости вида  $K = f(\operatorname{tg}\beta)$  для четырех значений давления связности  $\sigma_{\operatorname{cs}} = 0.3$ ; 0.15; 0.075; 0.0375 и трех значений угла внутреннего трения  $\varphi = 15^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$  для откосов выемки  $(a, e, \partial)$  и насыпи  $(\delta, e, e)$  при  $b_{\operatorname{H}} = L = H$ 

Кроме того, установлено, что с погрешностью, не превышающей 7 %, численное значение коэффициента b для насыпи при  $b_{\rm H}=0$  является постоянной величиной, равной b=0,354.

Таким образом, формула (1) и приведенные выше графики позволяют вычислять численные значения коэффициентов запаса устойчивости для откосов выемок и насыпей для всех их параметров ( $\beta = 15^{\circ}...65^{\circ}$ ;  $\sigma_{cB} = 0.3$ ; 0,15; 0,075; 0,0375;  $\phi = 15$ ; 25; 35°) при условии, что  $b_{H} = L = 0$  и  $b_{H} = L = H$ .

Расчетами установлено, что численные значения коэффициентов устойчивости откосов насыпи и выемки при увеличении  $b_{\rm H}$  и L устремляются к соответствующим значениям коэффициентов запаса устойчивости для изолированного откоса. При этом изменение коэффициентов запаса устойчивости

происходит по закону, который на участках  $b_{\rm H} \in [0; 0.5H]$  и  $b \in [0.5H; b_{\rm изол}]$  для насыпи и  $L \in [0; 0.5H]$  и  $L \in [0.5H; L_{\rm изол}]$  для выемки с погрешностью, не превышающей 8,5 %, может быть определен как билинейный. Значения  $b_{\rm изол}$  и  $L_{\rm изол}$ , при которых значения коэффициентов устойчивости для откосов насыпи и выемки могут быть определены как для изолированного откоса, определяются по графику, приведенному на рис. 6,  $\varepsilon$ .

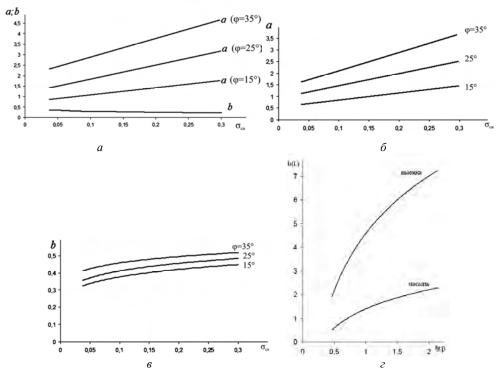


Рис. 6. Графики для определения параметров формулы (1), предназначенной для вычисления коэффициентов запаса устойчивости откосов выемки (a) и насыпи ( $\delta$ ; e) при  $b_{\rm H} = L = H$ 

Следовательно, определяя численные значения величин коэффициентов запаса устойчивости для откосов насыпи или выемки на границах указанных интервалов и применяя метод линейной интерполяции, можно определить значения коэффициентов запаса устойчивости для любых значений  $b_{\rm H}$  и L.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Устойчивость (напряженно-деформированное состояние) : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г. / А.Н. Богомолов, О.А. Богомолова, М.Ю. Нестратов и др.
- 2. *Цветков В.К.* Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Нижн.-Волж. кн. изд-во, 1979.
- 3. *Богомолов А.Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996.
- 4. Расчет устойчивости откосов земляного сооружения с учетом их взаимного влияния / О.А. Богомолова, Я.В. Качурин, В.Н. Кужель, И.В. Якименко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2010. Вып. 18(37). С. 4—8.

Поступила в редакцию в апреле 2010 г.

© Богомолов А.Н., Качурин Я.В., Кужель В.Н., Якименко И.В., Богомолова О.А., 2010 УДК 624.131

#### А.С. Статун, О.А. Богомолова, А.Н. Богомолов, И.В. Якименко

# РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ПОТОЛОЧИНЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ШТОЛЬНЕОБРАЗНОЙ ВЫРАБОТКИ КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Сделана попытка численного решения задачи об устойчивости потолочины горизонтальной штольнеобразной выработки квадратного сечения, сооруженной в однородном связном грунте. Величина коэффициента запаса устойчивости кровли определена как отношение площадей эпюр удерживающих и сдвигающих сил, действующих по боковой поверхности (симметричная расчетная схема) призмы обрушения, образованной потолком выработки, дневной поверхностью земли и наиболее вероятной поверхностью скольжения, построенной на основе анализа напряженно-деформированного состояния грунтового массива. Приведены расчетные формулы и графические аппроксимации полученных зависимостей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: штольнеобразная выработка, коэффициент запаса устойчивости, потолочина, связные грунты, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние.

There has been made an effort to the settle the numerical sum of the stability of the horizontal adit excavation of the quadratic cut set of the ceiling, constructed in the homogeneous liaison soil. The value of the coefficient of the roofing stability reserve is defined as the ratio of the area diagrams of restraining and shifted forces, functioning on lateral surface (the symmetrical calculated scheme) of the collapse prism, formed by the cut set of the ceiling, day earth surface and the most possible sliding surface, built on the basis of the analysis of the intensive-deformed condition of the soil massif. Calculated formulas and graphical approximations of derived dependences are given.

K e y w o r d s: adit excavation, coefficient of the roofing stability reserve, roofing, liaison soils, final elements method, intensive-deformed condition.

При устройстве различного рода подземных сооружений всегда необходимо знать величину коэффициента устойчивости грунтового массива, составляющего кровлю подземного пространства, что в дальнейшем позволит провести расчет ее крепи или обделки. Поэтому задача об определении напряженно-деформированного состояния (НДС) и устойчивости грунтового массива, образующего потолочину выработки, является актуальной.

Для анализа НДС и вычисления коэффициентов запаса устойчивости потолочин использована компьютерная программа [1], в которой формализован метод конечных элементов, а построение наиболее вероятной поверхности обрушения проводится исходя из условия минимальности величины коэффициента запаса устойчивости в каждой ее точке [2, 3].

Численное значение величины коэффициента устойчивости и угол ориентации площадки наиболее вероятного сдвига вычисляются по формулам (1), (3), (4) и условию (2) [4].

В качестве примера на рис. 1 приведены фрагмент правой половины расчетной схемы (ввиду симметричности расчетной схемы можно рассматривать ее половину), картины изолиний безразмерных напряжений, ориентация наиболее вероятных площадок сдвига в точках грунтового массива и след наиболее вероятной поверхности обрушения, построенные при помощи компьютерной программы [1].

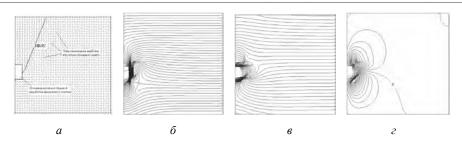


Рис. 1. Фрагмент расчетной схемы и картины изолиний безразмерных напряжений  $\sigma_z(\delta)$ ;  $\sigma_x(\epsilon)$  и  $\tau_{xz}(\epsilon)$ , возникающих вокруг выработки от собственного веса грунта

База исходных данных при проведении компьютерного моделирования составлена таким образом, что длина стороны квадратного сечения выработки последовательно принимает 5 значений  $L=0,5;\ 1,0;\ 1,5;\ 2,0;\ 3,0$  м, глубина заложения выработки — расстояние от уровня дневной поверхности до геометрического центра квадратного сечения выработки H — изменяется от 6 до 30 м с шагом 3 м, а прочностные свойства грунта принимаются таковыми, что величина приведенного давления связности  $\sigma_{cs}=C(\gamma H tg \phi)^{-1} \in [0,05...6]$ .

Анализ и обработка результатов вычислений сведены в таблицы (две из них при L=0.5 и L=3 м помещены в тексте статьи), на основании которых построены графические зависимости вида  $K=f(\sigma_{\rm cB})$ , приведенные на рис. 2 и 3. При этом соответствующие графики при L=3 м приведены на рис. 3 отдельно. Это объясняется тем, что при данном размере сечения выработки исследуемая зависимость начинает менять свой характер. Если в первом случае  $(L=0.5...2~{\rm M})$  кривые имеют одну кривизну, то во втором  $(L=3~{\rm M})$  соответствующие кривые могут характеризоваться как кривые с двойной кривизной.

Несмотря на это оказалось, что все изображенные на рис. 2 и 3 кривые с точностью до 8,5 % могут быть аппроксимированы выражением

$$K = ae^{b\sigma_{\rm CB}} + c, \tag{1}$$

где a; b; c — коэффициенты, определяемые по графикам, приведенным на рис.  $4, a; \delta; \epsilon$ .

Нами предпринята попытка унификации коэффициентов, входящих в формулу (1), с целью упрощения расчетов. Для этого вычислены среднеарифметические значения коэффициентов a, b и c для пяти значений L при всех рассмотренных в работе значениях угла внутреннего трения грунта и построены соответствующие графические зависимости (рис. 4, 2).

Оказалось, что если использовать в качестве расчетных в формуле (1) усредненные значения коэффициентов a; b; c, то численные значения соответствующих коэффициентов запаса устойчивости, вычисленные по коэффициентам, определенным по графикам, приведенным на рис. 4, a-e, будут отличаться не более чем на 1...14 %. Такая погрешность в вычислениях допустима в инженерной практике. Установлено, что данное утверждение справедливо при условии, что размер поперечного сечения квадратной штольни не превышает 2,5 м, т.е.  $L \le 2,5$ .

Для того чтобы вовсе обойтись без графиков при вычислении величины коэффициента запаса устойчивости потолочины, в отличие от [5], мы попытались записать выражения для подсчета значений коэффициентов a, b и c.

Оказалось, что почти со 100%-й точностью они могут быть вычислены по следующим формулам, представляющим собой полиномы Лагранжа:

$$a = (-1,241 \cdot 10^{-4}) \varphi^{4} + (8,538 \cdot 10^{-3}) \varphi^{3} + (-0,208) \varphi^{2} + 2,207 \varphi - 8,41$$

$$b = (-1,121 \cdot 10^{-5}) \varphi^{4} + (1,108 \cdot 10^{-3}) \varphi^{3} + (-0,038) \varphi^{2} + 0,54 \varphi - 2,172$$

$$c = (7,292 \cdot 10^{-7}) \varphi^{4} + (3,165 \cdot 10^{-4}) \varphi^{3} + (-0,016) \varphi^{2} + 0,229 \varphi - 0,258$$
(2)

где коэффициенты при  $\varphi^n$  имеют размерность [град $^{-n}$ ].

Выводы. 1. Если размер стороны выработки  $L \le 2,5$  м, то при рассмотренных в работе глубинах ее заложения величину коэффициента запаса устойчивости потолочины выработки можно вычислять по формуле (1), используя усредненные (не зависящие от размера сечения выработки) значения коэффициентов a, b и c, определяемые выражениями (2). Использование формул (1) и (2) позволяет проводить вычисления с погрешностью, не превышающей 15 %, которая идет в запас устойчивости.

- 2. Увеличение поперечного размера сечения выработки существенным образом видоизменяет расчетную зависимость (1), что обусловлено, как по-казали результаты дополнительных вычислений, интенсивным развитием в окрестностях выработки областей пластических деформаций.
- 3. Области пластических деформаций наиболее интенсивно развиваются в основании выработки и в стороны от ее вертикальных боковых сторон.

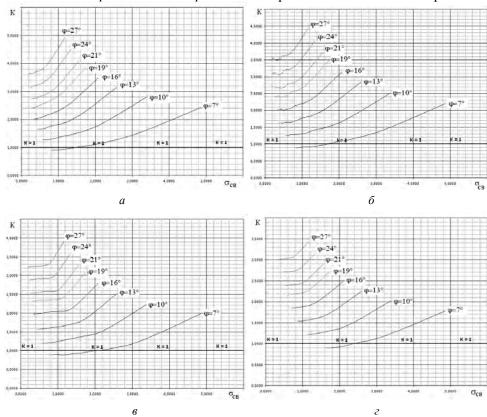


Рис. 2. Графики зависимостей вида  $K=f(\sigma_{\rm cB})$  при L=0.5 м (a),~L=1.0 м  $(\delta),~L=2.0$  м  $(\epsilon)$  и L=2.5 м  $(\epsilon)$ 

Таблица 1

Расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости K при  $L=0.5\, m$ 

= <b>0</b>	7°	$\varphi = 1$	$10^{\circ}$	= Φ	$\phi=13^\circ$	= <b>b</b>	$\phi=16^{\circ}$	= <b>0</b>	$\phi = 19^{\circ}$	= <b>0</b>	$\varphi=21^{\circ}$	= Φ	$\phi=24^{\circ}$	= <b>0</b>	$\varphi = 27^{\circ}$
σ <sub>cв</sub>	Х	σ <sub>cs</sub>	Х	$\sigma_{_{\mathrm{CB}}}$	К	σ <sub>cв</sub>	К	o <sub>cs</sub>	K	σ <sub>cв</sub>	K	$\sigma_{_{\mathrm{CB}}}$	К	σ <sub>cв</sub>	К
4,8602	1,8409	3,3825	2,1351	2,5827	2,4351	2,0800	2,7431	1,7320	3,0601	1,5534	3,2776	1,3395	3,6157	1,1704	3,9697
3,2401	1,2861	2,2550	1,5977	1,7218	1,9154	1,3867	2,2412	1,1547	2,5767	1,0356	2,8069	0,8930	3,1646	0,7803	3,5392
2,4301	1,0829	1,6913	1,4077	1,2913	1,7386	1,0400	2,0778	0,8660	2,4273	0,7767	2,6672	0,6697	3,0396	0,5852	3,4299
1,9441	0,9858	1,3530	1,3184	1,0331	1,6572	0,8320	2,0045	0,6928	2,3623	0,6214	2,6079	0,5358	2,9892	0,4682	3,3887
1,6201	0,9333	1,1275	1,2708	0,8609	1,6147	0,6933	1,9672	0,5773	2,3303	0,5178	2,5796	0,4465	2,9666	0,3901	3,3721
1,3886	0,9031	0,9664	1,2453	0,7379	1,5940	0,5943	1,9513	0,4949	2,3194	0,4438	2,5722	0,3827	2,9645	0,3344	3,3705
1,2150	0,8837	0,8456	1,2288	0,6457	1,5802	0,5200	1,9404	0,4330	2,3115	0,3883	2,5663	0,3349	2,9618	0,2926	3,3662
1,0800	0,8707	0,7517	1,2186	0,5739	1,5729	0,4622	1,9360	0,3849	2,3102	0,3452	2,5649	0,2977	2,9546	0,2601	3,3636
0,9720	0,8613	0,6765	1,2107	0,5165	1,5665	0,4160	1,9312	0,3464	2,3070	0,3107	2,5650	0,2679	2,9484	0,2341	3,3550

Таблица 2

Расчетные значения коэффициентов запаса устойчивости K при L=3 м

						7 7		•			7				
= <b>d</b>	$\varphi = 7^{\circ}$	= <b>0</b>	$\phi=10^{\circ}$	= Φ	$\varphi = 13^{\circ}$	$\phi=16^{\circ}$	16°	° 61 = 0	° 61	$\varphi = 21^{\circ}$	21°	= Φ	φ = 24°	$\varphi = 27^{\circ}$	27°
$\sigma_{\mathrm{cB}}$	K	$\sigma_{_{\mathrm{CB}}}$	K	$\sigma_{_{\mathrm{CB}}}$	K	$\sigma_{ m cB}$	K	$\sigma_{ m cB}$	K	$\sigma_{ m cB}$	K	$\sigma_{_{\mathrm{CB}}}$	K	$\sigma_{ m cB}$	K
4,8602	0,8963	3,3825	1,0649	2,5827	1,2367	2,0800	1,4131	1,7320	1,5946	1,5534	1,7192	1,3395	1,9128	1,1704	2,1155
3,2401	0,7090	2,2550	0,8990	1,7218	1,1126	1,3867	1,3112	1,1547	1,5056	1,0356	1,6360	0,8930	1,8540	0,7803	2,0823
2,4301	0,6551	1,6913	0,8640	1,2913	1,0768	1,0400	1,2895	0,8660	1,4800	0,7767	1,6140	0,6697	1,8440	0,5852	2,0744
1,9441	0,6308	1,3530	0,8451	1,0331	1,0537	0,8320	1,2779	0,6928	1,4693	0,6214	1,6050	0,5358	1,8322	0,4682	2,0617
1,6201	0,6222	1,1275	0,8330	0,8609	1,0482	0,6933	1,2692	0,5773	1,4568	0,5178	1,5979	0,4465	1,8226	0,3901	2,0598
1,3886	0,6116	0,9664	0,8251	0,7379	1,0331	0,5943	1,2672	0,4949	1,4492	0,4438	1,5889	0,3827	1,8198	0,3344	2,0504
1,2150	0,6074	0,8456	0,8135	0,6457	1,0246	0,5200	1,2621	0,4330	1,4377	0,3883	1,5769	0,3349	1,8107	0,2926	2,0485
1,0800	0,5955	0,7517	0,8041	0,5739	1,0177	0,4622	1,2588	0,3849	1,4369	0,3452	1,5652	0,2977	1,8031	0,2601	2,0356
0,9720	0,9720 0,5886	0,6765	0,7944	0,5165	1,0056	0,4160	1,2439	0,3464	1,4313	0,3107	1,5623	0,2679	1,7999	0,2341	2,0231

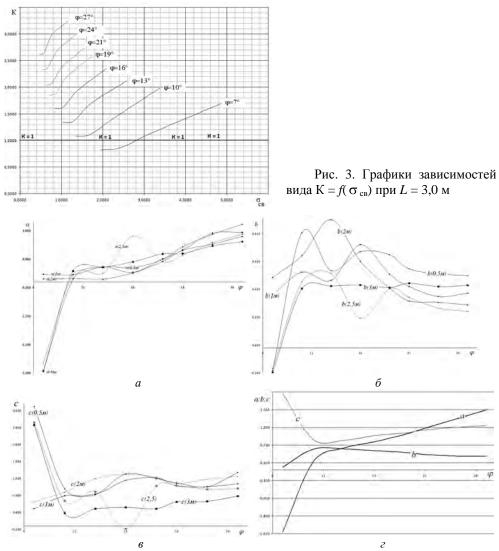


Рис. 4. Графические зависимости для определения коэффициентов a (a); b ( $\delta$ ); c (e) и их усредненных значений (e)

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. *Богомолов А.Н.*, *Ушаков А.Н.*, *Редин А.В.* Программа «Устойчивость» для ПЭВМ // Информационный листок о научно-техническом достижении № 311-96. Волгоград : ЦНТИ, 1996.
  - 2. Цветков В.К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград, 1979.
- 3. *Богомолов А.Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996.
- 4. Расчет устойчивости откосов земляного сооружения с учетом их взаимного влияния / О.А. Богомолова, Я.В. Качурин, В.Н. Кужель, И.В. Якименко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2010. вып. 18(37). С. 4—8.
- 5. Расчет устойчивости потолочины горизонтальной штольнеобразной выработки квадратного сечения, сооруженной в однородном связном грунте / О.А. Богомолова, А.С. Статун, А.Н. Богомолов, И.В. Якименко // 2009 год Нижне-Волжского региона в Южном региональном отделении РААСН : сб. науч. ст. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010.

Поступила в редакцию в апреле 2010 г.

© Статун А.С., Богомолова О.А., Богомолов А.Н., Якименко И.В., 2010 УДК 624.138.9

## Д.Г. Золотозубов, А.Б. Пономарев

# РАСЧЕТЫ АРМИРОВАННЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ КАРСТОВЫХ ПРОВАЛОВ

Приведен анализ результатов расчетов оснований, армированных геосинтетическими материалами, в случае провала грунта.

Ключевые слова: армирование основания, геосинтетические материалы, провал грунта.

Results and the analysis of calculations of the bases reinforced by geosynthetic materials, in case of an downfall of a soil.

K e y w o r d s: soil reinforcement, geosynthetic materials, the soil downfall.

При проектировании и строительстве фундаментов на карстоопасных территориях необходимы специальные мероприятия, например армирование грунта геосинтетическими материалами. Армированный грунт обладает такими характеристиками, которые делают его пригодным для возведения инженерных сооружений.

Армирование грунтов для предотвращения аварий при провалах грунта достаточно широко используется в России и за рубежом, например в Германии при строительстве дорог. Для решения вопросов о применимости тех или иных материалов, методов их укладки и т.п. там постоянно проводятся эксперименты, причем за счет производителей геосинтетических материалов. Результаты экспериментов показывают, что применение геосинтетических материалов в качестве армирующей прослойки позволяет повысить безопасность эксплуатации оснований в случае возникновения провалов грунта [1, 2].

Характеристики грунтов оснований в Германии и в Пермском крае отличаются, но провести подобные эксперименты у нас сложно из-за недостаточности финансирования. Поэтому для проверки возможности и области применения геосинтетических материалов для армирования грунтовых оснований в сложных инженерно-геологических условиях Пермского края нами были проведены численные эксперименты.

Для проведения расчетов были выбраны достаточно типичные характеристики физико-механических свойств грунтов в Кунгурском районе Пермского края. По данным статистических наблюдений в этом районе наиболее вероятно возникновение карстовых провалов диаметром до 4,0 м.

Расчеты проводились с помощью программы PLAXIS. Выбор этой программы связан с ее относительной доступностью и, что более важно, с тем, что эта программа показывает хорошую сходимость результатов при расчете наиболее типичных задач.

При расчетах моделировалось поведение грунтового основания при возникновении провала для случаев: I — без армирования; 2 — армирование с помощью 1, 2 или 3 слоев геосинтетического материала. В процессе расчетов изменялось положение слоев армирования относительно поверхности нагружения (максимальная глубина заложения — 1 м), расстояние между армирующими слоями, а также предельное растягивающие усилие геосинтетиче-

ского материала: нормальная жесткость на разрыв принималась равной 4000, 7000 и 10000 кН/м. Общая схема расчетов приведена на рис. 1. Нагрузка на поверхность изменялась от 20 до 120 кПа. В связи с большим объемом полученных при расчетах данных в этой статье будут представлены результаты для однослойного армирования. Результаты расчетов по двух- и трехслойному армированию качественно не отличаются.

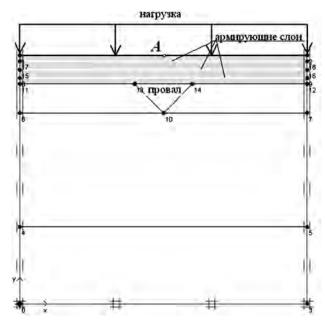


Рис. 1. Схема численного эксперимента

При расчетах были использованы грунты основания со следующими характеристиками:

ИГЭ-3 — гравийно-галечниковый грунт с суглинистым заполнителем, E=30 МПа, c=1 кПа,  $\phi=38^{\circ}$ ,  $\gamma=18,1$  кН/м<sup>3</sup>.

В расчетах принято, что на глубине 1 м от поверхности в слое грунта образуется полость. Размер провала в глубине приняли 2,0 м. Как видно из графика (рис. 2) провал диаметром 2,0 м на глубине 1 м при отсутствии армирования грунтового массива дает на поверхности провал диаметром около 4,0 м, что соответствует условиям расчетов.

В результате численных экспериментов было установлено, что величина осадки поверхности зависит от того, в каких слоях грунта расположены армирующие прослойки: укладка армирующих слоев в однородный песчаногравийный грунт приводит к меньшим осадкам проверхности, чем их укладка в глинистые грунты. В качестве примера на рис. 3 приведены варианты расчетов с укладкой одного слоя геосинтетики с нормальной (осевой) жесткостью  $EA\ R=7000\ {\rm kH/m}$  на глубине  $0,1\ {\rm m}$  от поверхности. Точка A расположе-

на на поверхности над центром провала. Из графиков видно, что наибольшая разность значений (на порядки) начинается при нагрузках свыше 60 кПа.

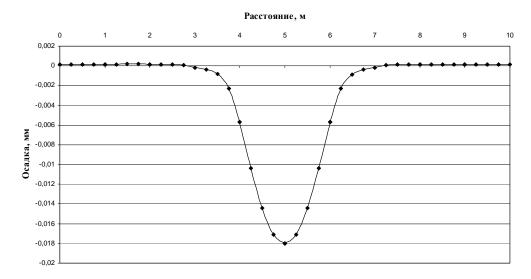


Рис. 2. График осадок поверхности при возникновении провала (без армирования основания и без нагрузки)

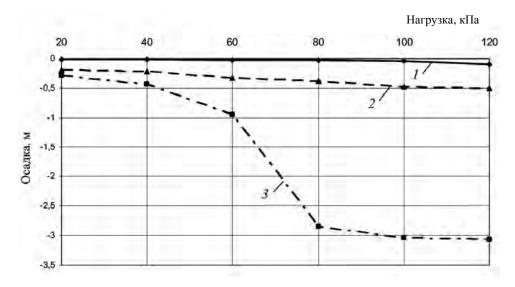


Рис. 3. Осадки точки A при укладке одного слоя геосинтетики на глубине 0,1 м: I — в песчано-гравийный грунт; 2 — снизу глинистый грунт, сверху песчано-гравийный; 3 — в глинистый грунт

Проведенные расчеты показали, что существует зависимость между расположением по глубине армирующих слоев и величиной осадок поверхности. Минимальные значения осадок получили в двух случаях: при выходе армирующего слоя (или верхнего армирующего слоя при многослойном армировании) на поверхность и при расположении армирующего слоя на глубине 0,1 м от поверхности (рис. 4). При этом из графиков видно, что чем глубже от поверхности расположен армирующий слой, тем нестабильнее получаются результаты расчетов. При нагрузках до 60 кПа значения осадок при разном заглублении материалов различаются незначительно.

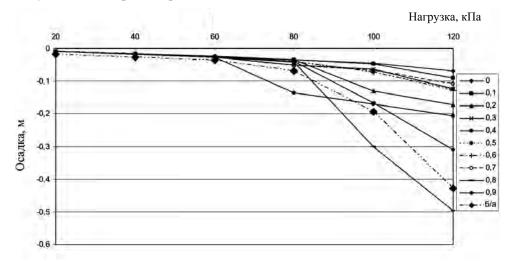


Рис. 4. Осадки точки A при укладке одного слоя геосинтетики в песчаногравийный грунт на разной глубине (цифры справа от графиков указывают глубину закладки армирующего слоя в метрах, 6/a — вариант расчетов без армирования основания)

При всех вариантах расчета растяжения геотекстильного материала и возникшие в них усилия не превысили предельных для примененного материала значений.

*Выводы*. Армирование грунтового основания позволяет существенно снизить осадки поверхности при возникновении карстового провала.

Наибольший эффект дает расположение армирующих слоев на поверхности или вблизи нее.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Золотозубов Д.Г., Пономарев А.Б. Результаты экспериментальных исследований армированных оснований на карстоопасных территориях // Актуальные научно-технические проблемы современной геотехники: межвуз. сб. тр. Т. 1 / СПбГАСУ. СПб., 2009. С. 65—70.
- 2. Paul A., Schwerdt S. Untersuchungen zur Ueberbrueckung von Tagesbruechen und Erdfaellen durch Einbau einer Einlagigen Geokunststoffbewehrung // 7. Tagung ueber "Kunststoffe in der Geotechnik", Muenchen, 2001.

© Золотозубов Д.Г., Пономарев А.Б., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 624.074.2.001.573:681.3.06

#### Е.В. Лебедь

# СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СХЕМ НАЧАЛЬНОГО ОПИРАНИЯ ДВУХ ОДНОСЕТЧАТЫХ КУПОЛОВ ИЗ-ЗА ПОГРЕШНОСТЕЙ ИХ СБОРКИ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Выполнен статистический анализ различных схем начального опирания двух односетчатых куполов с разной геометрической сеткой каркасов. Анализ производился путем численного моделирования их сборки на персональном компьютере с использованием метода Монте-Карло по авторской программе. Установлены вероятностные зависимости схем начального опирания, связанные с неизбежными зазорами в опорных узлах при монтаже собранных каркасов куполов из-за погрешностей их сборки.

К л ю ч е в ы е  $\,$  с л о в  $\,$ а: односетчатый купол, численное моделирование, метод Монте-Карло.

Statistical analysis of different schemes of initial supporting of two single layer grid domes having different geometric net of frameworks was fulfilled. Analysis was fulfilled by means of computational modeling of their assembly on personal computer using Monte Carlo method according to the author program. Probabilistic dependences of schemes of initial supporting, connected with unavoidable clearances in supporting nodes during erected frameworks of domes for inaccuracy of their assembly were determined.

Keywords: single layer grid dome, computational modeling, Monte Carlo method.

При установке в проектное положение собранных на земле односетчатых куполов происходит небольшое деформирование их каркасов. Это происходит вследствие искажения геометрической формы купольных каркасов, допущенного при их сборке. Анализу характера этого искажения и статистическим оценкам возможных схем начального опирания односетчатых куполов посвящен данный материал.

Исследования проводились по авторской компьютерной программе SBORKA, в алгоритме которой заложен метод Монте-Карло [1]. Выполненные ранее численные исследования показали, что случайная изменчивость длин стержней в пределах допусков приводит к отклонению действительных координат узлов односетчатых куполов от проектных значений [2]. Эти отклонения отражаются искажениями геометрической формы купольных каркасов и их опорных контуров.

Объектами исследования служили каркасы двух односетчатых куполов, изображенных на рис. 1. Оба купола вписаны в сферу радиусом R=9 м и в плане имеют диаметр 39 м. Каркас одного купола имеет сетку звездчатой схемы с верхними ярусами из схемы Чивитта. Каркас другого купола имеет сетку схемы Чивитта, состоящей из 8 секторов. Оба каркаса насчитывают по 8 кольцевых ярусов.

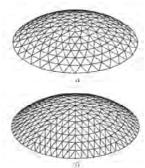


Рис. 1. Каркасы односетчатых куполов: a — звездчатый купол;  $\delta$  — купол Чивитта

Для краткости в дальнейшем будем называть первый купол звездчатым, а второй — купол Чивитта.

Звездчатый купол насчитывает 201 узел и собирается из 568 стержней длиной от 2,04 до 3,82 м [3]. В его опорном контуре 32 узла. Купол Чивитта насчитывает 289 узлов и собирается из 800 стержней длиной от 1,91 до 3,24 м. В его опорном контуре 64 узла.

Отклонения в расстояниях задавались в соответствии с нормативными значениями допускаемых отклонений линейных размеров конструкций от номинальных значений [4]. Для всех стержней они были приняты равными  $\pm 2$  мм, а для расстояний узлов от центра кривизны купола допускались отклонения  $\pm 4$  мм.

Проектные координаты узлов каркасов представленных односетчатых куполов были заранее вычислены по авторской программе геометрического расчета пространственных сооружений GERA [5].

Численное моделирование сборки каркаса каждого односетчатого купола в программе SBORKA выполнялось последовательным вычислением координат его узлов как точек пересечения действительных расстояний между ними. Такая математическая интерпретация сборки максимально приближена к реальному монтажу стержневых элементов в односетчатых куполах.

Было выполнено многократное численное моделирование сборки каркаса каждого односетчатого купола. Оно имитировало последовательное крепление к двум уже смонтированным узлам следующих монтажных стержней с соединением их между собой в третьем узле сетчатого каркаса купола. Вследствие искажений геометрической формы купольных каркасов узлы их опорных контуров не могут лежать в одной плоскости.

В этом случае при установке каждого каркаса в проектное положение в начальный момент только три его контурных узла будут плотно прилегать к опорам. В остальных же опорных узлах возникнут зазоры, то есть между узлами и опорами появится какое-то расстояние. От того, на какие узлы в первую очередь встанет односетчатый купол, зависит характер деформирования его каркаса под действием собственного веса. А от того, какие величины зазоров в этот момент будут в остальных узлах опорного контура, зависят величины начальных усилий в стержнях и характер их распределения в каркасе купола. Существенное значение также имеет и фактор достаточности собственного веса каркаса для исчерпания всех зазоров в процессе его деформации. В противном случае для устройства опорных соединений придется применять дополнительные силовые воздействия.

С целью определения наиболее вероятных комбинаций трех опорных узлов или схем опирания были проведены данные исследования. Прежде чем говорить о результатах таких исследований, следует сначала рассказать об особенностях искомых схем начального опирания купола и подходах по их исследованию.

Во-первых, треугольник, образованный тремя узлами опорного контура, может иметь любую геометрическую форму: быть равносторонним и неравносторонним, с примерно равными углами или с разными углами.

Во-вторых, опорный треугольник, какой бы он ни был формы, должен обязательно включать в себя центр тяжести каркаса купола, который совпадает с центром круглого контура, как показано на рис. 2. Эта особенность вытекает

из того, что каркас реального сетчатого купола, коснувшийся двумя узлами опорной плоскости, под собственным весом всегда будет устанавливаться на третий узел так, чтобы центр тяжести оказался внутри опорного треугольника.

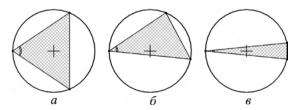


Рис. 2. Различные формы опорных треугольников: a — равнобедренный;  $\delta$  — косой; s — островершинный

Такая особенность схем начального опирания купола неизбежно отражается и на вероятности появления тех или иных троек опорных узлов.

Вероятность появления тех или иных схем начального опирания определялась проведением специальных численных статистических испытаний по программе SBORKA. Сущность этих испытаний заключалась в том, что после формирования действительных координат узлов односетчатых куполов регистрировались только те случаи, в которых самыми нижними тремя узлами оказывались те, что указывались в исходных данных. Причем все эти комбинации троек опорных узлов были составлены так, чтобы образованные ими треугольники включали в себя центр тяжести каркаса купола.

Для статистического анализа возможных схем начального опирания использовались самые разные комбинации троек узлов опорных контуров двух исследуемых односетчатых куполов. При этом все комбинации были разбиты на четыре группы, изображенные на рис. 3:

- 1) равнобедренные треугольники разной формы;
- 2) косые треугольники разной формы;
- 3) равносторонние треугольники разной ориентации;
- 4) островершинные треугольники разной ориентации.

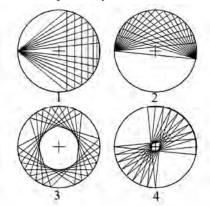


Рис. 3. Группы схем начального опирания

Были проведены по четыре численных испытания для обоих исследуемых куполов, в каждом из которых рассматривалась отдельная группа схем первоначального опирания.

С увеличением количества узлов опорного контура вероятность сочетания указанных троек узлов уменьшается. Поэтому для звездчатого купола было выполнено 200 000 численных построений каркаса, а для купола Чивитта — 1 000 000. На рис. 4 показаны планы каркасов исследуемых куполов с условной нумерацией опорных узлов по порядку.

Кажущиеся большими объемы выборок имеют математическое обоснование. Общее количество различных комбинаций троек опорных узлов в тре-

угольных схемах начального опирания для звездчатого купола достигает 4960, а для купола Чивитта — 41 664. Эти числа были получены при помощи отдельной компьютерной программы, подсчитывающей количество различных комбинации троек чисел натурального ряда от 1 до 32 и от 1 до 64 соответственно. Следует также учесть, что число устойчивых треугольников, которые включают с себя центр окружности, среди указанного количества комбинаций будет 1120 для звездчатого купола и 9920 — для купола Чивитта.

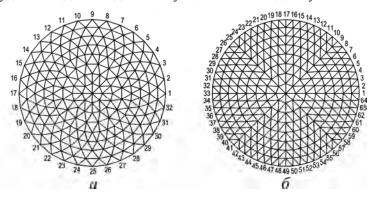


Рис. 4. Планы каркасов односетчатых куполов с нумерацией опорных узлов: a — звездчатый купол;  $\delta$  — купол Чивитта

Если предположить все комбинации троек узлов опорного контура абсолютно независимыми друг от друга, то среднее число их появлений для звездчатого купола будет около 40, а среднее число появлений таких троек для купола Чивитта будет около 24. Это касается и устойчивых треугольников, поскольку речь идет об абстрактном фиксировании трех самых нижних узлов.

В действительности же комбинации троек узлов опорного контура не являются абсолютно независимыми. Во-первых, они находятся в едином каркасе односетчатого купола и связаны друг с другом стержнями, имеющими вполне определенные длины. Например, нельзя ожидать слишком большой разницы в положении соседних узлов опорного контура. Во-вторых, комбинации троек опорных узлов, когда образованные ими треугольники не включают в себя центр тяжести каркаса купола, не имеют право на существование.

Указанные обстоятельства учитывались в процессе статистических исследований по программе SBORKA. Так, оказывались случаи, когда два самых нижних узла контура оказывались расположенными рядом или напротив друг друга. В других случаях, после найденных двух самых нижних узлов, поиск третьего узла осуществлялся из узлов, расположенных между первыми двумя узлами, только по длинной дуге опорного контура.

На рис. 5 и 6 представлены полигоны распределения схем начального опирания каждой группы треугольников для каркасов соответственно звездчатого купола и купола Чивитта.

В группе равнобедренных треугольников исследовалась зависимость частоты их появления от величины вершинного угла. В группе косых треугольников исследовалась зависимость частоты их появления от величины одного из углов основания треугольника. В группах равносторонних и островершинных треугольников исследовалась зависимость частот от ориентации

их в плане, которая измерялась некоторой величиной угла поворота вокруг оси купола.

Во время исследования групп не преследовалась цель точного соблюдения равенства сторон в равнобедренных или равносторонних треугольниках. Это связано, с одной стороны, со статистическим характером исследования, практически не зависящим от точного соблюдения формы треугольника, но отражающего общую тенденцию. С другой стороны, на рассматриваемых контурах, например, невозможно получить строгий равносторонний треугольник, но оценить частоту появления треугольника, близкого по форме к равностороннему, можно. Это же относится и к треугольникам, по форме близким к равнобедренным.

Исследования показали определенную зависимость вероятности появления схемы начального опирания исследуемых куполов от формы опорного треугольника, что и отразилось на представленных полигонах распределения. К явным статистическим факторам можно отнести, например, повышенную вероятность появления островершинных треугольных схем по сравнению с другими схемами. Наблюдается некоторое возрастание вероятности появления равнобедренных треугольных схем в куполе Чивитта при углах вершины 60°...75°, а также косых треугольных схем с углами основания 45°...55° в обоих куполах, что эквивалентно равнобедренному треугольных схем в плане на вероятность их появления тоже важна, если учесть одну и ту же последовательности сборки купольных каркасов во всех испытаниях.

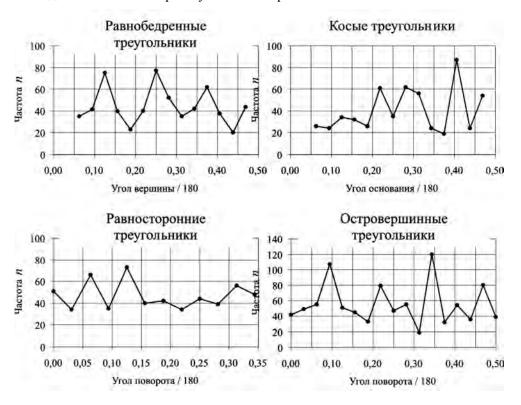


Рис. 5. Полигоны распределения схем начального опирания звездчатого купола

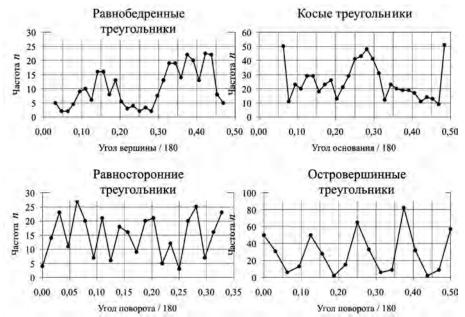


Рис. 6. Полигоны распределения схем начального опирания купола Чивитта

На основании проведенных исследований, анализа и сопоставления данных можно сделать следующие выводы:

при монтажной установке собранного каркаса односетчатого купола неизбежны зазоры в узлах опорного контура, так как начальное опирание осуществляется только на три его узла;

возможны любые комбинации трех опорных узлов при условии, что центр тяжести каркаса купола не окажется за пределами или на сторонах треугольника, образованного этими узлами;

при численном моделировании схемы начального опирания односетчатого купола следует задавать треугольник, близкий к равностороннему и равнобедренному с острым вершинным углом и углом, близким к прямому;

геометрические сетки каркасов куполов влияют на статистические показатели возможных схем начального опирания, и поэтому аналогичные исследования необходимы для дальнейшего применения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. *Лебедь Е.В.* Особенности численного моделирования монтажа каркаса односетчатого купола // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр. и архит. Вып. 3(9), 2003. С. 81—86.
- 2. *Лебедь Е.В.* Численное исследование на ЭВМ погрешностей сборки сетчатого купола // Совершенствование строительных конструкций, архитектурных решений, технологий и организации строительства: материалы науч.-техн. конф. Ч. 1. Саратов: СГТУ, 1996. С. 109—114.
- 3. *Ружсанский И.Л*. Алюминиевый купол для резервуара диаметром 40 м // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2002 № 7. С. 10—16.
- 4. *Котлов А.Ф.* Допуски и технические измерения при монтаже металлических и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 304 с.
- 5. *Лебедь Е.В.* Геометрический расчет каркасов пространственных сооружений: учеб. пособие. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2001. 40 с.
- 6. *Бронштейн И.Н.*, *Семендяев К.А*. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 544 с.

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

© Лебедь Е.В., 2010

УДК 624.15

## В.В. Логутин, М.А. Таржиманов

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ КОТЛОВАНА

Рассмотрена задача определения усилий в ограждающих конструкциях котлована с учетом деформационных характеристик взаимовлияющей системы основание — сооружение. Разработан метод расчета удерживающих конструкций с учетом механизма развития бокового давления грунта.

Ключевые слова: ограждение котлована, удерживающие сооружения, грунт.

In article the problem of definition of efforts in retaining structures of a foundation ditch with the account of deformation characteristics of mutual influenced system "basis-construction" is considered. The method of calculation of keeping designs taking into account the mechanism of development of lateral pressure of a ground is developed.

K e y w o r d s: retaining structures, calculation, definition of efforts, ground.

В целях уменьшения объемов работ при устройстве котлованов, в особенности в условиях плотной городской застройки, в настоящее время находят широкое применение различного рода удерживающие сооружения (УС). Задачей проектировщика при разработке проектных решений является обоснованный расчетом выбор типа, конструкции и материала ограждений котлована. Одним из наиболее важных этапов расчета является вычисление  $M_z$ ,  $Q_z$  по длине шпунтовой конструкции.

Для определения этих внутренних усилий существует рекомендуемый в нормативно-технической литературе метод, основанный на ряде предпосылок. Шпунт рассматривается как жесткая балка, защемленная в массиве, на которую воздействует боковое давление грунта. Изначально предполагается, что в некоторой области грунта за УС все точки находятся в предельном напряженном состоянии либо вся область находится в условии предельного равновесия. Горизонтальная составляющая давления грунта определяется по известным формулам, основанным на теории прочности Кулона — Мора. Однако многочисленные наблюдения за поведением шпунтовых рядов, опубликованные исследования НДС системы основание — сооружение ограждающих конструкций в котлованах, нормативные документы западноевропейских геотехнических обществ (Еврокод 7) ограничивают область применения расчетной схемы, в которой горизонтальное давление грунта определяется в предположении возникновения предельного состояния.

Как указывается в многочисленных опубликованных исследованиях и нормативно-технической литературе, а также подтверждается сериями численных экспериментов, при расчете удерживающих сооружений необходимо учитывать жесткостные параметры конструкции шпунтов. Горизонтальное давление на УС является результатом взаимодействия крепи с массивом грунта и зависит от обоих взаимодействующих элементов системы. Режим работы УС в данном случае называется режимом взаимовлияющей деформации. Необходимо отметить, что данное явление в большей мере ощутимо в допредельной стадии работы грунта. В случае рассмотрения грунта как жесткопластически деформирующегося тела имеет место «сползание» массива

грунта, оказывающего давление на УС, условно независимо от гибкости последнего. В многочисленных исследованиях опубликованы эмпирические зависимости возникающих усилий в УС с учетом его гибкости. В то же время эти зависимости не получили должного теоретического обоснования.

Расчет гибких подпорных сооружений при устройстве выемок возможен с применением развитого аппарата МКЭ. Одним из наиболее приемлемых для определения напряженно-деформированного состояния системы шпунтовое сооружение — грунтовый массив можно считать ориентированный на решение геотехнических задач программный комплекс Plaxis. Моделирование возможно как в предположении работы УС в условиях плоской деформации, так и в пространственной постановке. С целью изучения влияния различных параметров на поведение системы УС — грунтовый массив авторами проведена серия численных экспериментов с использованием вышеуказанного расчетного комплекса.

На начальном этапе были установлены размеры расчетной области, исходя из опыта проектирования и предварительных численных экспериментов. Грунт моделировался упруго-пластическим телом, имеющим характеристики  $E, \ v, \ c, \ \phi, \ \gamma$ , значения которых должны быть получены в результате обычных инженерно-геологических изысканий. Критерием образования области предельного состояния принято условие прочности Кулона — Мора. Удерживающее сооружение принималось в виде плоскостного балочного элемента конечной жесткости (задавалась изгибная жесткость EI).

Возможность разрыва сплошной среды на контакте шпунт — грунт задавалась коэффициентом уменьшения прочностных характеристик  $R_{\rm inter}$  с помощью процедуры «Interface». С использованием процедуры «Initial conditions» программный комплекс позволил смоделировать и оценить влияние способа возведения сооружения, т. е. задать первоначальное напряженное состояние в грунтовом массиве без «многовековых» деформаций поверхности. На этапе задания параметров расчета производится моделирование выемки грунта.

Применимость данного программного комплекса при определении НДС системы шпунт — грунтовый массив подтверждается рядом характерных для реальной работы шпунтовых ограждений закономерностей и процессов.

С использованием данного программного комплекса моделируется механизм взаимовлияния шпунтового ограждения и грунтового массива для определения бокового давления.

Результаты численных экспериментов позволили выявить влияние геометрических, прочностных и деформационных характеристик системы на образование и степень развития областей предельного напряженного состояния.

Подтверждены рекомендации европейских специалистов в области геотехники о том, что расчетная схема для определения бокового давления грунта в предположении возникновения предельного состояния во всей области за УС не всегда может быть применима. В частности, расчеты системы основание — УС при различных значениях модуля деформации грунта показали, что с увеличением E моменты M и поперечная сила Q в грунте уменьшаются (табл. 1). Характеристики грунта принимались неизменными и равными:  $\gamma = 18 \text{ кH/m}^3$ ; c = 5 кПа;  $\phi = 10^\circ$ ; v = 0,3. Шпунт принимался приведенной толщиной 0,2 м, выполненный из бетона класса B20.

Таблица 1 Влияние модуля деформации грунта на максимальные усилия в шпунте

$E_{\text{грунта}}$ ,	$M_z$ ,	$Q_z$ ,	$E_{\text{грунта}}$ ,	$M_z$ ,	$Q_z$ ,	$E_{\text{грунта}}$ ,	$M_z$ ,	$Q_z$ ,
МПа	кН•м/м	кН/м	МПа	кН-м/м	кН/м	МПа	кН-м/м	кН/м
5	168,4	140	15	150	123	25	146	118
10	154	129	20	147	120	30	145	116

Как при упруго-пластическом, так и по классическому решению усилия в шпунте существенно зависят от прочностных параметров грунта. Однако значения  $M_z$  и  $Q_z$  по этим решениям значительно отличаются между собой (табл. 2). В численных экспериментах, результаты которых отражены в табл. 2, характеристики грунта принимались равными:  $\gamma = 18 \text{ кH/m}^3$ ; E = 15 МПа;  $\phi = 10^\circ$ ;  $\phi = 0.3$ . Шпунт принимался приведенной толщиной 0.2 м, выполненный из бетона класса 0.2 м.

Необходимо также отметить, что в допредельном состоянии боковое давление в большей степени зависит от деформационных характеристик грунта.

 $1\ a\ o\ \pi\ u\ u\ a$  Влияние удельного сцепления грунта при  $\gamma=18\ \kappa H/m^3;\ E=15\ M\Pi a;\ \phi=10^\circ$  на максимальные усилия в шпунте

Удельное сцеп-	Упруго-пласти	ческое решение	Классическ	ое решение
ление грунта $c$ , кПа	$M_z$ , к $\mathbf{H}$ ·м/м	$Q_z$ , к ${ m H/m}$	$M_z$ , к ${ m H\cdot M/M}$	$Q_z$ , к $H$ /м
5	150	123	145	104
15	98,7	117	33	39
30	98,5	116	0	0

Результаты численных экспериментов позволили выделить и систематизировать основные факторы, которые необходимо учитывать при расчете УС. Так, сделан вывод о необходимости учета областей в грунтовом массиве, находящихся в предельном и допредельном состоянии. Причем наличие этих областей и их размеры напрямую зависят как от прочностных и деформативных характеристик грунта, так и от жесткости шпунта. Анализ НДС показал, что массив грунта за стеной или его отдельные части могут находиться в следующих условиях:

- 1) отсутствие боковых деформаций случай несмещаемого подпорного сооружения. Основными параметрами, влияющими на боковое давление, являются деформационные характеристики грунта;
- 2) наблюдаются такие смещения грунта в области за УС, при которых области предельного состояния имеют локальный характер. Необходимо учитывать комплекс прочностных и деформационных характеристик системы;
- 3) перемещения подпорного сооружения таковы, что вся область грунта за УС переходит в предельное состояние, описываемое с использованием прочностных характеристик системы.

Необходимо отметить также существование некоторой области грунта в верхней части шпунта, не оказывающей давление (не контактирующей) на шпунтовое ограждение.

Таким образом, определив состояние системы на определенном участке, можно вычислить горизонтальное давление с учетом состояния грунта во взаимовлиянии с деформациями шпунта:

в отсутствие горизонтальных перемещений *всех точек* шпунта горизонтальное давление определяется как давление покоя:

$$\sigma_x = \xi \sigma_z$$
 при  $u = 0$  (случай 1);

в отсутствие горизонтальных перемещений шпунта и грунта или при их значениях меньше некоторой критической величины  $a_u$  боковое давление определяется как в допредельной стадии:

$$\sigma_x = E \varepsilon_x / (1 - v^2) + \xi \sigma_z$$
 при  $0 \le u \le a_u$  (случай 2);

в случае расчета неустойчивого грунтового массива во взаимодействии с УС стабилизация системы возможна только за счет УС, а боковое давление определяется, как в предельной стадии, с использованием критерия прочности Кулона — Мора:

$$\sigma_x = \sigma_z \gamma_a$$
 при  $u \ge a_u$  (случай 3).

Однако в результате многочисленных численных экспериментов установлены следующие особенности полученного НДС системы с использованием Plaxis.

Во-первых, в результате расчета безанкерных шпунтовых сооружений наблюдается резкий подъем дна котлована при выемке грунта (модуль деформации на ветви назгрузки аналогичен модулю деформации на ветви разгрузки). Более того, имеет место значительное перемещение шпунта вверх. В практике устройства котлованов с УС такие явления не наблюдаются или выражены очень слабо.

Во-вторых, по расчету шпунт получает значительное поступательное перемещение, что обусловлено заменой грунтового массива идеально упругопластическим телом. Данный факт также не подтверждается наблюдениями за поведением подпорных сооружений в котлованах.

В третьих, следует отметить некоторую условность моделирования отпора основания согласно рекомендациям разработчиков программного комплекса. Так, существенным фактором, определяющим величину пассивного давления, является интенсивное уплотнение грунта. Используя МКЭ, даже в упруго-пластической постановке, очень сложно учесть возможность данного уплотнения и, соответственно, увеличения сопротивления грунта. В зависимости от вида УС (буронабивные сваи различного диаметра с различным шагом, забивные сваи квадратного сечения, металлические отдельно стоящие шпунтины, шпунт Ларсена и т.д.) реакция основания будет различной, что выявлено в многочисленных натурных экспериментах и нашло отражение в методике, регламентированной действующими нормами по проектированию свайных фундаментов.

На основе анализа вышеуказанных результатов численных экспериментов, сравнивая их с данными натурных наблюдений, авторами предлагается следующий способ определения усилий в ограждающих конструкциях.

В основе метода лежит предположение о возможности моделирования массива грунта, оказывающего давление на УС, в виде двухслойного основа-

ния: часть грунта находится в допредельном состоянии, часть грунта — в предельном. Критерием такого условного разделения массива по высоте шпунта является непревышение горизонтальными перемещениями точек грунта на контакте со шпунтом некоторой величины  $a_u$ , являющейся сложной функцией характеристик исследуемой системы. Рассматривая изменение соотношения вертикальных и горизонтальных напряжений в зависимости от перемещений шпунта, получено выражение для нахождения параметра  $a_u$ :

$$a_u = \frac{\sigma_z \left( \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2) - \xi \right) + T}{K},$$

где

$$K = \frac{E}{\left(1 - v^2\right) L};$$

$$T = c \operatorname{ctg} \varphi \operatorname{tg}^{2}(45^{\circ} - \varphi/2) - c \operatorname{ctg} \varphi.$$

Горизонтальные перемещения грунта ограничиваются перемещениями шпунта и зависят от его жесткости. Учет взаимного влияния элементов системы производится следующим образом. На начальном этапе принимается, что горизонтальные перемещения грунта и шпунта, а также области предельного состояния отсутствуют. Для определения НДС системы с учетом механизма развития бокового давления используем метод последовательных приближений. В зависимости от требуемой степени точности расчетов назначается количество ступеней (шагов *n*) нагружения. Постулируется, что давление области грунта в допредельном состоянии не прикладывается единовременно, а постепенно развивается до какого-то установившегося (равновесного) состояния. Область грунта, перешедшая в предельное состояние, оказывает неизменное (активное) давление на подпорное сооружение.

На начальном этапе определяются  $\sigma_x$ ,  $M_z$  и  $Q_z$  исходя из реализации давления покоя на первом шаге нагружения, равного  $(1/n)\,\sigma_x$ . После определения перемещений на первом шаге и выявления зоны развития предельного и допредельного состояния производится корректировка величины бокового давления по длине шпунта. Определение давления грунта в области допредельного состояния определяется с учетом полученных перемещений и шага нагружения. Процедура выполняется до последнего шага нагружения, на котором окончательно определяется полное давление на подпорное сооружение с учетом области развития предельного и допредельного состояния с учетом перемещений шпунта.

Для сокращения трудоемкости расчетов разработан программный комплекс MSlope, реализующий вышеуказанный прием в следующей последовательности.

- 1. Предварительное назначение конструктивных параметров УС.
- 2. Определение нагрузок на УС. Причем на первом шаге боковое давление определяется как для состояния покоя с использованием формулы

$$\sigma_x = \sigma_z \gamma_a(1/n)$$
,

где п — количество ступеней нагружения.

- 3. От полученного на первом шаге бокового давления определяются перемещения шпунта. При этом шпунт (стержень, разбитый на конечные элементы) находится под действием системы уравновешенных сил: в верхней части шпунта бокового давления, в нижней части, ниже дна котлована, реакция основания в виде коэффициента постели. Жесткость шпунта характеризуется показателем EI.
- 4. Разбивая стенку на несколько участков по формуле, определяются  $\Delta a$  по высоте шпунта и сравниваются с деформациями шпунта  $\Delta_x^i$ .
- 5. В случае если предельное состояние ни в одной из точек не достигнуто, определяют горизонтальное напряжение, а потом давление по формуле

$$\sigma_x = \left(E\varepsilon_x / \left(1 - v^2\right) + \xi\sigma_z\right) (1/n),$$
 где  $\varepsilon_x = \Delta_x^i / L.$ 

Если в какой-то точке по высоте шпунта достигнуто предельное состояние, т. е.  $\Delta^i_x > a^i_u$ , то данная отметка будет нижней границей распространения области предельного равновесия, верхней границей принимается верх шпунта. Таким образом, по длине шпунта выделяется многослойное основание. На полученное давление вновь рассчитывается шпунт (переход к п. 2 методики, но с откорректированным определением бокового давления с учетом ступени нагружения и области распространения предельного состояния грунта). Окончательная величина бокового давления, а соответственно и усилий в шпунте, будут определены на последнем n-м шаге расчета. Количество шагов устанавливается в процессе вычислений по заданной разности между значениями усилий, например  $M_{n-1}$  и  $M_n$ .

© Логутин В.В., Таржиманов М.А., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 539.4:624.01:628.356.53

#### О.Л. Соколов

# РАСЧЕТ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ И СИЛОСОВ МНОГОКОНТУРНОГО СЕЧЕНИЯ

Предложен алгоритм пространственного анализа вертикальных призматических резервуаров многоконтурного сечения, который позволяет обосновать область применимости элементарных подходов, а там, где они оказываются неприменимыми, — дать строгое определение искомых факторов.

Ключевые слова: резервуар, многоконтурное сечение, пространственный расчет, вариационный метод, аппроксимирующая функция, гидростатическое давление, Янсена формула.

It is examination the algoritm for analysis vertical prismatic reservoirs with multicontour section, which allow well-ground the field of use elementary methods and solve exactly problem of definition factors if use of elementary methods is impossible.

K e y w o r d s: reservoir, multicontour section, spatial analysis, varitional method, approximat function, hydrostatic pressure, Jansen's formula.

В силу тех или иных технологических и экономических условий приходится возводить емкости для хранения жидких и сыпучих материалов, имеющих не только цилиндрическую, но и призматическую (реже в качестве резервуаров, чаще в качестве силосов) форму [1]. Что же касается расчета, то техническая литература крайне бедна в отношении емкостей прямоугольных, особенно многоконтурных, сечений. При проектировании пользуются некоторыми элементарными («балочными») приемами, которые дают возможность более-менее правильно найти усилия горизонтального направления, но совершенно игнорируют наличие и влияние усилий вертикального направления.

В настоящей работе предлагаются пространственный расчет и анализ рассматриваемого класса сооружений, который позволяет обосновать область применимости упрощенных подходов, а там, где они неприемлемы, — дать строгий алгоритм определения искомых факторов (усилий и перемещений).

Для реализации такого пространственного подхода нами используется разработанный В.З. Власовым «практический метод расчета пластинок и призматических оболочек, имеющих несмещаемые ребра» [2] в сочетании со статическим способом задания аппроксимирующих функций. В соответствии с этим вариационным методом искомая функция прогиба представляется в виде

$$w(x,y)=f(y) \varphi(x)$$
.

Одной из этих одномерных функций, например  $\varphi(x)$ , называемой функцией поперечного распределения прогиба, необходимо задаваться, а другая, функция f(y), подлежит определению путем решения вариационного уравнения равновесия

$$Af^{IV}(y) - 2Bf''(y) + Cf(y) = \frac{G}{D}$$
 (1)

В качестве функции  $\phi(x)$  принимается безразмерная часть уравнения изогнутой оси рамы-полоски единичной ширины от действия нагрузки, подоб-

ной нагрузке заданной. А коэффициенты разрешающего уравнения (1) определяются как контурные интегралы от квадратов самой функции и ее производных:

$$A = \sum \int \varphi^{2}(x) dx \; ; \; B = \sum \int \left[ \varphi'(x) \right]^{2} dx \; ; \; C = \sum \int \left[ \varphi''(x) \right]^{2} dx \; .$$

Свободный член уравнения (1) представляет собой работу заданной нагрузки на возможных перемещениях  $\varphi(x)$ :

$$G = \frac{q(x, y)}{q_0(x)}C,$$

где q(x,y) — нагрузка заданная, а  $q_0(x)$  — вспомогательная, от действия которой определяется аппроксимирующая функция  $\varphi(x)$ .

Если вместо размерной координаты y ввести безразмерную  $\eta = \frac{y}{\ell}$ , то разрешающее уравнение (1) примет вид

$$f^{IV}(\eta) - 2r^2 f''(\eta) + s^4 f(\eta) = \frac{\ell^4}{A} \frac{G}{D}, \tag{1'}$$

где обозначено  $r^2=\frac{B\ell^2}{A}$  ,  $s^4=\frac{C\ell^4}{A}$  .

Общее решение соответствующего однородного уравнения известно:

$$f^{0}(\eta) = C_{1}\Phi_{1} + C_{2}\Phi_{2} + C_{3}\Phi_{3} + C_{4}\Phi_{4},$$

где  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$  и  $\Phi_4$  — специальные гиперболо-круговые тригонометрические функции, табулированные в [2, 3].

Частное решение зависит от вида правой части, конкретно от функции нагрузки.

Так, в резервуарах стенки испытывают действие гидростатического давления  $q = \gamma y$ , чему соответствует частное решение

$$f^{00}(\eta) = \frac{a^2 b^2}{24D} \gamma \ell \eta \,. \tag{2}$$

Здесь принята  $q_0 = \frac{24}{a^2 b^2}$ .

А в случае силоса, на стенки которого сыпучий материал оказывает давление, определяемое формулой Янсена — Кенена,

$$q = \frac{\gamma \rho}{f_0} \left( 1 - e^{-\lambda \eta} \right),$$

где  $\lambda = \frac{f_0}{\rho} \ell \text{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ , частным решением является выражение

$$f^{00}(\eta) = \frac{a^2 b^2}{24D} \frac{\gamma \rho}{f_0} \left( 1 - \frac{s^4 e^{-\lambda \eta}}{\lambda^4 - 2r^2 \lambda^2 + s^4} \right). \tag{3}$$

В качестве иллюстрации алгоритма приведем определение усилий в стенках резервуара, состоящего из шести отсеков, заполненных жидкостью объемным весом у. Элементарная рама-полоска и ее расчетная схема, выбранная с использованием симметрии, показаны на рис. 1.

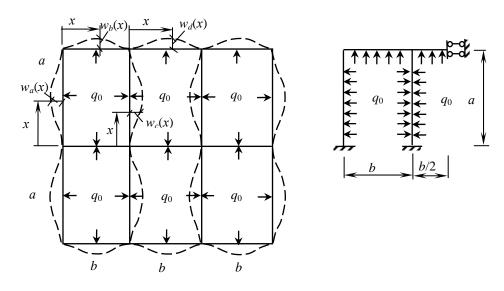


Рис. 1

С помощью метода перемещений найдены изгибающие моменты, а затем и аналитические выражения изогнутых осей элементов рамы:  $w_a(x)$ ,  $w_b(x)$ ,  $w_d(x)$  и  $w_c(x)$ . Безразмерная часть этих выражений и принята в качестве аппроксимирующих функций  $\phi(x)$ :

$$\begin{split} & \varphi_a(x) = -\frac{a^2}{b^2} \Bigg[ m \frac{\left(1 - m^2\right)(3 + 2m)}{1 - 2(1 + m)(3 + 2m)} \left( \frac{x^2}{a^2} - \frac{x^3}{a^3} \right) - \frac{x^2}{a^2} + 2\frac{x^3}{a^3} - \frac{x^4}{a^4} \Bigg], \\ & \varphi_b(x) = -\frac{1 - m^2}{1 - 2(1 + m)(3 + 2m)} \Bigg[ \left(5 + 4m\right) \frac{x^2}{b^2} - 2\left(1 + m\right) \frac{x^3}{b^3} - \left(3 + 2m\right) \frac{x}{b} \Bigg] + \\ & + m^2 \Bigg( \frac{x^2}{b^2} - 2\frac{x^3}{b^3} + \frac{x^4}{b^4} \Bigg), \\ & \varphi_d(x) = \frac{1 - m^2}{1 - 2(1 + m)(3 + 2m)} \Bigg( 2\frac{x^2}{b^2} - \frac{x}{b} \Bigg) + m^2 \Bigg( \frac{x^2}{b^2} - 2\frac{x^3}{b^3} + \frac{x^4}{b^4} \Bigg), \\ & \varphi_c(x) = \frac{1}{2} \frac{a}{b} \frac{1 - m^2}{1 - 2(1 + m)(3 + 2m)} \Bigg( \frac{x^2}{a^2} - \frac{x^3}{a^3} \Bigg), \end{split}$$

где 
$$m = \frac{b}{a}$$
.

Коэффициенты разрешающего уравнения (1):

$$A = 4 \int_{0}^{a} \varphi_{a}^{2}(x) dx + 4 \int_{0}^{b} \varphi_{b}^{2}(x) dx + 2 \int_{0}^{b} \varphi_{d}^{2}(x) dx + 4 \int_{0}^{a} \varphi_{c}^{2}(x) dx ;$$

$$B = 4 \int_{0}^{a} [\varphi_{a}'(x)]^{2} dx + 4 \int_{0}^{b} [\varphi_{b}'(x)]^{2} dx + 2 \int_{0}^{b} [\varphi_{d}'(x)]^{2} dx + 4 \int_{0}^{a} [\varphi_{c}'(x)]^{2} dx ;$$

$$C = 4 \int_{0}^{a} [\varphi_{a}''(x)]^{2} dx + 4 \int_{0}^{b} [\varphi_{b}''(x)]^{2} dx + 2 \int_{0}^{b} [\varphi_{d}''(x)]^{2} dx + 4 \int_{0}^{a} [\varphi_{c}''(x)]^{2} dx .$$

Значения этих коэффициентов для ряда значений  $m = \frac{b}{a}$  приведены в таблице.

Коэффи-	m					
циент	0,5	1,0	2,0			
A	0,2095a	0,01111 <i>a</i>	0,505a			
В	$2,0763\frac{1}{a}$	$0,1905\frac{1}{a}$	$1,8416\frac{1}{a}$			
С	$84,64\frac{1}{a^3}$	$8\frac{1}{a^3}$	$11,3365\frac{1}{a^3}$			

Остановимся на варианте m = 0,5. Пусть a = 4 м, b = 2 м,  $\ell = 5$  м,  $\gamma = 10$  кH/м<sup>3</sup>. Параметры  $r^2$  и  $s^4$  будут

$$r^{2} = \frac{B\ell^{2}}{A} = 247,768 \frac{1}{a^{2}};$$
$$r = \frac{15,74}{a} = 3,935;$$

$$s^{4} = \frac{C\ell^{4}}{A} = \frac{252506}{a^{4}}; \ s^{2} = \frac{1588,24}{a^{2}} = 99,26; \ s = 5,604 > r;$$
$$\alpha = \sqrt{\frac{s^{2} + r^{2}}{2}} = 4,84; \ \beta = \sqrt{\frac{s^{2} - r^{2}}{2}} = 2,82; \ \frac{\beta}{\alpha} = 0,583.$$

В качестве граничных условий задачи рассмотрим отсутствие обобщенного изгибающего момента и обобщенной поперечной силы в точках верхнего свободного края резервуара, а также условия жесткого защемления стенок в днище:

при 
$$\eta = 0$$
:  $-\frac{A}{\ell^2} f''(\eta) + \mu B f(\eta) = 0$  и  $-\frac{A}{\ell^3} f'''(\eta) + (2 - \mu) B \frac{1}{\ell} f'(\eta) = 0$ ; при  $\eta = 1$ :  $f(1) = 0$  и  $f'(1) = 0$ .

Решением этой системы уравнений являются значения произвольных постоянных интегрирования:

$$C_1 = -\frac{2,576}{D}$$
;  $C_2 = \frac{3,028}{D}$ ;  $C_3 = -\frac{1,725}{D}$ ;  $C_4 = -\frac{1,287}{D}$ .

Тогда искомая функция  $f(\eta)$  будет

$$f(\eta) = -\frac{2,576}{D}\Phi_1 + \frac{3,028}{D}\Phi_2 - \frac{1,725}{D}\Phi_3 - \frac{1,287}{D}\Phi_4 + \frac{133,33}{D}\eta$$
.

Изгибающие моменты вертикального направления в точках широкой грани a:

$$M_y^a = -D \left[ \frac{1}{\ell^2} f''(\eta) \varphi_a(x) + \mu f(\eta) \varphi_a''(x) \right].$$

В среднем сечении этой грани при  $x = \frac{a}{2}$ :

$$\varphi_a\left(\frac{a}{2}\right) = 0.31818; \ \varphi_a''\left(\frac{a}{2}\right) = -0.2841.$$

Эпюра  $M_{y}^{a}$ , построенная по четырем точкам, показана на рис. 2, a.

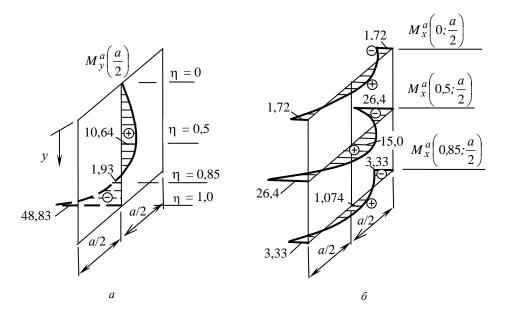


Рис. 2

Изгибающие моменты горизонтального направления в точках широкой грани a:

$$M_x^a = -D \left[ f(\eta) \varphi_a''(x) + \mu \frac{1}{\ell^2} f''(\eta) \varphi(x) \right].$$

По этой формуле построены эпюры  $M_x^a$  в трех уровнях: при  $\eta=0,5$  и  $\eta=0,85$  (рис.  $2,\delta$ ).

C целью сравнения определим горизонтальные изгибающие моменты с помощью «балочного» подхода, без учета пространственной работы. Для этого решим задачу изгиба рамы-полоски единичной ширины dy=1 под действием наибольшего давления  $q_{\max}=\gamma\ell$ . На рис. 3 приведены схема и эпюра моментов  $M_x^0$  для четверти сечения.

Наибольшее значение момента в этом случае  $_{\max}M_x^o = 0.095q_{\max}a^2 = 0.095\gamma\ell a^2 = 0.095\cdot 10\cdot 5\cdot 4^2 = 76$  кНм.

В действительности же наибольший изгибающий момент горизонтального направления  $_{\rm max}M_x$ = 26,4 кНм составляет лишь  $\frac{26,4}{76}$  = 0,347 от максимального «балочного» момента.

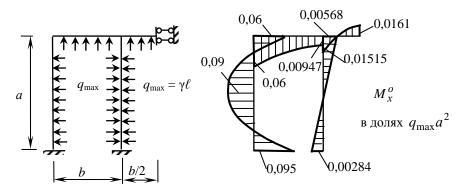


Рис. 3

Элементарный подход к расчету стенок совсем не предполагает возникновение вертикальных изгибающих моментов, однако они появляются и «до-

ля» их существенна: 
$$\frac{\max M_y}{\max M_x} = \frac{48,83}{26,4} = 1,85$$
.

Кроме того, практически везде в стенках возникает плоское напряженное состояние, чего элементарный плоскостной расчет совершенно не учитывает.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Соколов Г.К., Гончаров А.А. Технология возведения специальных зданий и сооружений. М. : Academia, 2005. 344 с.
  - 2. Власов В.З. Тонкостенные пространственные системы. М.: Госстройиздат, 1958. 502 с.
- 3. Власов В.3. Общая теория оболочек. М. ; Л. : Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1949. 784 с.

© Соколов О.Л., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 699.841 (05)

#### А.В. Масляев

### РЕАЛЬНОЕ И РАСЧЕТНОЕ ВРЕМЯ МЕЖДУ ПЕРВЫМИ ТОЛЧКАМИ ГАИТСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2010 г.

Обсуждается проблема строительства сейсмостойких зданий и сооружений с учетом повторных сильных толчков при землетрясении. Сопоставлено время между первыми толчками гаитского землетрясения 2010 г. с ранее определенными расчетными значениями и обоснована их удовлетворительная сходимость.

К лючевые слова: сейсмостойкость, землетрясение, мобильная группа населения.

Earthquakeproof of responsible buildings and structures depends on intensity of the first strong pushes of earthquake during time of an output of the people for open space. For account of responsble buildings in view of the first strong pushes it is necessary to know settlement time of their display. In clause the time between the first pushes haiti 2010 of earthquake to their settlement meanings is compared.

K e y w o r d s: seismic resistance of structures, earthquake, mobile group of the population.

Основной подземный толчок гаитского землетрясения произошел 12 января 2010 г. в 21 ч 53 мин 09 с по гринвичскому времени (16 ч 53 мин по местному времени) с магнитудой М = 7,0 по шкале Рихтера. Его очаг находился примерно в 15 км к юго-западу от столицы Гаити на глубине h = 10 км. По нашим расчетам интенсивность землетрясения на территории столицы этой республики на грунтах 2-й категории по сейсмическим свойствам составила 9...10 баллов по шкале MSK-64. Даже в России для современных сейсмостойких зданий такой уровень сейсмического воздействия является предельно возможным. Напомним, что основная концепция российского нормативного документа [1] допускает образование в конструкциях сейсмостойких зданий при землетрясении расчетной интенсивности предельно допустимой 3-й степени повреждения по шкале MSK-64, за которой, как известно, следует 4-я степень повреждения с обрушениями отдельных частей зданий. Из этого следует вывод, что нормативный документ [1] не гарантирует сохранность конструкций зданий и жизнь людей при воздействии следующего сильного подземного толчка. Но, как известно, главное требование к любому сейсмостойкому зданию заключается в том, чтобы при любых условиях обеспечить сохранность конструкций в течение всего времени эвакуации людей на открытое безопасное пространство. В настоящее время в разных городах России в сейсмоопасных районах возведено уже достаточно много высоких жилых домов, проекты которых выполнены на основе вышеуказанной основной концепции нормативного документа [1]. Как известно, во время землетрясения людям запрещено пользоваться лифтами. Поэтому люди с учетом маломобильной группы населения из высоких зданий будут выходить примерно со средней скоростью один этаж за одну минуту. За длительное время эвакуации людей из высоких зданий (20...30 мин), как следует из статистики большинства последних сильных землетрясений на Земном шаре [2], с большой вероятностью может произойти как минимум два сильных повторных толчка, которые могут разрушить здания с повреждениями 3-й степени от воздействия основного расчетного толчка. Именно так и произошло при спитакском землетрясении 1988 г., когда через 4 мин 20 с произошел пер-

вый повторный сильный толчок, конструкции нескольких десятков каркасных 5...9-этажных зданий на территории г. Ленинакан разрушились и в них погибли несколько тысяч людей. При землетрясении 12 мая 2008 г. в Китае в течение примерно одного часа произошло 7 сильных подземных толчков, что привело также к значительным разрушениям и гибели многих тысяч людей. На юге Тихого океана 29 сентября 2009 г. в течение одного часа произошло 8 сильных подземных толчков. Такие примеры с большим количеством сильных повторных толчков в течение одного часа можно привести еще. Именно поэтому с учетом статистики землетрясений с повторными сильными толчками автор разработал и опубликовал в [3] основные критерии для определения различных категорий ответственности зданий и сооружений. Одним из основных критериев при определении категории ответственности зданий и сооружений является наиболее вероятное время воздействия первого и второго повторных сильных толчков, когда люди еще не вышли на открытое пространство. С этой целью автору пришлось по имеющейся статистике первых сильных толчков при различных землетрясениях расчетным путем определить усредненное время между первым основным толчком и первым сильным повторным толчками, между основным толчком и вторым сильными повторными толчками. В [3] автором предложено принять усредненное время между основным и первым повторным толчком, равное 4 мин, а усредненное время между основным и вторым повторным толчком — 19 мин. Поэтому здания, из которых люди выходят на открытое безопасное пространство за время менее 4 мин, следует считать объектами массового строительства, более 4 мин — объектами повышенной ответственности, более 19 мин — объектами с особой ответственностью. В [4] автор предложил метод расчета, основное содержание которого заключается в том, чтобы здания и сооружения с повышенной ответственностью рассчитывались с учетом воздействия первого повторного сильного толчка, а здания и сооружения с особой ответственностью — на воздействия и второго повторного сильного толчка.

Но вернемся к особенностям гаитского землетрясения 2010 г. Как и должно было быть, через 7 мин 33 с (22 ч 00 мин 42 с по гринвичскому времени) произошел первый сильный повторный толчок с магнитудой М = 5,9 на глубине h = 10 км. По нашим расчетам его интенсивность на территории столицы Республики Гаити на грунтах 2-й категории по сейсмическим свойствам была 8 баллов. Через 18 мин 56 с (22 ч 12 мин 05 с по гринвичскому времени) произошел второй сильный повторный толчок с магнитудой М = 5,5 на глубине h = 10 км. По нашим расчетам его интенсивность на той же территории была 7,5 баллов. Как видим, огромная территория Гаити в течение 19 мин испытала воздействия сразу 3 сильных подземных толчков. Если сопоставить время между первыми сильными толчками при гаитском 2010 г. землетрясении с предложенными автором в [3] расчетными усредненными значениями, можно сделать вывод об их удовлетворительной допустимости. Так, например, полученное автором расчетное усредненное время 4 мин между основным и первым сильным повторным толчком несколько меньше времени между основным и первым сильным повторным толчком при гаитском землетрясении 2010 г. (7 мин 33 с), что следует отнести к более благоприятным условиям в действительности, так как время 7 мин. позволяет большей части людей выйти из здания на открытое пространство. А показатель времени между основным и вторым сильным повторным толчком при гаитском землетрясении (18 мин 56 с) и расчетным усредненным значением автора (19 мин) уже не требуют каких-либо комментариев — получилось почти полное совпадение.

Согласно п. 1.3\* нормативного документа [1] основная ответственность по определению категории ответственности здания и сооружения возложена на проектировщика. Безответственность некоторых проектировщиков Волгоградской области при определении категории ряда проектируемых зданий и сооружений поражает. Например, на территории Волгограда уже возведен огромный комплекс областного перинатального медицинского центра, состоящий из нескольких 6-этажных каркасных зданий. Так как в случае землетрясения эвакуировать проблемных новорожденных детей невозможно, это сооружение должно было проектироваться с категорией особой ответственности, по требованиям нормативного документа [1] оно должно быть сейсмостойким. Однако в действительности это сооружение по нашим данным возведено несейсмостойким, т. е. это сооружение со сметной стоимостью примерно 2 млрд р. принимать в эксплуатацию нельзя. Мы написали письмо в ЦНИИСК им. Кучеренко (Москва) с просьбой выслать в наш адрес мнение ученых относительно категории ответственности этого сооружения. В ответе директора института полностью подтверждается наше мнение, что областной перинатальный медицинский центр на территории Волгограда должен проектироваться как сооружение с особой ответственностью. К сожалению, за последние десять лет на территории Волгоградской области возведено много ответственных зданий, в которых, по мнению автора, с целью экономии денежных средств не предусмотрены инженерные решения по сейсмозащите людей в случае землетрясения.

Выводы. 1. Разрушительное гаитское землетрясение 2010 г. еще раз подтверждает высокую вероятность проявления в течение примерно 20 мин после основного толчка двух первых сильных повторных толчков. Поэтому их следует учитывать при проектировании ответственных сейсмостойких зданий и сооружений. 2. Значение расчетного усредненного времени [3] между первыми сильными толчками при землетрясении в расчетах ответственных зданий позволяет с гораздо большей надежностью по сравнению с нормативным документом [1] сохранить здания и жизнь людей при сильных землетрясениях. 3. Проектировщики согласно требованиям п. 1.3\* нормативного документа [1] несут основную ответственность при определении категории ответственности зданий и сооружений. Неучет при этом устойчивой закономерности проявления сильных первых толчков при землетрясении не снимает с них соответствующей юридической ответственности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. СНиП ІІ-7—81\*. Строительство в сейсмических районах / Госстрой России. М., 2001.
- 2. *Масляев А.В.* Сейсмостойкость зданий с учетом повторных сильных толчков при землетрясении // Промышленное и гражданское стр-во. 2008. № 3. С. 45—47.
- 3. *Масляев А.В.* Основные критерии сейсмозащиты зданий и сооружений с большим числом людей при землетрясении // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2009. Вып. 14 (33). С. 21—26.
- 4. *Масляев А.В.* Расчет ответственных зданий и сооружений для сохранения жизни и здоровья людей при землетрясении // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2009. Вып. 16 (35). С. 34—39.

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

© Масляев А.В., 2010

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

УДК 625.72

#### И.В. Дмитриева

## УКРУПНЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА

Проведен анализ аварийности на улицах г. Саратова с использованием теории риска. Получены зависимости количества дорожно-транспортных происшествий от интенсивности дорожного движения. Определен риск попадания автомобилей в дорожно-транспортное происшествие в зависимости от интенсивности дорожного движения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: интенсивность движения, теория риска, город, дорожнотранспортное происшествие, перекресток.

The breakdown susceptibility analysis on city streets of Saratov with use of the risk theory is carried out. Dependences of quantity traffic accidents from of traffic intensity are received. The risk of cars hit in traffic accident depending on of traffic intensity is defined.

K e y w o r d s: traffic intensity, risk theory, city, traffic accidents, crossroad.

Для Российской Федерации проблема стабилизации и повышения уровня безопасности дорожного движения, последовательного сокращения риска дорожно-транспортных происшествий (ДТП) приобрела общенациональный масштаб, а ее решение относится к важнейшим приоритетам социально-экономической политики государства [1]. Ежедневно в Российской Федерации происходит свыше 600 ДТП с пострадавшими, в которых погибает около 100 человек, а 750 человек получают ранения и увечья. В городах и населенных пунктах происходит более 70 % всех ДТП.

Для оценки относительной опасности движения по городским улицам и дорогам в РФ применяются методы: коэффициентов безопасности, конфликтных ситуаций, коэффициентов аварийности, конфликтных точек, оценки участков концентрации ДТП по степени опасности [2, 3] и метод, основанный на теории риска [4].

В РФ действует Федеральный закон «О техническом регулировании» [5] и ГОСТ Р 51898—2002 «Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты» [6], согласно которому безопасность необходимо достигать путем снижения уровня риска до допустимого значения.

Применяя существующие методы оценки безопасности дорожного движения на улицах города, при оценке опасности геометрических элементов улиц и

различных дорожно-транспортных ситуаций необходимо использовать вероятностные подходы, учитывающие вероятностную сущность системы водитель — автомобиль — дорога — окружающая среда (ВАДС) [6]. В отличие от детерминированного подхода вероятностный подход, основанный на теории риска, дает значение исследуемой величины, вероятность ее реализации, а также оценивает безопасность движения не только частным образом (на кривых в плане, выпуклых кривых), но и с помощью укрупненных показателей.

Уровень аварийности на магистральных улицах города предлагается оценивать на основе теории риска при помощи укрупненного показателя, учитывающего: интенсивность движения, число полос движения и количество ДТП. Данный показатель основан на зависимости между риском возникновения ДТП и интенсивностью движения на магистральных улицах.

Для этого был разработан математический аппарат, позволяющий определить вероятность попадания автомобиля в ДТП в зависимости от интенсивности дорожного движения

$$r = 0.5 - \Phi \left( \frac{N_{\rm kp} - N_{\rm cp}}{\sqrt{\sigma_{N_{\rm kp}}^2 + \sigma_{N_{\rm cp}}^2}} \right),\tag{1}$$

где r — вероятность возникновения нежелательного события, представляющая собой влияние интенсивности дорожного движения на число ДТП на перекрестках (или кольцевых пересечениях) магистральной улицы с другими улицами города;  $N_{\rm cp}$  и  $\sigma_{N_{\rm cp}}$  — средняя часовая интенсивность дорожного

движения в час пик на перекрестках (или кольцевых пересечениях) магистральной улицы с другими улицами города и ее среднеквадратическое отклонение, авт./ч;  $N_{\rm kp}$  и  $\sigma_{N_{\rm kp}}$  — критическая интенсивность дорожного движения

в час пик на перекрестках (или кольцевых пересечениях) магистральной улицы с другими улицами города, при которой вероятность возникновения ДТП равна 50 %, и ее среднеквадратическое отклонение, авт./ч.

Средняя часовая интенсивность движения в час пик для пересечений магистральных улиц г. Саратова с другими улицами определяется следующими уравнениями:

для четырехполосной магистрали (2+2)

$$N_{\rm cp} = 25,641(m_{\rm IITII} + 75,785),\tag{2}$$

где  $N_{\rm cp}$  — средняя интенсивность движения в час пик на перекрестке, авт./ч;  $m_{\rm ДТ\Pi}$  — среднее количество ДТП в пределах перекрестка, шт.;

для трехполосной магистрали (1+2)

$$N_{\rm cp} = 29,412(m_{\rm JITH} + 51,329); \tag{3}$$

для двухполосной магистрали (1+1)

$$N_{\rm cp} = 38,461(m_{\rm JITH} + 23,583); \tag{4}$$

для кольцевого пересечения магистрали

$$N_{\rm cp} = 38,461(m_{\rm IITH} + 26). \tag{5}$$

Параметры  $N_{\mbox{\tiny KP}}$  и  $\sigma_{N_{\mbox{\tiny KP}}}$  устанавливаются по формулам теории риска.

$$\sigma_{N_{\rm kn}} = C_V^{N_{\rm kp}} N_{\rm kp},\tag{6}$$

где  $C_V^{N_{\rm KP}}$  — коэффициент вариации критической интенсивности движения.

 $C_V^{N_{\rm kp}}$  принимается равным коэффициенту вариации  $C_V^{N_{\rm cp}}$  средней интенсивности движения, с учетом, что транспортный поток при замере средней интенсивности обладает той же однородностью транспортных средств, какой характеризуется транспортный поток с критической интенсивностью. Только в этом случае  $N_{\rm kp}$  и  $N_{\rm cp}$  будут принадлежать к одной совокупности, т. е. являться сопоставимыми.

Расчетная формула для определения  $N_{\rm kp}$  при  $\,C_V^{N_{\rm kp}}\, 
eq 0,2\,$  имеет вид

$$N_{\rm kp} = 2N_{\rm cp} - \frac{\sqrt{N_{\rm cp}^2 + \left[25\left(C_V^{N_{\rm kp}}\right)^2 - 1\right]\left(N_{\rm cp}^2 - 25\sigma_{N_{\rm cp}}^2\right) - N_{\rm cp}}}{25\left(C_V^{N_{\rm kp}}\right)^2 - 1}.$$
 (7)

Для случая если в уравнении (7)  $C_V^{N_{\rm kp}}=0,2$ , путем раскрытия неопределенности вида  $\frac{0}{0}$   $N_{\rm kp}$  определяется по выражению

$$N_{\rm kp} = 2N_{\rm cp} - \frac{N_{\rm cp}^2 - 25\sigma_{N_{\rm cp}}^2}{2N_{\rm cp}}.$$
 (8)

В основе укрупненного показателя находится анализ ДТП на магистральных улицах г. Саратова, среди которых двадцать магистральных улиц являются наиболее аварийными. Анализу подвергались перекрестки двух-, трех- и четырехполосных магистральных улиц с другими улицами города. На перекрестках и четырех кольцевых пересечениях магистральных улиц г. Саратова был выполнен анализ аварийности по следующим показателям: всего ДТП, погибших и раненых людей в ДТП. Характерным годом по названным показателям является 2007 г., так как названные показатели этого года хорошо согласуются со средними характеристиками.

Были построены зависимости количества ДТП от интенсивности дорожного движения в час пик на перекрестках двух-, трех- и четырехполосных магистральных улиц, а также на кольцевых пересечениях магистральных улиц с другими улицами города. Зависимость количества ДТП от интенсивности движения на перекрестках четырехполосной магистральной улицы с другими улицами города показана на рис. 1.

Анализ гистограмм распределения интенсивности движения на ряде перекрестков, имеющих плотные сосредоточения интенсивности движения (см. рис. 1), показал, что эмпирическое распределение хорошо согласуется с нормальным законом. Так, для пересечений дорог с четырехполосной магистралью получены нормальные законы распределений при средних значениях интенсивности движения: 2502, 2932 и 3416 авт./ч.

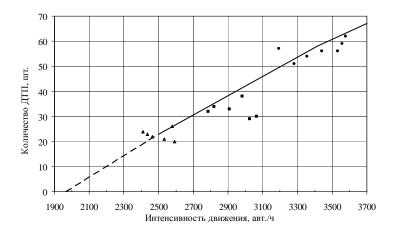


Рис. 1. Зависимость количества ДТП от интенсивности дорожного движения на перекрестках четырехполосной магистральной улицы с другими улицами г. Саратова

Зависимости количества ДТП от интенсивности дорожного движения на пересечениях магистральной улицы с другими улицами г. Саратова были получены с использованием метода наименьших квадратов и представлены следующими уравнениями:

для четырехполосной магистрали (2+2)

$$m_{\text{IITII}} = 0.039 N_{\text{cp}} - 75.785;$$
 (9)

для трехполосной магистрали (1+2)

$$m_{\text{ДТП}} = 0.034 N_{\text{cp}} - 51.329;$$
 (10)

для двухполосной магистрали (1+1)

$$m_{\text{IITII}} = 0.026N_{\text{cp}} - 23.583;$$
 (11)

для кольцевого пересечения магистрали

$$m_{\text{ДТП}} = 0.026N_{\text{cp}} - 26.$$
 (12)

Выполненные исследования показали, что с увеличением ширины магистральных улиц (увеличением количества полос движения) безопасность дорожного движения на улицах повышается.

На рис. 2 показан анализ изменения риска возникновения ДТП в зависимости от средней интенсивности движения на ряде перекрестков, имеющих плотные сосредоточения интенсивностей. Таких областей сосредоточения (см. рис. 1) было зафиксировано три.

Выводы. 1. С ростом интенсивности движения повышается риск возникновения ДТП. В таблице показано количество ДТП на перекрестках двух-, трех- и четырехполосных магистральных улиц г. Саратова с другими улицами города при фактической наблюдаемой интенсивности движения.

2. Допустимый риск при проектировании новых дорог и улиц равен  $1 \cdot 10^{-4}$  [6], т.е. происходит одно ДТП из 10000 случаев проезда данного участка дороги (улицы) по причине несовершенства данного перекрестка.

Допустимый риск для дорог и улиц, находящихся в эксплуатации, выше, чем при проектировании, и равен  $1\cdot 10^{-3}$  [6], так как эксплуатируемые дороги строились и проектировались в разные годы, то требовать на них соблюдения такого же уровня безопасности движения как при проектировании, становится невозможным в связи с тем, что многие городские дороги и улицы придется перестраивать. На рис. 3 показана значимая часть рис. 2 — величины технического риска возникновения ДТП на перекрестках магистральных улиц.

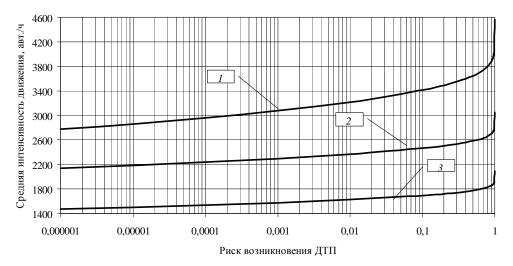


Рис. 2. Зависимость средней интенсивности движения от риска возникновения ДТП на перекрестках магистральных улиц с другими улицами г. Саратова: I — четырехполосная магистральная улица, 2 — трехполосная магистральная улица, 3 — двухполосная магистральная улица

Величины  $N_{\rm cp}$ ,  $m_{\rm ДТП}$  на перекрестках двух, трех и четырехполосных магистральных улиц г. Саратова с другими улицами

Количество полос движения на магистральной улице	Замеренная на пересечении интенсивность движения $N_{\rm cp}$ , авт./ч	Количество ДТП $m_{\rm ДТП}$ , шт.
	2502	23
4 полосы	2932	33
	3416	58
	1903	13
3 полосы	2208	23
	2585	36
	1294	10
2 полосы	1516	15
	1721	21

Из анализа данных на рис. З видно, что при риске, равном  $1 \cdot 10^{-4}$ , на перекрестках четырехполосных магистралей с другими улицами г. Саратова с интенсивностью движения 2932 авт./ч (см. рис. 1) безопасность движения полностью обеспечена, так как существующий риск на этих перекрестках меньше или равен допустимому риску при проектировании. На перекрестках

со средней интенсивностью 2502 (см. табл.) и 2932 авт./ч средняя интенсивность может расти до значения 3078 авт./ч. При интенсивности движения превышающей это значение (3078 авт./ч) (см. рис. 3), рекомендуется принимать следующие решения: увеличить ширину магистральной улицы (увеличение количества полос), перенести часть движения транспортного потока на альтернативные дороги и улицы, устройство кольцевых пересечений. Такой же анализ выполнен на перекрестках трех- и двухполосных магистралей при предельных интенсивностях для рисков  $1 \cdot 10^{-3}$  и  $1 \cdot 10^{-4}$ , показанных на рис. 3. Для сравнения фактической интенсивности движения с предельной интенсивностью можно обратить внимание на данные, приведенные в таблице.

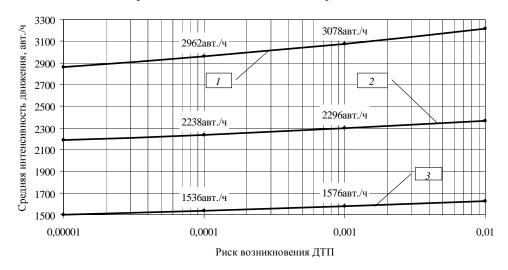


Рис. 3. Величины технического риска возникновения ДТП на перекрестках магистральных улиц с другими улицами г. Саратова: 1 — четырехполосная магистральная улица, 2 — трехполосная магистральная улица, 3 — двухполосная магистральная улица

3. Самым безопасным пересечением является кольцевое. Это подтверждают укрупненные показатели, разработанные автором для кольцевых пересечений. В настоящее время в г. Саратове кольцевые пересечения по степени опасности соответствуют перекресткам четырехполосных магистралей с другими улицами города. У всех обследованных кольцевых пересечений на магистральных улицах в г. Саратове разное количество полос движения на подходящих к ним улицах и различная интенсивность, поэтому коэффициент вариации для кольцевых пересечений был принят сопоставимым коэффициенту вариации для перекрестков магистральных улиц. На рис. 4 показано, как будет меняться вероятность возникновения ДТП в год на кольцевом пересечении магистральной улицы в зависимости от интенсивности движения на кольцевом пересечении.

Для повышения безопасности дорожного движения в других городах рекомендуется:

1) провести обследования дорожного движения на перекрестках и кольцевых пересечениях города, получить уравнения зависимостей количества ДТП от интенсивности дорожного движения, определить риск попадания автомобилей в ДТП в зависимости от интенсивности дорожного движения;

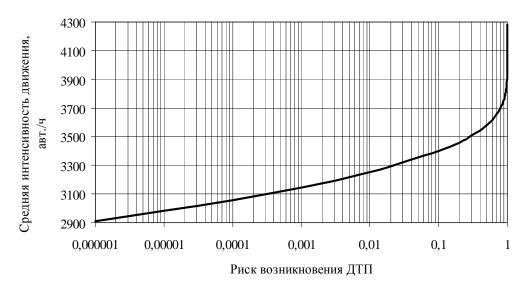


Рис. 4. Зависимость средней интенсивности движения от риска возникновения ДТП на кольцевых пересечениях магистральных улиц с другими улицами г. Саратова

2) в зависимости от полученного риска попадания автомобиля в ДТП применить мероприятия по повышению безопасности движения, как это показано выше, в масштабе перекрестка, магистрали, района или города.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Концепция федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2006 2012 годах» : утв. распоряжением Правительства РФ от 17.10.2005 г. № 1707-р.
- 2. Указания по обеспечению безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах ВСН 25-86 / Минавтодор РСФСР. М.: Транспорт, 1988. 183 с.
- 3. Методические рекомендации по назначению мероприятий для повышения безопасности движения на участках концентрации дорожно-транспортных происшествий: утв. распоряжением Росавтодора от 30.03.2000 г. № 65-р.
- 4. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска : в 2-х ч. Саратов : СГТУ, 1994. Ч. 1. 184 с.; Ч. 2. 232 с.
- 5. Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-Ф3 «О техническом регулировании» : принят ГД ФС РФ от 15.12.2002 г.
- 6. ГОСТ Р 51898—2002 «Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты» : утв. постановлением Госстандарта РФ от 05.06.2002 г. №228-ст.
- 1. Kontseptsiya federal'noj tselevoj programmy «Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v 2006 2012 godah» : utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 17.10.2005 g. №1707-r.
- 2. Ukazaniya po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na avtomobil'nyh dorogah VSN 25-86 / Minavtodor RSFSR. M.: Transport, 1988. 183 s.
- 3. Metodicheskie rekomendatsii po naznacheniyu meropriyatij dlya povysheniya bezopasnosti dvizheniya na uchastkah kontsentratsii dorozhno-transportnyh proishestvij : utv. rasporyazheniem Rosavtodora ot 30.03.2000 g. № 65-r.
- 4. *Stolyarov V.V.* Proektirovanie avtomobil'nyh dorog s uchetom tyeorii riska : v 2-h ch. Saratov : SGTU, 1994. Ch. 1. 184 s.; Ch. 2. 232 s.
- 5. Federal'nyij zakon ot 27.12.2002 g. № 184-FZ «O tehnicheskom regulirovanii» : prinyat GD FS RF ot 15.12.2002 g.
- 6. GOST R 51898-2002 «Aspekty bezopasnosti. Pravila vklyucheniya v standarty» : utv. postanovleniem Gosstandarta RF ot 05.06.2002 g. № 228-st.

© Дмитриева И.В., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 656.13.08

#### В.С. Боровик, М.Б. Соркин

#### МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Для построения модели используется мультипликативная функция и метод Эджворта, позволяющие оценить наиболее экономичный путь достижения запланированных значений итогового коэффициента аварийности.

K л ю ч е в ы е  $\,$  с л о в а: мультипликативная функция, Эджворта метод, коэффициент аварийности.

For a model construction the multiplicate function and a method of Edzhvorta is used, allowing to estimate the most economic way of the planned achievement values of the total safety factor.

 $K\ e\ y\ w\ o\ r\ d\ s:$  multiplicate function, Edzhvort's method, total safety factor.

При планировании мероприятий по повышению безопасности движения на выявленных участках концентрации ДТП для выявления приоритетности следует учитывать как стабильность уровня аварийности на этих участках, так и степень их опасности, устанавливаемую в соответствии с п. 1.2.13 [1].

Для обоснования мероприятий по обеспечению безопасности движения используется известная система оценки с помощью частных коэффициентов аварийности и мультипликативной функции (МФ) типа (1) [2, 3].

$$K_{\text{HT}} = C_0 \prod_{i=1}^n K_i^{\alpha_i} , \qquad (1)$$

где  $K_{\rm ит}$  — итоговый коэффициент аварийности;  $K_i^{\alpha_i}$  — частные коэффициенты аварийности;  $\alpha_i$  — вклад частного коэффициента аварийности в итоговый коэффициент;  $C_0$  — коэффициент, показывающий влияние на итоговый коэффициент неучтенных моделью факторов.

Легко видеть, что имеется бесконечное число способов снижения  $K_{\rm ut}$ , достигаемого за счет влияния на значения и сочетания  $K_i^{\alpha_i}$ . Большое практическое и теоретическое значение имеет задача нахождения среди бесконечного множества  $K_i^{\alpha_i}$  на основе выявленного экстремума некоторого критерия. Как правило, основное ограничение связано с затратами на реализацию мероприятий по обеспечению безопасности движения.

Рассмотрим двухфакторную МФ как наиболее доступную для понимания ввиду возможности ее наглядного представления.

Пусть, например, после анализа безопасности движения на участке автомобильной дороги установлены два фактора (коэффициенты аварийности  $K_i$  и  $K_{i+1}$ ), оказывающие наибольшее влияние на  $K_{\text{ит}}$ .

Как видно из рис. 1, где изображена кривая — изокванта, соединяющая точки с одинаковыми значениями  $K_{\rm ut}$ , полученными в результате расчета по модели (1), одно и то же значение  $K_{\rm ut}$ , которого, например, необходимо дос-

тигнуть в ходе реализации мероприятий, направленных на повышение безопасности движения, может быть осуществлено различными способами. Это достигается, например, путем изменения влияния  $K_i$ ,  $K_{i+1}$  на  $K_{\rm ut}$ . Например, для точки A необходимо значительно изменить  $K_i$ , о чем свидетельствуют параметры  $OA_{ki} > OB_{ki}$ , при незначительном изменении  $K_{i+1}$ , о чем свидетельствует  $OA_{ki+1}$ . Аналогично рассуждение для точки B. При осуществлении мероприятий, связанных с увеличением влияния  $K_{i+1}$  на  $K_{\rm ut}$ , получаем  $OA_{ki+1} > OB_{ki+1}$ . Следует отметить, что при каждом изменении влияния частного коэффициента аварийности на итоговое значение коэффициента предполагается реализация соответствующих мероприятий, осуществление которых сопровождается определенными затратами. Достижение запланированного значения  $K_{\rm ut}$  при минимальных затратах является весьма актуальной задачей.

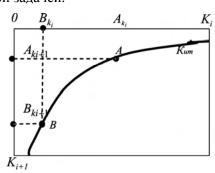


Рис. 1. Иллюстрация различных вариантов достижения запланированного значения итогового коэффициента аварийности  $K_{\rm ит}$  различным сочетанием  $K_i$  и  $K_{i+1}$ , оказывающих наибольшее влияние на его значение

Представляет интерес решение этой задачи с помощью метода, предложенного Э. Эджвортом [4, 5]. В частности, в приложении к решению нашей задачи рассмотрим выход на запланированное значение  $K_{\rm ut}$  путем определения минимума затрат на реализацию соответствующих мероприятийВ результате исследования МФ участка дороги можно установить наибольшее влияние на  $K_{\rm ит}$  часткоэффициентов, например  $K_i$  и  $K_{i+1}$ . Построим изокванты кривые, характеризующие  $K_{\rm HT}$ , приемлемый для исследу-

емого участка дороги. Проанализируем задачу в двух смежных системах координат (затраты —  $K_i$ , затраты —  $K_{i+1}$ ). Определим минимальные затраты, связанные с выходом на  $K_{\rm ut}$ , путем оценки различных комбинаций  $K_i$ ,  $K_{i+1}$ .

Как видно из рис. 2, одно и то же значение  $K_{\rm ит}$  может быть достигнуто различным сочетанием значений затрат и частных коэффициентов. Например, в точке A для мероприятий, связанных с работами по уменьшению  $K_{i+1}$ , при снижении влияния на три условных единицы требуется две условные единицы затрат. При уменьшении  $K_i$  на две единицы требуется четыре единицы затрат.

В точке B по направлению уменьшения влияния  $K_{i+1}$  на снижение его влияния на три единицы потребуется две единицы затрат. По направлению снижения влияния  $K_i$  на три единицы снижения потребуется три единицы затрат. В точке B достигается минимум затрат (пять условных единиц затрат в точке B против шести в точке A).

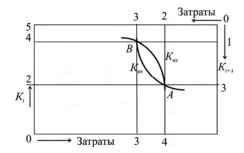


Рис. 2. Диаграмма Эджворта для определения минимальных затрат на достижение запланированного  $K_{\rm ur}$  путем сравнения совокупного влияния  $K_i$  и  $K_{i+1}$ 

Рассмотренные задачи иллюстрируют упрощенный вариант управления в двухфакторной модели МФ. Для анализа многомерной задачи необходима более сложная модель [5]. Заметим, что процесс повышения безопасности движения есть процесс перехода в фазовом пространстве от некоторой точки  $S_0$  к точке  $S_1$  и может быть представлен в виде некоторой траектории  $l_i$ . Количество траекторий, как и способов снижения значений частных коэффициентов аварийности и, следовательно,  $K_{\rm \, MT}$  ,

может быть бесчисленное множество. Легко понять, что по затратам на реализацию эти траектории не эквивалентны, так как с каждой траекторией связан некоторый способ использования финансовых ресурсов. Это свидетельствует о том, что на множестве траекторий  $\{l_i\},\ i=1\dots$  задано множество уравнений. Управление должно быть таким, чтобы каждый этап изменения  $\Delta K_i^{\alpha_i}$  способствовал уменьшению  $\Delta K_{\rm ит}$ .

Покажем, как определяется такая траектория  $l_0$ , приводящая на каждом этапе к максимальному уменьшению  $K_{\rm ит}$ . Заметим, что МФ есть скалярная функция от n переменных. Следовательно, она определяет скалярное поле значений  $K_{\rm ит}$ . Учитывая, что в этом скалярном поле значение  $K_{\rm ит}$  изменяется от точки к точке, можно поставить вопрос об отыскании такой траектории  $l_0$ , ведущей из заданной точки  $A_0$ , касательная к которой в каждой точке совпала бы с вектором-градиентом  $\nabla K_{\rm ит}$ . Эта траектория характеризует способ изменения  $K_i^{a_i}$ , следовательно, и управление, которое на каждом этапе сопровождается максимальным снижением  $K_{\rm ит}$ . Отыскание этой траектории приводит к дифференциальным уравнениям. Следует отметить, что известные решения, например, Ж.Л. Лионса, в дифференциальных уравнениях не рассматривают задачу, характеризуемую некоторыми реальными условиями. Ж.Л. Лионс рассматривает линейные эллиптические задачи с квадратичной минимизируемой функцией, решение которой сводится к так называемым односторонним граничным задачам и задачам эволюционного типа [6].

Рассмотрим трехфакторную модель, наиболее полно и точно отражающую связи в  $M\Phi$ .

Пусть dr {  $dK_1, dK_2, dK_3$  } — вектор, касательный к оптимальной траектории  $l_0$ . Определим компоненты вектора  $\nabla K_{\rm HT}$  , где

$$\begin{split} K_{\text{\tiny MT}} &= C_0 K_1^{\alpha_1} K_2^{\alpha_2} K_3^{\alpha_3} \, ; \ \, K_{\text{\tiny MT}_{K_1}}^1 = C_0 \alpha_1 K_1^{\alpha_1 - 1} K_2^{\alpha_2} K_3^{\alpha_3} \, ; \\ K_{\text{\tiny MT}_{K_2}}^1 &= C_0 \alpha_2 K_1^{\alpha_1} K_2^{\alpha_2 - 1} K_3^{\alpha_3} \, ; \ \, K_{\text{\tiny MT}_{K_3}}^1 = C_0 \alpha_3 X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} X_3^{\alpha_3 - 1} \, . \end{split}$$

Итак, вектор-градиент  $\nabla K_{\rm uT} \left\{ K_{\rm uT_{K_1}}^1 K_{\rm uT_{K_2}}^1 K_{\rm uT_{K_3}}^1 \right\}$ . Из условия коллинеарности векторов  $d\,\overline{r}\,$  и  $\nabla K_{\rm uT}\,$  получаем систему дифференциальных уравнений, решением которой и будет функция, определяющая управление  $l_{\rm o}$ .

$$\frac{dK_1}{K_{\text{MT}_{K_1}}^1} = \frac{dK_2}{K_{\text{MT}_{K_1}}^1} = \frac{dK_3}{K_{\text{MT}_{K_1}}^1};$$

$$\frac{dK_1}{C_0 \alpha_1 K_1^{\alpha_1 - 1} K_2^{\alpha_2} K_3^{\alpha_3}} = \frac{dK_2}{C_0 \alpha_2 K_1^{\alpha_2 - 1} K_3^{\alpha_3}} = \frac{dK_3}{C_0 \alpha_3 K_1^{\alpha_1} K_2^{\alpha_2} K_3^{\alpha_3 - 1}}.$$
(2)

Пусть начальная точка оптимальной траектории  $B_0(K_{01},K_{02},K_{03})$ . Из (2) получаем:

$$\begin{cases} K_1 dK_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_3} K_3 dK_3; \\ K_2 dK_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_3} K_3 dK_3. \end{cases}$$
(3)

Интегрируя систему (3):

$$\frac{K_1^2}{2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_3} \frac{K_3^2}{2} + C_{13} \Rightarrow K_1^2 = \frac{\alpha_1}{\alpha_3} K_3^2 + 2C_{13}; \tag{4}$$

$$2C_{13} = K_{10}^2 - \frac{\alpha_1}{\alpha_3} K_{30}^2 = C_{13}^* \Rightarrow K_1^2 = \frac{\alpha_1}{\alpha_3} K_3^2 + C_{13}^*;$$
 (5)

$$\frac{K_2^2}{2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_3} \frac{K_3^2}{2} + C_{23} \Rightarrow 2C_{23} = K_{20}^2 - \frac{\alpha_2}{\alpha_3} K_{30}^2 = C_{23}^* \Rightarrow K_2^2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_3} K_3^2 + C_{23}^*.$$
 (6)

Зададим оптимальную траекторию управления в параметрической форме. Выберем в качестве параметра безразмерную величину k. Тогда система уравнений (4)—(6) определит в параметрической форме оптимальную траекторию, ведущую из точки  $B_0\left(X_{01},X_{02},X_{03}\right)$ :

$$K_1^2 = \frac{\alpha_1}{\alpha_3} [f(k)]^2 + C_{13}^*; \ K_2^2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_3} [f(k)]^2 + C_{23}^*; \ K_3 = f(k).$$
 (7)

Уравнения (7) позволяют рассчитать оптимальную траекторию управления безопасностью движения в реальных условиях, что характеризуется коэффициентами  $\alpha_i$ , которые показывают вклад частных коэффициентов в итоговый коэффициент. В этом существенное отличие предлагаемой модели от существующих, критерий оптимальности которых не учитывает степень влияния того или иного частного коэффициента.

Для иллюстрации рассмотрим пример. Безопасность движения на участке автомобильной дороги описывается следующей МФ:

$$K_{\text{MT}} = 0.3K_1^{0.531}K_2^{0.95}K_3^{0.325},$$

где  $K_1, K_2, K_3$  — условные частные коэффициенты аварийности.

Пусть краевое условие имеет вид  $K_{\rm HT}/A_0=0$ , где  $A_0=A_0$  (0; 0; 0).

При этом условии  $C_{13}^* = C_{23}^* = 0$  и система (k — безразмерная положительная величина, характеризующая величину приемлемого для оптимизации шага изменения  $K_3$ ) принимает вид

$$K_{1} = \sqrt{\frac{\alpha_{1}}{\alpha_{3}}} f(k) = \sqrt{\frac{0.531}{0.325}} f(k) = 1.28 f(k);$$

$$K_{2} = \sqrt{\frac{\alpha_{2}}{\alpha_{3}}} f(k) = \sqrt{\frac{0.95}{0.325}} f(k) = 1.71 f(k); K_{3} = f(k) = 0.71k.$$
(8)

Функция f(k) получена с учетом того, что система (8) линейна относительно k. Тогда

$$K_1 = 1,28k; K_2 = 1,71k; K_3 = 0,71k.$$
 (9)

Теперь, подставляя численные значения k, а затем уменьшая его с определенным шагом, можно рассчитать оптимальную траекторию управления с учетом реальных условий безопасности движения.

Эта же модель используется для определения оптимальных затрат на реализацию запланированных мероприятий путем подстановки стоимостных параметров, характеризующих достижение этих значений, вместо значений  $K_{\rm ит}$  и  $K_i$ . Оптимизация с помощью предлагаемой модели осуществляется также пошаговым уменьшением  $k_{\rm c}$ , выраженном в стоимости. Преимущество разработанной модели заключается в том, что траектория оптимального управления не просто является оптимальной относительно некоего абстрактного критерия, а строится на реальной поверхности, описываемой МФ участка дороги, базирующейся на реальных статистических данных.

Bыводы. На основании определения с помощью МФ превалирующего влияния частных коэффициентов  $K_i^{\alpha_i}$  (I=1...n) на итоговый показатель аварийности  $K_{\rm ит}$ , предложено решение задачи по определению минимальных затрат на реализацию мероприятий, связанных с повышением безопасности движения, с помощью диаграммы Эджворта и математической модели, позволяющей в совокупной форме оценить затраты на достижение запланированного значения  $K_{\rm ит}$  с учетом взаимозависимого влияния частных коэффициентов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Отраслевой дорожный методический документ (ОДМД). Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах / Минтранс, Росавтодор. М., 2002.
- 2. Ведомственные строительные нормы BCH 25-86. Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах : утв. Минавтодором РСФСР 29 января 1986 г.
- 3. Боровик В.С., Лукин В.А. Обоснование мероприятий по обеспечению безопасности движения // Автомобильные дороги. 1995. № 3—4. С. 12—13.
  - 4. Hyman D.N. Modern microeconomics: Analysis and Applications. Boston, MA 02116, 1989.
- 5. *Боровик В.С.* Управление дорожно-строительным производством в условиях инновационного развития : теоретические аспекты. Волгоград, 2008.
- 6. *Лионс Ж.Л.* Оптимальное управление системами, описываемыми уравнениями с частными производными. М.: Мир, 1972.

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

© Боровик В.С., Соркин М.Б., 2010

УДК 625.8

#### Н.С. Ковалев

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ АСФАЛЬТОБЕТОНА ИЗ ШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Приведены результаты исследования изменения гранулометрического состава шлаковых материалов (гранулированного доменного шлака, шлакового и шлакопемзовых песков) после разогрева и воздействия уплотняющей нагрузки 10...40 МПа.

Изучено возникновение концентрации свободных радикалов в зависимости от продолжительности и температуры нагревания шлакового материала. На основе этих данных и термографических исследований обоснован температурный режим приготовления асфальтобетонных смесей из шлаковых материалов.

При помощи растровой электронной микроскопии показана надмолекулярная структура битумной пленки, имеющая фибриллы, фибриллярные ленты, разветвленные ленточные структуры и другие линейные элементы, связанные между собой в единую структурированную сетку, что является одним из факторов повышения долговечности асфальтобетонных покрытий из шлаковых материалов.

Ключевые слова: асфальтобетон, шлаковые материалы, гранулометрический состав, температура приготовления, битумная пленка.

Optimization of granulometric composition of mineral component, road asphalt concrete mixture preparation temperature and optimal structure of bitumen skim on the slag material surface determine increase of covering operating life under the influence of operating-climatic factors.

K e y w o r d s: asphalt concrete, slag materials, granulometric composition, preparation temperature, bitumen skim.

Гранулированный доменный шлак получают из доменного расплава, подвергнутого быстрому охлаждению струей воды или воздуха. Поверхность зерен остеклованная, с большим количеством выступов и углублений. До 80 % от общей массы в гранулированных шлаках присутствует шлаковое стекло. Шлаковая пемза представляет собой материал серо-желтого цвета с большим наличием микро- и макропор. Стеклофаза в шлаковой пемзе занимает от 30 до 45 %. Литой шлаковый щебень, получаемый медленным охлаждением огненно-жидких доменных шлаков, содержит около 10 % стеклофазы, а шлаковый песок характеризуется наличием частиц разной прочности, шероховатой поверхностью. Наличие стеклофазы определяет гидравлическую активность шлаковых материалов. Из рассмотренных нами шлаковых материалов наиболее активными являются гранулированные доменные шлаки, а наименее активными — шлаковые пески.

Особенностью стеклофазы шлаковых материалов является резкое различие в структуре и химическом составе основной массы стекла и поверхностного слоя. Это связано с тем, что поверхность стекла в атмосферных условиях сразу же после ее образования подвергается изменениям, в результате которых возникает поверхностный слой, отличающийся по химическому составу и физическим свойствам от остальной массы стекла.

Шлаковые материалы — хрупкие и высокопористые, при уплотнении происходит дробление зерен по линии наименьшего сопротивления. Зерновой (гранулометрический) состав шлаковых материалов в исходном состоя-

нии не удовлетворяет требованиям ГОСТ 9128—97. После разогрева шлаковых материалов и уплотнения асфальтобетона давлением 10, 20, 30, 40, 50 МПа и последующего экстрагирования битума гранулометрический состав оптимизируется и удовлетворяет требованиям стандарта на плотные смеси (табл.).

Эффект дробления не только оптимизирует гранулометрический состав, но и сопровождается образованием свежих поверхностей, энергетический потенциал которых очень высок. Нашими исследованиями установлено, что образование свежих поверхностей в условиях отсутствия загрязняющих примесей приводит к хемосорбционному взаимодействию и увеличению адгезионных связей между шлаковым материалом и битумом [1].

Изменение гранулометрического состава минеральной части асфальтобетона из шлаковых материалов в процессе технологических операций

<u> </u>	Количество частиц мельче данного размера (мм), %							
Состояние	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	
а) гранулированный доменный шлак Новолипецкого металлургического комбината								
Исходный	94,82	82,22	65,00	35,10	10,40	6,60	3,50	
После уплотнения на-								
грузкой:								
10 МПа	99,40	73,80	53,00	36,20	21,80	12,10	6,80	
20 МПа	100,00	74,00	53,20	36,70	22,20	13,60	7,60	
30 МПа	100,00	74,60	53,20	37,40	26,40	16,40	9,80	
40 MΠa	100,00	76,20	54,80	38,20	27,80	18,20	12,10	
50 МПа	100,00	79,10	59,10	39,40	28,35	20,50	12,90	
б) шлакопемзовый	песок Но	волипец	кого мет	аллургич	неского в	сомбинат	a	
Исходный	96,89	77,75	60,85	35,38	23,45	16,65	9,50	
После разогрева	97,79	80,05	65,19	38,53	23,90	17,50	9,79	
После уплотнения нагрузкой 40 МПа	98,97	86,40	65,36	50,40	31,86	21,46	13,84	
в) шлаковый песок Новолипецкого металлургического комбината								
Исходный	99,91	73,03	47,88	24,06	11,20	7,83	3,60	
После уплотнения нагрузкой 40 МПа	99,10	86,50	66,10	50,29	32,00	18,10	10,20	
Требования ГОСТ 9128—97	80100	6093	4585	3075	2055	1523	1016	

Разрушение части зерен шлаковых материалов происходит по наиболее ослабленным зонам при сравнительно высоких напряжениях. Это приводит к повышению среднестатистической прочности за счет ликвидации дефектов структуры, происходящих при уплотнении и дроблении шлаковых материалов. Форма зерен и характер поверхности минерального материала играют существенную роль в формировании оптимальной структуры асфальтобетонных материалов. Изометрично-угловатая форма частиц шлаковых материалов с острыми углами способствует повышению деформационной устойчивости асфальтобетонных покрытий из шлаковых материалов [2, 3].

Учитывая то, что гранулометрический состав минеральной части оптимизируется в процессе технологических операций, шлаковые материалы можно применять в асфальтобетонных смесях в естественном зерновом составе, т.е. в том, какой получается при грануляции или отсеве крупных фрак-

ций (для шлаковых и шлакопемзовых песков) без введения дорогостоящего минерального порошка, а асфальтобетонный монолит будет обладать оптимальным стабильным гранулометрическим составом.

Пористая и микрошероховатая поверхность зерен шлаковых материалов является фактором, способствующим возникновению прочного адгезионного контакта между битумом и шлаком (рис. 1).

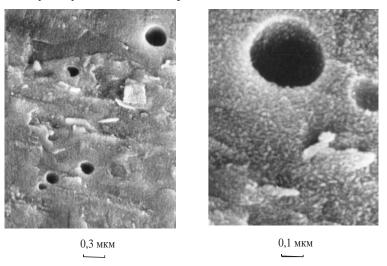


Рис. 1. Микрошероховатая поверхность гранулированного доменного шлака Новолипецкого металлургического комбината

На рис. 2 представлены снимки шлаковых материалов, полученные при помощи растровой электронной сканирующей микроскопии. По нашему мнению, полученные данные позволяют считать, что при применении шлаковых материалов в асфальтобетонных смесях интенсивному развитию протяженных микротрещин будет препятствовать как наличие шарообразных пор, снижающих напряжения в устьях микротрещин, так и эффект взаимодействия трещин между собой, описанные в работах С.В. Шестоперова и Н.В. Михайлова [4, 5].

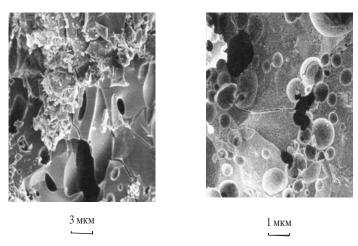


Рис. 2. Характер развития микротрещин в зернах шлакового материала

Особенности строения порового пространства шлаковых материалов свидетельствуют о возможности как избирательной фильтрации компонентов битума в тонкие поры, так и внедрения битума в крупные поры без изменения его группового состава.

Таким образом, уже поровое строение шлаковых материалов и характер микрошероховатости (ленточное строение шлакового стекла) способствуют созданию асфальтобетонных материалов, обладающих достаточной надежностью при воздействии эксплуатационно-климатических факторов.

Л.Б. Гезенцвеем [6] показана роль механохимических процессов при физикохимической активации минеральных материалов, и тем самым выявлена новая форма адсорбции битума минеральными материалами. Поэтому следует ожидать усиления процессов структурообразования фальтобетонных материалов везде, где происходит дробление. Нами показано [7], что при разогреве гранулированного доменного шлака в последнем образуются свободные радикалы и наивысшая их концентрация имеет место при разогреве материала до температуры 120...130 °С (рис. 3).

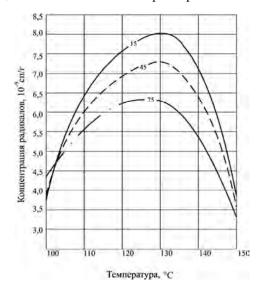


Рис. 3. Образование свободных радикалов в гранулированном доменном шлаке Новолипецкого металлургического комбината в зависимости от температуры его разогрева. Цифры на кривых — время прогрева материала, мин

Е.П. Железко и Б.Г. Печеный [8] установили, что свободные радикалы имеются и в битуме и наибольшая их концентрация имеет место при разогреве последнего до температуры 80...120 °С. Примерно при этой же температуре возникает наибольшая концентрация свободных радикалов и в гранулированном доменном шлаке. Совпадение температуры образования максимального количества радикалов в шлаковом материале и битуме и их рекомбинация при перемешивании обусловливают высокую интенсивность хемоадсорбционных процессов на разделе фаз битум — минеральный материал.

При кратковременном контактировании битума с разогретым до температуры 160...170 °С минеральным материалом в момент их объединения химический состав и структура битума изменяются в большей степени, чем за весь срок службы его в асфальтобетонном покрытии, температура которого в естественных условиях не превышает 70 °С.

Методом ядерного магнитного резонанса старение битума оценивали по графической зависимости: по оси абсцисс откладывали время прогрева образца при заданной температуре, а по оси ординат — отношение амплитуды производной сигнала ядерного магнитного резонанса эталонного образца к амплитуде производной сигнала поглощения исследуемого материала  $(A/A_0)$ .

При наступлении старения амплитуда производной сигнала ядерного магнитного резонанса исследуемого образца  $(A_0)$  уменьшается и вследствие этого отношение  $A/A_0$  возрастает, кривая поднимается вверх. Момент поднятия кривой вверх и показывает начало старения битума (рис. 4).

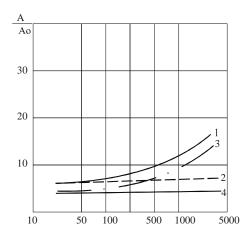


Рис. 4. Кинетика старения битума в зависимости от времени прогрева и вида минерального материала. Битум марки БНД 60/90: на гранулированном доменном шлаке Новолипецкого металлургического комбината при температуре прогрева, °C: I = 160; 2 = 120; на шлакопемзовом песке Новолипецкого металлургического комбината при температуре прогрева, °C: 3 = 160; 4 = 120

Учитывая это, а также то, что прогрев битума в тонком слое в течение 10 ч при температурах 40...120 °C практически не вызывает увеличения содержания асфальтенов, в то время как при температуре 160 °С происходит интенсивное их образование, температурный режим разогрева шлаковых материалов при приготовлении асфальтобетонных смесей необходимо принимать 110...130 °С. Этот же температурный режим приготовления асфальтобетонных смесей подтверждается методами инфракрасной спектроскопии, термографического анализа и растровой сканирующей электронной микроскопии [9].

Известно, что при использовании активированных минеральных порошков, поверхностно-активных веществ [6] становится возможным значительное снижение температуры выпускаемой асфальтобетонной смеси на природных каменных материалах. Шлаковые материалы по особенностям свойств могут быть приравнены к активированным минеральным материалам с тем преимуществом, что модификация поверхности частиц шлака происходит спонтанно в процессе производства, при их длительном хранении, в ходе разогрева, в момент их перемешивания с битумом и в процессе эксплуатации покрытий.

В результате исследований установлено, что минеральный материал асфальтобетонных смесей из шлаковых материалов к моменту объединения с битумом должен разогреваться до температуры 110...130 °C, а битум — до рабочей температуры. При разогреве минерального материала до температуры ниже 110 °C не достигается его полного обезвоживания, что ухудшает обволакивание битумом зерен шлака и снижает прочность сцепления битума с поверхностью гранулированного шлака. Повышение температуры нагрева свыше 130 °C приводит к интенсивной поликонденсации мальтеновой части битума с образованием асфальтенов. Смеси, полученные при таком температурном режиме, становятся малопластичными, плохо уплотняются, на покрытии образуются макро- и микротрещины, и оно начинает разрушаться с первых же дней эксплуатации.

При исследовании строения пленки битума на шлаковой подложке методом растровой электронной микроскопии установлено (рис. 5), что

глобулы и их ассоциаты, являющиеся первичными структурными элементами битума, сохраняются в структуре битумной пленки на поверхности шлаковых зерен в единичных случаях.

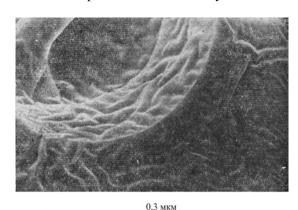


Рис. 5. Надмолекулярная структура битумной пленки на поверхности шлаковых материалов

Пленка битума на шлаковых зернах имеет сложную надмолекулярную (вторичную) структуру. Под влиянием активной шлаковой подложки происходит разворачивание макромолекулярных глобул, которые при дальнейшей агрегации образуют фибриллы, фибриллярные ленты, разветвленные ленточные структуры и другие линейные элементы, связанные между собой в единую структурированную сетку. Строение битумной пленки

на поверхности зерен шлака близко к структуре пленок полимеров, в том числе и эластомеров. Учитывая известное положение об улучшении структурномеханических свойств битумов при введении в них полимерных добавок и установленное сходство строения битумной пленки на шлаковой подложке со структурами пленок полимеров, можно считать, что такой характер строения органического вяжущего будет являться одним из факторов повышения долговечности асфальтобетонных покрытий из шлаковых материалов [10].

Образование вторичных надмолекулярных структур приводит не только к специфическому характеру адсорбции высокомолекулярных компонентов битума, но и предопределяет особенности взаимодействия молекул адгезива с поверхностью шлакового материала. Развернутая форма макромолекул и их надмолекулярных элементов улучшает условия взаимодействия адгезива с поверхностью, а глобулярная препятствует осуществлению достаточного числа контактов.

*Выводы.* 1. Оптимизация гранулометрического состава асфальтобетона из шлаковых материалов происходит за счет разогрева материала и дробления при уплотнения асфальтобетонной смеси.

- 2. Оптимизация температурного режима приготовления происходит за счет наибольшего возникновения свободных радикалов и их рекомбинации при температурах 110...130 °C, при которых не происходит старения битума.
- 3. Асфальтобетонные смеси из шлаковых материалов приготавливают без введения дорогостоящего минерального порошка.
- 4. Долговечность асфальтобетонных покрытий обусловливается фибриллярным строением надмолекулярной структуры пленки битума на поверхности шлакового материала.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалев Н.С. Исследование морозостойкости и трещиностойкости асфальтобетонных покрытий из шлаковых материалов: дис. канд. техн. наук. М., 1979. 295 с.

- 2. Ковалев Н.С. Исследование деформативных свойств асфальтобетонов из шлаковых материалов // Пути повышения качества и снижения стоимости строительства и эксплуатации дорог на юге РСФСР. Ростов н/Д, 1980. С. 13—21.
- 3. Ковалев Н.С. Исследование угла внутреннего трения и сцепления шлакоасфальтобетона // Особенности строительства и эксплуатации автодорог с использованием местных материалов и отходов промышленности в региональных условиях юга страны. Ростов н/Д, 1983. С. 60—67.
- 4. *Шестоперов С.В.* Долговечность бетона транспортных сооружений. М. : Транспорт, 1966.
- 5. Косогляд Е.С., Пашковский В.Г., Михайлов Н.В. О влиянии неоднородностей структуры на трещиностойкость асфальтобетонов // Труды СоюздорНИИ. 1970. Вып. 46. С. 232—239.
- 6.  $\Gamma$ езенцвей Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. М. : Изд-во литературы по строительству, 1971.
- 7. Самодуров С.И., Расствегаева Г.А., Ковалев Н.С. Исследование взаимодействия поверхности минерального материала с битумом методами молекулярной спектроскопии, электронного парамагнитного резонанса и термографии // Материалы XXVIII (1973 г.) научно-технической конференции Воронежского инженерно-строительного института. Воронеж, 1975. С. 112—115.
- 8. Железко Е.П., Печеный Б.Г. О кинетике образования и рекомбинации свободных радикалов в битумах // Труды СоюзДорНИИ. 1970. Вып. 46. С. 132—142.
- 9. К обоснованию температурного режима приготовления битумошлаковых смесей / С.И. Самодуров, Г.А. Расстегаева, Н.С. Ковалев и др. // Использование местных каменных материалов и отходов промышленности в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог : тезисы докл. и сообщ. на конф., М. : СоюздорНИИ, 1974. С. 44.
- 10. Самодуров С.И., Маслов Н.С., Ковалев С.М. О долговечности битумошлаковых покрытий автомобильных дорог // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1976. № 8. С. 147—151.

© Ковалев Н.С., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 625.855.31/32

#### С.Ю. Андронов

#### ХОЛОДНЫЙ ВИБРОЛИТОЙ РЕГЕНЕРИРОВАННЫЙ АСФАЛЬТ

Разработана технология холодного вибролитого регенерированного асфальта. Исследованы свойства асфальта и способы их улучшения. Полученный асфальт целесообразно применять для строительства и ремонта дорожных покрытий.

K л ю ч е в ы е с л о в а: литой асфальт, холодная регенерация асфальта, регенерированный асфальт.

The technology of cold reclaimed asphalt compacted vibration was designed. The characteristics of the asphalt and ways of their improvement were explored. This asphalt can be used reasonable for construction and repair covering.

K e y w o r d s: guss asphalt, cold reclaimed of asphalt, reclaimed asphalt.

В последние годы в транспортном строительстве России и ряда европейских государств широко применяются горячие литые асфальтовые смеси, ставшие серийной продукцией многих асфальтобетонных заводов (АБЗ). В отличие от обычного асфальтобетона литой содержит повышенное количество асфальтовяжущего, имеет более высокие температуры приготовления и укладки, поэтому не требуется его продолжительного уплотнения катками. Содержание вязкого битума в литых смесях составляет 6...12 %, минерального порошка 14...20 % в пересчете на частицы мельче 0,071 мм [1], что заметно удорожает их в сравнении с обычными асфальтобетонными смесями.

Важной проблемой современного дорожного строительства является повторное использование старого асфальта. Наиболее широко применяется регенерация асфальта горячим способом, одним из направлений которой является горячая регенерации литых смесей [1]. Однако широкое применение горячего литого регенерированного асфальта сдерживается рядом недостатков, наиболее существенные из которых: значительная энергоемкость из-за необходимости обеспечения на выходе из смесителя и при укладке в покрытие температуры смесей 200...250 °C [1]; загрязнение окружающей среды и вредные условия труда; необходимость применения для приготовления и перевозки смесей специальных котлов с мешалкой и пологревом.

Альтернативой горячей регенерации является холодная, основанная, в частности, на применении битумных эмульсий. Недостатком способа, существенно удорожающим производство асфальта, является необходимость заблаговременного производства битумных эмульсий, приготавливаемых с использованием дорогостоящих поверхностно-активных (ПАВ) эмульгаторов и оборудования эмульсионных баз, нередко зарубежного производства.

В Саратовском государственном техническом университете (СГТУ) предложена холодная технология производства регенерированного асфальта с дисперсным битумом [2]. Регенерированный асфальт представляет собой материал, получаемый путем уплотнения смеси из холодных увлажненных составляющих (старый асфальт, песок, щебень, минеральный порошок) с битумом, нагретым до 140...150 °С. Недостатком технологии является длительность уплотнения смесей катками (легкие, средние, тяжелые) по мере испа-

рения воды с увеличением нагрузки. В зависимости от погодных условий процесс уплотнения может длиться 12...18 ч [2], что вызывает большие организационные трудности и удорожает производство работ, так как катки длительное время простаивают до достижения оптимальной влажности слоя.

Разработана эффективная технология холодного вибролитого регенерированного асфальта с дисперсным битумом, исключающая необходимость применения битумных эмульсий, позволяющая устраивать покрытия без применения катков. Первичное уплотнение выполняется вибрацией, при распределении смеси в покрытие — асфальтоукладчиком. Окончательное уплотнение осуществляется движением транспорта в ходе эксплуатации покрытия. Отличительной особенностью предложенного способа регенерации является образование в процессе перемешивания в объеме асфальтовой смеси прямой медленнораспадающейся битумной эмульсии на твердом эмульгаторе, роль которого могут выполнять обычно применяемые минеральные порошки. Технология имеет ряд значимых достоинств: энергосбережение, так как отпадает необходимость высушивания и нагрева минеральных составляющих и старого асфальта, а также длительного уплотнения укаткой; ресурсосбережение за счет исключения из технологической линии АБЗ сушильного барабана, форсунки, топочного хозяйства, пылеуловительной установки, грохота, необходимости их обслуживания, снижения металлоемкости завода, а также за счет отсутствия необходимости применения катков и др.; экологическая безопасность, так как благодаря холодному и влажному приготовлению смесей исключается выброс в атмосферу пыли, канцерогенных углеводородов и др.; народнохозяйственный эффект от ее внедрения составляет около 63 % по сравнению с литыми асфальтами горячего приготовления.

Разрабатываемое под руководством Н.А. Горнаева в СГТУ научное направление «Технология холодных органоминеральных материалов с дисперсными органическими вяжущими» и исследования его учеников позволили теоретически обосновать процессы структурообразования в холодном вибролитом регенерированном асфальте с привлечением представлений физической химии с позиции термодинамики. Формирование структуры асфальта начинается в момент объединения всех составляющих, а заканчивается в покрытии в ходе его эксплуатации. Холодная вибролитая регенерированная асфальтовая смесь представляет собой гетерогенную необратимую систему открытого типа, протекающие в ней процессы происходят в направлении уменьшения суммарной избыточной поверхностной энергии, достижения устойчивого равновесия. Скорость протекания этих процессов обусловливается составом, свойствами, температурами исходных материалов, погодными условиями. Важнейшими стадиями процессов структурообразования являются: смачивание водой минеральных составляющих и старого асфальта; диспергирование и стабилизация битума; формирование битумной пленки; адгезия битума; уплотнение.

Холодная вибролитая регенерированная смесь имеет объемную гидрофобно-гидрофильную мозаичную структуру, что обусловливает различный характер смачивания водой твердых составляющих смеси. При этом имеют место физические и динамические гистерезисы смачивания.

Диспергирование битума осуществляется в объеме смеси через образование битумных нитей длиной до нескольких десятков миллиметров и их последующий распад на глобулы по достижении критической для данных условий толщины (температуры, содержания минерального порошка, воды и др.).

Стабилизация битумных глобул осуществляется через остаточный (ориентированный) слой воды по Б.В. Дерягину.

Формирование битумных пленок на поверхности минеральных частиц происходит в результате смачивания битума водой, а затем по мере ее испарения с твердых поверхностей. Битумные пленки формируются тем быстрее, чем выше степень дисперсности битума и ниже его вязкость. Адгезия битума происходит через остаточный слой воды с последующей диффузией ПАВ битума (главным образом анионактивных) на границу раздела.

Уплотнение зависит от содержания воды. В первый момент смесь легко уплотняется вибрацией за счет повышенного содержания воды. Однако вода, заполняя все поры смеси и являясь практически несжимаемой препятствует уплотнению, поэтому холодный вибролитой регенерированный асфальт обычно имеет остаточную пористость 10...12 % и относится к высокопористым. Уплотнению способствуют особенности взаимодействия воды с гидрофобными и гидрофильными составляющими смеси. Вода, попадая между двумя абсолютно гидрофобными поверхностями старого асфальта благодаря лаплассовскому давлению, выполняет роль подшипников качения (по Я.И. Френкелю), препятствует их контакту, облегчая взаимное перемещение. По мере испарения воды за счет песка и минерального порошка в смеси образуется большое количество заполненных водой тонких капилляров, возникающее при этом лаплассовское давление стремится сблизить минеральные зерна. Вода за счет капиллярных сил проявляет как бы связующие свойства.

Экспериментальные исследования проводились главным образом на смесях с содержанием фрезерованного старого асфальта 50...60 %, известнякового или гранитного щебня до 10 % и полученных из них искусственных песков 10...20 %, известнякового минерального порошка марки МП-1 в пересчете на частицы мельче 0,071 мм 16...18 %, нефтяного битума 6...8 % марки БНД 90/130, водопроводной воды 6...9 %. Смеси готовились с содержанием щебеночной фракции 40...50 % (тип Б) и 30...40 % (тип В).

Для исследования свойств асфальта на лабораторной виброплощадке приготавливались стандартные цилиндрические образцы диаметром 50,5 и 71,4 мм. Образцы уплотнялись вибрированием под пригрузом при параметрах вибрационного процесса соответствующих параметрам работы виброплиты асфальтоукладчика: удельное давление 0,03 МПа, частота колебаний 3000 об/мин, амплитуда 0,5 мм. Виброуплотнение образцов длилось 20 с, что соответствует скорости движения асфальтоукладчика 3 м/мин. Исследованиями установлено, что более длительное виброуплотнение не целесообразно, так как дальнейшего увеличения плотности образцов практически не происходит из-за заполняющей все поры воды. При подготовке к испытаниям образцы высушивались 12 ч при температуре 100 °C. Такая методика в определенной степени воспроизводит условия формирования асфальта в покрытии и позволяет получать образцы со свойствами, близкими к свойствам образцов, формировавшихся в естественных условиях. Образцы испытывались по методике, принятой для горячего асфальтобетона, по ГОСТ 12801—98.

Исследование динамики изменения свойств (плотности и прочности) асфальта осуществлялось методом вдавливания конуса, разработанным П.А. Ребиндером. Достоинством метода является возможность испытания асфальта на образцах и в покрытии, высокая скорость проведения испытаний (менее 3 мин), простота конструкции и низкая стоимость прибора для опре-

деления глубины вдавливания конуса. Согласно этому методу плотность и предел прочности асфальта находят по заранее установленной в лаборатории корреляционной связи с предельным сопротивлением вдавливанию конуса, определяемого для конуса с углом при вершине 30° из выражения

$$P = 0.959F/h^2, (1)$$

где P — предельное сопротивление вдавливанию конуса,  $\Pi$ а; F — нагрузка на конус, H; h — глубина погружения конуса в асфальт, M.

Исследования влияния относительного содержания и свойств составляющих на плотность асфальта, выполненные с применением метода математического планирования эксперимента, показали, что наиболее существенно на уплотнение влияют содержание минерального порошка и влажность смеси. Коэффициент уплотнения достигает 0,95 при оптимальной влажности смеси 9 %, содержании 18 % минеральных частиц мельче 0,071 мм.

Результаты исследования образцов показывают (табл.), что асфальты по основным показателям, за исключением водонасыщения, удовлетворяют требованиям ГОСТ 9128—97 к горячим асфальтобетонам второй марки для II...V дорожноклиматических зон (ДКЗ). По показателю водонасыщения холодный вибролитой регенерированный асфальт удовлетворяет требованиям к пористым асфальтобетонам. Остаточная пористость на 1,5....4 % больше водонасыщения, что объясняется закрытой тонкопористой структурой асфальта. Несмотря на повышенное водонасыщение, асфальт с известняковой минеральной частью обладает высокими водными свойствами, удовлетворяющими требованиям к горячему плотному асфальтобетону I марки, что объясняется повышенным сцеплением битума с известняком за счет происходящего на границе битум — твердое молекулярного взаимодействия содержащихся в битуме анионактивных ПАВ с катионами кальция. Водные свойства асфальта с гранитной минеральной частью несколько ниже, так как отрицательно заряженная поверхность гранита не взаимодействует с содержащимися в битуме анионактивными ПАВ, и соответствуют требованиям к горячему асфальтобетону II марки для II... V ДКЗ. Асфальты не подвержены набуханию, что объясняется понижением слоя ориентированной воды поверхностной энергии на границе битум — твердое и суммарной избыточной поверхностной энергии системы в целом, в результате чего она получается более стабильной.

Основные физико-механические свойства асфальта

п асфальта	Объемная мас- са, г/см <sup>3</sup>	Водонасыще- ние, % по объ- ему	Остаточная пористость, %	Набухание, % по объему	Предел п сти на ся МПа, при ратуре,	катие, темпе-	Водостойкость	Водостойкость при длитель- ном водона- сыщении	Предельное сопротивление вдавливанию конуса при 20°C, МПа
Тип	90	Вод ние,	юп О	На	20	50	Вод	Водо при ном сы	Про сопр вдан кон 20
	Асфальт с известняковой минеральной частью								
Б	2,17	8,8	11,3	0,00	2,5	1,3	0,91	0,86	1,84
В	2,15	9,8	12,0	0,00	2,5	1,3	0,93	0,88	1,82
Асфальт с гранитной минеральной частью									
Б	2,19	8,4	10,6	0,01	2,4	1,3	0,90	0,80	1,58
В	2,18	9,5	11,0	0,03	2,2	1,2	0,89	0,75	1,29

Исследованиями установлено, что максимальное содержание старого асфальта в смеси не должно превышать 80 %, что необходимо для введения в смесь достаточного количества минерального порошка и образования прямой

эмульсии, обеспечивающей необходимую подвижность, удобоукладываемость, технологичность холодной вибролитой регенерированной смеси.

Одним из способов сокращения сроков формирования и улучшения свойств асфальта является применение составленных вяжущих из нефтяных битумов и альтернативных вяжущих (различных битумов, смол, дегтей и др.). Однако горячая технология их приготовления и применения связана с трудоемкостью операций, повышенным расходом энергии, нанесением экологического ущерба. Разработан и запатентован [3] способ регенерации асфальта с применением составленных вяжущих, исключающий необходимость заблаговременного их приготовления горячим способом. В увлажненные составляющие асфальтовой смеси одновременно, раздельно, в любом соотношении вводятся нефтяной битум и альтернативное вяжущее. В процессе перемешивания происходит раздельное независимое диспергирование их твердыми эмульгаторами, образование эмульсии из двух вяжущих.

Исследования динамики формирования асфальта на образцах и в покрытии по показателям предельного сопротивления вдавливанию конуса и предела прочности показали, что в сравнении с асфальтом на вяжущем из нефтяного битума применение вяжущего из нефтяного битума с добавкой каменноугольного дегтя Д-3 (20 % общей массы вяжущего) и из нефтяного битума с добавкой жидкой сланцевой смолы С-2 (5 % общей массы вяжущего) ускоряет структурообразование в 1,4 и 1,25 раз соответственно, что объясняется наличием в альтернативных вяжущих большого количества ПАВ (фенолов, кислот и др.), благодаря чему при добавлении к нефтяному битуму альтернативных вяжущих увеличивается скорость формирования битумной пленки. Прочностные свойства асфальта на дегтебитумном вяжущем и на вяжущем из нефтяного битума с добавкой сланцевой смолы отвечают требованиям к горячему плотному асфальтобетону ІІ марки для І...ІІІ ДКЗ, водные свойства — к І марке для І... V ДКЗ.

Исследования показали, что замена части минерального порошка портландцементом способствует улучшению дорожно-технических свойств асфальта и ускорению структурообразования, что объясняется формированием в смеси кристаллизационных связей вследствие твердения цемента. Уже после 5 дней формирования при 20 °C асфальт с добавкой 9 % портландцемента марки 500 имеет те же значения предела прочности на сжатие и предельного сопротивления вдавливанию конуса, что асфальт без добавки цемента после 28 сут формирования при 20 °C. В среднем на 30 % увеличиваются предельное сопротивление вдавливанию конуса и предел прочности (при 20 и 50 °C) окончательно сформировавшегося асфальта. Водостойкость достигает 1,00, а водостойкость при длительном водонасыщении — 1,20.

Холодные вибролитые регенерированные асфальты рекомендуется применять для строительства покрытий на дорогах II...IV категории в III...V ДКЗ. На дорогах III и V категорий движение транспорта с проектной скоростью открывается сразу после завершения работ. На дорогах II категории необходимо выдерживание свежеуложенного покрытия перед открытием движения 2...4 ч в зависимости от погодных условий.

Предложен способ устройства защитных слоев дорожных покрытий термообработкой поверхности свежеуложенных холодных органоминеральных смесей с дисперсными органическими вяжущими. Разработана и запатентована установка для термической обработки дорожных покрытий [4]. Устройство защитных слоев позволит открывать движение транспорта сразу после завершения работ, расширить строительный сезон, устраивать покрытия из холодного вибролитого регенерированного асфальта во II ДКЗ. Установлена высокая эффективность термообработки открытым пламенем газовой горелки. С повышением температуры в верхнем слое асфальта происходит быстрое формирование сплошных битумных пленок. Чтобы исключить выгорание битума, температура в защитном слое асфальта (на вязком битуме) не должна превышать 180 °С. Выгоранию вяжущего препятствует интенсивное испарение воды. Методом вдавливания конуса в лабораторных условиях установлено, что защитный слой имеет те же значения предельного сопротивления вдавливанию конуса, предела прочности на сжатие и плотность, что и окончательно сформировавшийся асфальт того же состава.

Исследования процесса термической обработки в лабораторных условиях на образцах с применением метода математического планирования эксперимента показали, что получению большей толщины защитного слоя способствует главным образом увеличение тепловой нагрузки, величина которой определяется из выражения

$$T = P_{\text{rop}} t_{\text{ofp}} / S_{\text{nob}}, \tag{2}$$

где T — тепловая нагрузка, к $B ext{T} \cdot \text{c/cm}^2$ ;  $P_{\text{гор}}$  — мощность горелки, к $B ext{T}$ ;  $S_{\text{пов}}$  — площадь прогреваемой поверхности, с $\text{m}^2$ ;  $t_{\text{обр}}$  — время термообработки, с.

При максимальной тепловой нагрузке 2,4 к $Br \cdot c/cm^2$  (во избежание перегрева верхнего слоя асфальта свыше  $180 \, ^{\circ}C$ ) толщина защитного слоя из холодного вибролитого регенерированного асфальта составляет около  $15 \, \text{мм}$ .

Установлена высокая эффективность применения данного асфальта для ямочного ремонта покрытий с использованием виброуплотнения. Опыт устройства защитных слоев при ямочном ремонте показал, что на дорогах II категории для исключения вырывания отдельных агрегатов защитного слоя при движении автомобилей (особенно грузовых) толщина защитного слоя должна быть не менее 12 мм, что достигается прогревом покрытия в течение 60...80 с горелкой мощностью 5...7 кВт (тепловая нагрузка 1,8...2,0 кВт-с/см²).

По звукозаписи с помощью компьютерной программы анализа звука определялось шумовыделение различных асфальтов. Полученные экспериментальные данные, подтвержденные теоретическим расчетом, показали, что в сравнении с плотным асфальтобетоном типа В шумовыделение холодного вибролитого регенерированного асфальта в среднем на 6 дБ меньше, что обусловлено его высокой остаточной пористостью, повышенным общим содержанием битума 9...12 %. Меньшее шумовыделение позволяет рекомендовать этот асфальт для строительства дорожных покрытий и объектов благоустройства в районах массовой жилой застройки, детских учреждениях и др.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. *Леонович И.И.* Содержание и ремонт автомобильных дорог : в 2-х ч. Мн. : БНТУ, 2003. Ч. 1. 256 с.; Ч. 2. 470 с.
- 2. *Горнаев Н.А.*, *Никишин В.Е*. Технология холодной регенерации асфальтобетона // Наука и техника в дорожной отрасли. 2005. № 3. С. 43—44.
- 3. Пат. № 2351703 Российская Федерация. Способ приготовления холодной органоминеральной смеси для дорожных покрытий / Н.А. Горнаев, В.Е. Никишин, С.М. Евтеева, С.Ю. Андронов, А.С. Пыжов. Опубл. 10.04.09.
- 4. Решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2009141924/22 от 03.12.09. Установка для термической обработки дорожных покрытий / Н.А. Горнаев, С.Ю. Андронов, А.С. Пыжов, С.М. Евтеева.

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

© Андронов С.Ю., 2010

#### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 628.349.087.7

#### В.Т. Фомичев. Н.А. Филимонова

#### ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ РАСТВОРЫ НА ОСНОВЕ БИШОФИТА

Рассмотрена перспективная технология получения наноструктурированных растворов методом электролиза из растворов бишофита для борьбы с патогенными микроорганизмами в обеззараживании сточных вод, строительстве и сельском хозяйстве.

K л ю ч е в ы е с л о в а: наноструктурированные растворы, бишофит, электролиз, сточные воды, обеззараживание.

Leading-edge technology of getting nanostructured solutions by means of electrolysis from bischofite solutions for struggle against pathogenic germs in disinfection of waste water, construction and agriculture is studied.

K e y w o r d s: nanostructured solutions, bischofite, electrolysis, waste water, disinfection.

Проблема обеззараживания сточных вод является крайне актуальной в условиях ненормируемого сброса вредных веществ. Сточные воды сельхозпредприятий (ферм, животноводческих комплексов) и предприятий по переработке сельхозпродукции (мясокомбинаты, молокозаводы) обладают специфическим действием на окружающую среду и особенно на поверхностные воды. Неочищенные стоки являются источником патогенной микрофлоры; изменились свойства возбудителей: повысилась их вирулентность и устойчивость к воздействию внешней среды; вода стала причиной передачи не только возбудителей ранее известных заболеваний, но и тех, роль которых в инфекционной патологии человека считалась гипотетической (грибы). Условно патогенные плесневые грибы могут поражать все ткани человека. Практически все грибы, не являясь по своей природе болезнетворными, могут в организме человека приобретать паразитарные свойства и вызывать инфекционные поражения — микозы, а у людей, склонных к аллергическим реакциям — микогенные аллергии в виде астматического бронхита, бронхиальной астмы, крапивницы и др. [1].

Самым распространенным методом обеззараживания воды остается хлорирование. Несмотря на то, что хлор и его соединения образуют токсичные вещества типа тригалогенметанов, он является единственным доступным дезинфекантом, который обладает пролонгирующим эффектом.

Однако с ухудшением инфекционной ситуации возникла необходимость усиления антимикробного действия хлора путем создания комплексных ме-

тодов обеззараживания воды [2]. Особый интерес представляет использование в этом качестве местного сырья — бишофита.

Известны дезинфеканты на основе соединений меди, ионы которой обладают альгицидным эффектом (в отличие от хлора и других дезинфекантов), способствующим проникновению антимикробных агентов внутрь клеток микроорганизмов [3, 4].

В исследованиях, проведенных авторами, использовались растворы бишофита как основы для электрохимического получения гипохлоритов меди. В процессе электролиза происходит взаимодействие образующихся хлорноватистой и бромноватистой кислот, ионов меди с щелочью с образованием гипохлорита и гипобромита магния и меди:

$$2HCIO + Mg(OH)_2 = Mg(CIO)_2 + 2H_2O;$$
  
 $4HCIO + Cu_2O = 2Cu(CIO)_2 + 2H_2O;$   
 $2HBrO + Mg(OH)_2 = Mg(BrO)_2 + 2H_2O;$   
 $2HBrO + Cu_2O = Cu(BrO)_2 + H_2O$ 

Часть получающихся гипохлоритов в значительной степени диссоциируют с образованием ионов, которые способны к дальнейшему анодному окислению с образованием хлорит-иона. Образующиеся при электролитическом окислении раствора природного бишофита хлорит-, гипохлорит-, гипобромит-ионы и ионы меди при взаимодействии создают синергический эффект, усиливающий, тем самым, бактерицидную активность и фунгицидную активность конечного дезинфицирующего продукта, что отличает получаемый продукт от используемых в настоящее время (табл. 1). Определение размеров образующихся в результате электролиза дисперсных частиц показало, что их значения лежат в области 55...120 нм, что соответствует размерам наночастиц. Для исследования использована методика измерения поглощения света в дисперсных системах при помощи спектрофотометра ПЭ 5300В.

Таблица 1

Дезинфекант	Степень роста і	Характеристика по	
дезинфекант	Метод 1	Метод 3	ГОСТ 9049—91
Cu	0	1	Грибостойкий
AX	0	1	Грибостойкий
Cu + AX	0	0	Фунгицидный

Для исследования степени токсичности получаемого дезинфеканта использовался метод биотестирования по выживаемости тест-организмов в лабораторных условиях (табл. 2) [5].

Таблица 2 Действие дезинфицирующего раствора, содержащего 0,5 мг/л ионов меди и 10,5 мг/л активного хлора, на выживаемость тест-клеток

Продолжительность	Количество выживших тест-клеток, %					
контакта, мин.	Только ионы меди Только активный хлор		Cu + AX			
1	95,5	50,4	25,5			
5	70,3	20,4	4,5			
10	60,8	15,3	0,1			

Как следует из данных таблицы, совместное действие раствора, содержащего гипохлорит меди, на микрофлору чрезвычайно эффективно: за 10 мин количество микроорганизмов уменьшается в 1000 раз.

Данный раствор можно использовать в сельском хозяйстве при предпосевной обработке семян для увеличения ростовой активности растений, защиты от болезней и повышения урожайности (табл. 3).

Таблица 3

# Результативность применения электролитически наноструктурированного раствора на основе бишофита (бишокупр) в агроценозе ячменя (ОПХ «Волгоградское», 2008)

	а) влиян	ие на структу	уру урожая			
	Количество	Высота	Число зерен	Bec	Урожай-	
Вариант	растений в	растений,	в колосе,	1000	ность,	
	пробе, шт	СМ	ШТ	зерен, і	г ц/га	
КОНТРОЛЬ	50	57,3	16,8	40,9	16,0	
Бишофит, 10 %	36	72,3	19,4	49,8	25,3	
Бишокупр	43	66	20,9	48,3	36,3	
б) влияние на вредные организмы						
Dominorm	Численность вредителей,		Болезни			
Вариант	экз/м	Л	Распростране	ение, %	Развитие, %	
КОНТРОЛЬ	3.2		60.0 35.6			

 Вариант
 экз/м
 Распространение, %
 Развитие, %

 КОНТРОЛЬ
 3,2
 69,0
 35,6

 Бишофит, 10 %
 4,0
 45,5
 14,6

 Бишокупр
 1,1
 45,0
 13,5

Также предполагается использовать данный процесс, кроме строительного производства, в обеззараживании бытовых, промышленных сточных вод, с/х стоков, стоков мясомолочных обрабатывающих предприятий. Данный способ является экономически и экологически более приемлемым, чем использование известных органических препаратов-дезинфекантов [6].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. О состоянии охраны окружающей природной среды Волгоградской области в 2003 году : гос. докл. / НИА-Природа ; РЭФИА. М., 2003. 300 с.
  - 2. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 230 с.
- 3. *Беэр С.Н.* Подходы к паразитологическому мониторингу. Окружающая среда и проблемы паразитарного загрязнения : сб. М. : РАН, 1994. С. 12—29.
- 4. Элышнер Л.И. Влияние геологической обстановки на санитарные условия жизни и состояние здоровья населения // Региональные проблемы здоровья населения. М., 1993. С. 50.
- 5. Эльшинер Л.И. О влиянии водного фактора на состояние здоровья населения России // Водные ресурсы. 1995. Т. 22. № 4.
- 6. Черкинский С. Н, Трахман Н.Н. Обеззараживание питьевой воды М. : Медгиз, 1962. 182 с.

© Фомичев В.Т., Филимонова Н.А., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

Decision Definition of the Repair 2010 Definition (61)

УДК 665.775:625.855/.857

#### С.И. Романов, А.И. Лескин, С.А. Пронин, Д.И. Гофман

#### РЕГУЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НЕФТЯНЫХ БИТУМОВ

Рассмотрены свойства трех структурных типов вязких нефтяных битумов. Установлено специфическое изменение парамагнитных характеристик битумов в процессах термостатирования и окисления. Предложены определенные режимы воздействия на структуру в процессах подготовки битумов к использованию и направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: вязкий нефтяной битум, битум.

Properties of three structural types of viscous oil bitumen's are considered. Specific change of paramagnetic characteristics of bitumen's in processes thermal regulations and oxidations is established. Certain modes of influence on structure in processes of preparation of bitumen's to use and a direction of the further researches are offered.

Key words: viscous oil bitumen, bitumen.

В процессах производства окисленных нефтяных битумов и подготовки их к использованию возникает необходимость получать оптимальную микрогетерогенную структуру вяжущего для дорожного строительства. Исследованиями, выполненными в Союздорнии, по комплексу свойств оптимальная структура отнесена к третьему типу [1], этот тип структуры в коллоидной химии назван «золь-гель», к ней относятся битумы марок БНД. Для их производства рекомендовано использование битумного сырья, характеризуемого показателем условной дисперсности в диапазоне от 0,7 до 7,7 [2]. На Волгоградском нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ), функционирующем по «масляной» схеме, для производства битума применялся асфальт деасфальтизации, условная дисперсность которого равна 21, т.е. чрезмерно высока, поэтому получался битум 2-го структурного типа, или «золь», марок БН. Структура битума 1-го типа, «гель», образуется из низкодисперсного сырья. Такой битум не рекомендован для дорожного строительства, так как обладает пониженной стабильностью, ускоренным старением при рабочих температурах выше 120 °С.

Для снижения условной дисперсности асфальта деасфальтизации в него добавляют гудрон на НПЗ. Возможны другие способы снижения условной дисперсности за счет введения добавок нефтепромыслового остатка или кубовых остатков ректификации дихлорэтана. Эти добавки наряду с обеспечением получения оптимальной структуры битума способствуют ускорению процесса окисления в 1,3 раза. Эффективна замена кислорода воздуха на отработанную серную кислоту для процесса окисления битумного сырья в битум. Такой способ значительно снижает энергозатраты на производство битума, но приводит к нежелательным последствиям, связанным со вспениванием окисляемой массы и некоторым коррозионным воздействием на металл окислительной установки.

Традиционное производственное окисление битумного сырья продувкой воздуха при температурах 250...260 °C не позволяет получать высококачественный битум. При пониженных температурах окисления 200...220 °C образуется более качественный битум, характеризуемый улучшенной адгезией и замедленным старением [2, 3].

Битум Волгоградского НПЗ доставляют автобитумовозами для дорожных организаций города и области. Наименее энергозатратный и экономичный способ использования битума должен исключать его слив и хранение в больших битумохранилищах, где зачастую происходит его обводнение с последующей необходимостью обезвоживания перед использованием и существенными потерями тепла в окружающую среду. Целесообразна планомерная поставка и потребление горячего битума при условии 5-часового его хранения при рабочих температурах 140...160 °C в расходных теплоизолированных емкостях во время рабочего дня на АБЗ [4], в ночное время снижают температуру до 80 °C, при которой не происходит существенного асфальтенообразования в битуме. Пороговой температурой интенсивного асфальтенообразования является 120 °C.

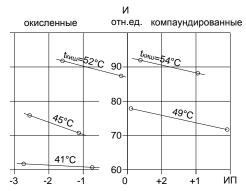
Групповой состав дисперсной системы битума представлен сложными смолисто-асфальтеновыми структурными единицами (ССЕ) дисперсной фазы, находящимися в дисперсионной углеводородной среде [5], называемой маслами. Асфальтеновое ядро ССЕ парамагнитно, всегда содержит неспаренные электроны [6], оно покрыто и пронизано высокополярными смолами. Парамагнетизм асфальтенов придает им свободнорадикальные свойства, способствует молекулярному ассоциированию, образованию ССЕ за счет обменных взаимодействий.

Концентрацию неспаренных электронов в битуме, или парамагнитных центров (ПЦ), к которым относятся свободные радикалы, регистрируют методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Свободная валентность углерода в конденсированной ароматической структуре асфальтенов является причиной их парамагнетизма. В процессе окисления битумного сырья происходит последовательная потеря атомов водорода в триангулярно сгруппированных ароматических структурах асфальтенов. При этом один из атомов углерода, теряя водород, остается с тремя задействованными и одной свободной валентностями. Концентрация ПЦ в асфальтенах составляет от  $10^{18}$  [7] до  $10^{21}$  [8] спин на грамм, т. е. почти каждая молекула асфальтенов может быть парамагнитной. Методом рентгеновской дифракции в асфальтенах обнаружены пачечные образования, содержащие 4...6 слоев, удаленных на 0,36 нм, диаметром 0,9...1,5 нм [9]. Эти образования вызваны парамагнетизмом асфальтенов. Рекомбинация свободных радикалов не происходит в связи со сферическими препятствиями к достаточному сближению и делокализацией неспаренных электронов в конденсированной ароматической структуре асфальтенов. Отмеченные условия свидетельствуют о принадлежности ПЦ асфальтенов к стабильным свободным радикалам.

Высокая концентрация ПЦ в асфальтенах позволяет предположить возможность спаривания некоторого количества неспаренных электронов с образованием слабых ковалентных связей, которые можно разрушить механическими воздействиями [10], растворителями с незначительным тепловым воздействием [11]. Проанализировав молекулярные условия образования ковалентных связей, Ф.Г. Унгер [12] отметил значительное снижение энергии разрыва межуглеродной связи с ростом числа углеродных атомов в молекуле. Разрыв слабых ковалентных связей должен приводить к уменьшению размеров асфальтеновых ядер в битуме, повышению дисперсности ССЕ в битуме, при этом образуются новые достаточно активные свободные радикалы. Ад-

сорбционно-сольватные слои смол на асфальтенах препятствуют сближению свободных радикалов на расстояния менее нанометра для возможных рекомбинаций. Повышенное количество смол ведет к увеличению расстояния, снижению вероятности актов рекомбинации. Высокосмолистые битумы отличаются большой растяжимостью при  $25\,^{\circ}\mathrm{C}$ .

Измерения интенсивности парамагнитного поглощения И, отн. ед., в битумах различных структурных типов с одинаковыми показателями пенетрации при 25 °C в диапазоне температур размягчения от 41 до 54 °C показали во всех случаях (см. рис.) закономерное снижение И в битумах с повышенным индексом пенетрации ИП. Это косвенно доказывает участие большего количества ПЦ в рекомбинациях при переходах в направлении золь  $\rightarrow$  зольгель  $\rightarrow$  гель, т. е. структурообразование происходит по свободнорадикальному механизму.



Влияние индекса пенетрации ИП на интенсивность парамагнитного поглощения И, отн. ед., битумов с одинаковой температурой размягчения, полученных способами окисления и компаундирования

Среда, в которой находятся свободные радикалы, своеобразно влияет на их поведение. Свободные радикалы притягиваются к  $\pi$ -связанным атомам, а от  $\sigma$ -связанных атомов отталкиваются [13]. Такое взаимодействие позволяет лучше понять процессы адсорбции смол, растворения асфальтенов в ароматических углеводородах, составленных из  $\pi$ -связанных атомов, и осаждающую асфальтены способность алканов, составленных из  $\sigma$ -связанных атомов. Наряду с этим установлено ускоренное термоокислительное старение битумов, содержащих повышенную общую концентрацию стабильных ПЦ, регистрируемых при комнатной температуре.

В битумах структуры золь зарегистрирована в 5 раз большая локальная концентрация ПЦ в асфальтенах по сравнению с битумами структуры гель. Можно предположить, что структура гель образуется при рекомбинации периферийно расположенных ПЦ в асфальтенах с увеличением размеров асфальтеновых ассоциатов при регистрируемом уменьшении содержания смол в битуме и за счет этого уменьшения растяжимости битума при 25 °С. Не лишена основания гипотеза о локальной концентрации ПЦ как о периферийности их расположения в асфальтеновых пачечных образованиях с пониженной делокализацией неспаренных электронов и большей потенциальной способностью к спариванию, образованию ковалентных связей.

Парамагнитные изменения в битуме при его термостатировании в режиме 160 °C существенно отличаются от изменений в режиме окисления продувкой воздуха при 250 °C с одинаковым увеличением температуры размягчения на 10 °C. Окисление привело к 20%-му росту концентрации ПЦ с очевидным увеличением содержания асфальтенов, в то время как термостатирование при ограниченном контакте битума структуры золь-гель с кислородом воздуха не способствовало росту концентрации ПЦ, поскольку преобладал процесс образования смол из углеводородной среды [2]. На практике во время длительного хранения битума при 150...160 °C в заполненной под горловину цистерне необратимые изменения будут менее значительны по сравнению с режимом увеличенной удельной поверхности контакта с воздухом при уменьшенном объеме битума в той же емкости. В полной емкости при 160 °C преобладает образование смол над образованием асфальтенов за счет ограниченного контакта с воздухом. Таким образом, можно несколько повысить растяжимость низкодуктильного битума.

Показатели свойств битумов трех структурных типов (табл. 1) имеют характерные различия. Отношения интенсивности парамагнитного поглощения к содержанию асфальтенов наибольшее у битума структуры золь, наименьшее у структуры гель. Это можно объяснить наибольшим числом актов рекомбинации ПЦ в асфальтенах битума структуры гель, стабильность которой падает с высвобождением активных ПЦ в результате разрыва связей при нагреве до рабочей температуры и это приводит к усиленному термоокислительному старению битума в свободном состоянии.

Таблица 1

Наименован	ие свойств	Золь	Золь-гель	Гель
Пенетрация при	25 °С; 0,1 мм	115	106	101
	при 0 °C; 0,1 мм	20	31	50
Температура размягч	ения, °С	40	46	59
Температура хрупкос	сти, °С	-16	-22	-35
Растяжимость при 25	°С, см	>100	100	11
Содержание асфальто	енов, %	15	20	23
Индекс пенетрации	_	-2,1	-0,3	+4,5

Методом ЭПР не удается изучить вопрос взаимодействия активных ПЦ с минеральным материалом в процессе приготовления асфальтобетонных смесей. Процесс синерезиса неустойчивой битумной структуры гель в асфальтобетоне исследован недостаточно полно, но пагубные последствия синерезиса известны. Несмотря на лучшие реологические свойства битума структуры гель, он не рекомендован для строительства дорожных покрытий по двум отмеченным причинам.

Температура смешиваемых компонентов — низкодуктильного битума структуры гель с гудроном — влияет на свойства компаунда (табл. 2). Понижение температуры до  $70...80~^{\circ}$ С при достаточно интенсивном смешивании компонентов способствовало увеличению растяжимости и парамагнетизма по сравнению с результатом в режиме смешивания при  $150...160~^{\circ}$ С.

Таблица 2

Наименование свойств	Компо	ненты		паунд п 15 % гудрон
паименование своиств	Битум	Гуд- рон	Смешано при 7080 °C	Смешано при 150160 °C
Эффективная вязкость условно разрушенной структуры при 20 °C, Па·с	2,4	0,39	2,2	1,2
Глубина проникания иглы $\Pi_{25}$ , 0,1 мм	98	_	130	126
Температура размягчения, $T_{\text{киш}}$ , °C	49		45	44
Растяжимость при 25 °C, см	12		64	46
Интенсивность парамагнитного поглощения И, отн. ед.	65	24	53	39

Интенсивность парамагнитного поглощения зарегистрировали через 3 мес. хранения образцов при комнатной температуре. В низкотемпературном компаунде содержится на 36 % больше потенциально активных свободных радикалов, способных к взаимодействию с минеральной поверхностью или во время достаточно длительного нагрева выше 90 °C к рекомбинациям, в то время как при комнатной температуре фактор повышенной вязкости сдерживает движение молекул и рекомбинации не происходят.

На отмеченных компаундах были приготовлены асфальтобетонные образцы. Их испытания на длительную водостойкость показали повышенную адгезионную активность компаунда низкотемпературного перемешивания. Были приготовлены асфальтобетонные смеси при нагреве минерального материала до 120, 150, 180 °С. Длительная водостойкость образцов с низкотемпературным компаундом по сравнению с использованием высокотемпературного возрастает соответственно на 49, 38, 18 %.

Отмеченная энергетическая активация компаунда объяснима механическим разрывом ковалентных связей с последующим активным взаимодействием образовавшихся свободных радикалов с минеральным материалом. Эффект адгезионной активации компаунда следует использовать в условиях вязкопластичного состояния смешиваемых компонентов и немедленном объединении с минеральным материалом. С повышением температуры приготовления компаунда до 90 °С и более интенсивность увеличения парамагнетизма и адгезии падает, так как вязкость снижается, и облегчаются сближение и рекомбинация ПЦ.

Расширенные исследования непосредственной механоактивации битумов марок БНД и БН 60/90 в различных температурных и сдвиговых условиях позволили установить оптимальные условия, приемлемые на производстве асфальтобетонных смесей: скорость сдвига в битумной среде не менее 2 м/с, температура не выше 120 °С [14]. Понижение температуры до 70 °С и увеличение скорости сдвиговых деформаций битума усиливают положительный эффект механоактивации. В качестве механоактиватора рекомендован высокоскоростной шнек, устанавливаемый между дозатором битума и смесительным агрегатом. Производственные испытания отмеченной механоактивации битума при 120 °С, упрощающей подачу его в смеситель, и скорости сдвига

 $2\,\mathrm{m/c}$  по результатам опытного строительства дорожного покрытия подтвердили данные лабораторных исследований. При этом доказаны: повышенная длительная водостойкость, прочность при  $50\,^{\circ}\mathrm{C}$  асфальтобетона, экономия около  $10\,\%$  битума при возрастании его условной дисперсности за счет механоактивации.

Дальнейшее исследование следует направить на уточнение условий предельно высокой эффективности механоактивации битума, изучение интенсивности его термоокислительного старения в свободном состоянии и в асфальтобетоне. Немаловажное значение имеет выяснение влияния высокоскоростной шнековой механоактивации полимербитумных, серобитумных и других композиций на их однородность, реологические и другие свойства.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. М.: Транспорт, 1973. 261 с.
- 2. *Романов С.И*. Физико-химические основы технологии нефтяного битума и асфальтобетона: учеб. пособие. Волгоград, 1998. 86 с.
- 3. *Лескин А.И*. Улучшение качества дорожного вязкого нефтяного битума на стадии его производства при снижении температуры окисления : автореф. дис. канд. техн. наук. Волгоград, 2006. 18 с.
  - 4. СНиП 3.06.03—85. Автомобильные дороги. М., 1986. С. 50.
- 5. Сюняев З.И., Сюпяева Р.З, Сафиевав Р.З. Нефтяные дисперсные системы. М.: Химия, 1990. С. 71—119
- 6. Унгер  $\Phi$ . $\Gamma$ ., Андреева Л.H. Парамагнетизм нефтяных дисперсных систем и природа асфальтенов. Томск, 1986. 29 с.
- 7. Flinn R.A., Beuther H., Schuid B.K. How You Can Improve Residue // Treating Petroleum Refiner. 1961. V. 40, N 4. P. 139—144.
- 8. Исследование структуры нефтяных асфальтенов и продуктов их озонолиза / В.Ф. Камьянов, В.С. Елисеев, Ю.Г. Кряжев и др. // Нефтехимия. 1978. Т. 18. № 1. С. 138—144.
- 9. Yen T.F., Erdman J.G., Pollack S.S. Investigation of the structure of petroleum asphaltenes by X-ray diffraction // Anal. Chan. 1961. 33 (11). P. 1587—1594.
- 10. О явлениях парамагнетизма в дорожных битумах / Ю.Г. Пархаменко, В.А. Золотарев, Г.М. Мищенко, Н.Н. Пафомов // Тр. Союздорнии. 1971. Вып. 50. С. 93—97.
- 11. *Романов С.И., Екатеринин В.В.* Влияние парамагнетизма нефтяных битумов на их структурные особенности // Парамагнитный резонанс 1944—1969 : Всесоюз. конф., Казань, 1969 / АН СССР. 1971. С. 287—291.
- 12. Унгер Ф.Г., Андреева Л.Н. Изменение структуры нефтяных дисперсных систем в различных условиях. Препринт № 19. Томск, 1987. 39 с.
- 13. Применение метода ЭПР к анализу парамагнетизма в нефтях и нефтепродуктах / Ф.Г. Унгер, Д.Ф. Варфоломеев, Л.Н. Андреева, В.Н. Гордеев // Методы исследования состава органических соединений нефти и битумоидов. М.: Наука, 1985. С. 181—197.
- 14. *Пронин С.А*. Обоснование температурного и сдвигового режимов механоактивации битума для улучшения качества асфальтобетонов : автореф. дис. канд. техн. наук. Волгоград, 2003. 23 с.

© Романов С.И., Лескин А.И., Пронин С.А., Гофман Д.И., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 621.384.649:539.172.2

### И.В. Стефаненко

### УСТАНОВКИ С УСКОРИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ РАДОНА И ТОРОНА

Предложена установка с ускорителем электронов в индивидуальной защите для отвердения лакокрасочных покрытий на пленках и отдельных плитках. Установка обеспечивает производительность более  $1 \, \text{млн M}^2$ /год.

Ключевые слова: ускорители электронов, защитные материалы, радон, торон.

We suggest facility with electron accelerator in individual prostration for curing of paint coating on films and building materials. The facility provides the productivity more than a million square meters annually.

K e y w o r d s: electron accelerator, protective materials, radon, thoron.

Крупным вкладом в решение задач стройиндустрии может быть внедрение радиационной технологии отверждения лакокрасочных покрытий на поверхности различных отделочных материалов.

Защитными материалами от радона и дочерних продуктов его распада являются тонкие пленки, отделочные плиты, обладающие высокой плотностью и недоступностью проникновения газа через них. Поэтому для производства таких материалов разработаны технологии использования ускорителей электронов, отверждающие пленки лаковых покрытий.

Установки состоят из следующих основных узлов (рис. 1): ускорителя электронов с системой разведки и вывода пучка в атмосферу; местной биологической защиты; технологической части; системы контроля и управления; системы обеспечения. Основные параметры приведены в таблице.

Наименование параметра	Характеристика параметра	Примечание
1. Ускоряющее напряжение	Постоянное 200700 кв	Регулировка с пульта — плавная
2. Ток ускоренных электронов	010 мА	
3. Нестабильность ускоряющего напряжения	±2 %	
4. Нестабильность тока пучка	±2 %	
5. Развертка пучка	Электромагнитная с час- тотой 50 Гц	
6. Размеры развернутого пучка электронов на выходе в атмосферу	1000×20 мм <sup>2</sup>	При угле откло- нения $\pm 20^\circ$
7. Неравномерность по дозе в динамическом режиме	±3,5 %	На ширине 800 мм
8. Питание	Сеть $3 \times 380 \text{ B}; f = 50 \Gamma$ ц	
9. Потребляемая мощность	~40 кВт	
10. Расход проточной воды	25 л/мин	
11. Габариты	2×1,7×7,8 м <sup>3</sup>	
12. Macca	16 т	

Основные узлы ускорителя: источник высокого напряжения, ускорительная трубка с электронной пушкой и системой ее питания, фокусирующая катушка, раструб с выпускным окном, электромагнитное развертывающее устройство и вакуумная система. Питание источника высокого напряжения производится на частоте 400 Гц от машинного преобразователя.

Источник высокого напряжения, ускорительная трубка с электронной пушкой и системой ее питания, а также фокусирующая система размещены в заземленном металлическом баке, изоляция от которого выполнена в виде гильзы из пленочного полиэтилена. Бак заполнен трансформаторным маслом. Развертка пучка в полосу осуществляется пилообразным током с частотой 50  $\Gamma$ ц. Развертывающий электромагнит установлен снаружи раструба. Максимальный угол отклонения электронов составляет  $\pm 20^{\circ}$ , при этом на выходе из раструба пучок смещается на  $\pm 500$  мм от центрального положения. Вывод электронов в атмосферу осуществляется через металлическую фольгу, которая вакуумно-плотно закрывает выпускное окно раструба. В конструкции предусмотрена возможность юстировки выпускного окна относительно местоположения пучка.

Вакуумная система ускорителя состоит из диффузионного масляного насоса с полупроводниковой ловушкой и механическим форнасосом. Во время работы установки она обеспечивает вакуум  $(1...2)10^{-6}$ .

Конструкция ускорителя позволяет производить смену ускорительной трубки без разборки основных узлов и слива масла.

Для защиты обслуживающего персонала от воздействия тормозного излучения установлена стальная защита. Используется стальной каркас с двойными стенками, пространство между которыми залито свинцом. Одновременно каркас является несущей конструкцией ускорителя, системы развертки и вывода пучка. Доступ к узлам, находящимся внутри защиты, при оперативном обслуживании установки обеспечивается местными открывающимися люками и частью установки с собственной защитой. Как показали измерения, в любой точке на поверхности установки мощность дозы не превышает 0,8 мкР/с, что соответствует санитарно-техническим нормам.

Схема технологического оборудования, используемого для производства изделий, приведена на рис. 1. Все оборудование представляет собой транспортер в местной защите с защитными шторками.

Управление работой установки осуществляется с пульта, на котором расположены органы управления ускорителем и технологическим оборудованием, система контроля за параметрами ускорителя с записями на ленту самописца основных его параметров (тока и энергии), система контроля радиационной дозы и вакуума. На установке предусмотрена система блокировок, обеспечивающая ее отключение и безопасность обслуживающего персонала в аварийных режимах. В эту систему входят блокировки:

по защите (система конечных выключателей в разъемных местах конструкции защиты);

дозконтролю (при превышении предельно допустимой дозы, равной 0,8 мкР/с);

вакууму (при вакууме  $1{,}10^{-4}$  торр ускоритель не включается, работающий ускоритель при ухудшении вакуума до  $7{,}10^{-5}$  торр автоматически выключается);

#### вентиляции;

питанию электромагнита развертки, катода электронной пушки и источника высокого напряжения.

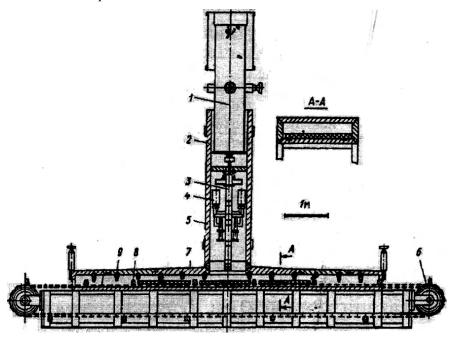


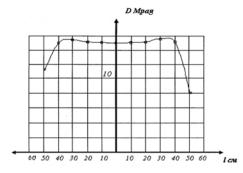
Рис. 1. Установка с ускорителем электронов: I — высоковольтный трансформатор; 2 — стальная защита от излучения; 3 — узел развертки пучка; 4 — вакуумные насосы; 5 — входная дверь к системе развертки; 6 — транспортер; 7 — защита транспортера; 8, 9 — защитные шаберы

Система обеспечения электропитания включает в себя электропитание, вентиляцию и водоснабжение.

Установка питается от промышленной сети  $3 \times 380$  в. Общая мощность, потребляемая установкой, составляет около 40 кВт. Вытяжная вентиляция производительностью 300 л/мин предназначена для удаления газов из зоны облучения. Охлаждение ускорителя, диффузионного масляного насоса, термоловушки и выпускного раструба осуществляется водопроводной водой. Расход воды составляет до 25 л/мин.

При наладке и эксплуатации на установке было получено максимальное ускоряющее напряжение  $800~\mathrm{kB}$  и максимальный ток пучка  $10~\mathrm{mn}$ . Проведены продолжительные испытания установки в течение  $24~\mathrm{v}$  непрерывной работы. По результатам испытаний были определены нестабильности ускоряющего напряжения и тока пучка ( $\Delta U = \pm 2~\mathrm{w}$  и  $\Delta I = \pm 2~\mathrm{w}$ ). Кроме того, были определены параметры развернутого пучка электронов. На рис. 2 показано распределение дозы по длине развертки в динамическом режиме; расхождение пучка в атмосфере при прохождении его от фольги до облучаемого материала незначительно, что дает возможность определить суммарную дозу, поглощаемую им. Энергия ускоренных электронов при входе их в материал и допустимая толщина облучаемого материала определялись по длине пробега электронов в триацетатной пленке (рис. 3).

После отработки технологического процесса установка была запущена в эксплуатацию, и на ней получена партия материала. На основании полученных данных была проведена оценка производительности установки, которая составляет около  $5\cdot 10^5$  м $^2$  в год при трехсменной работе.



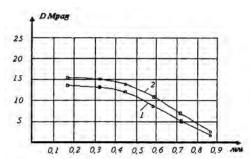


Рис. 2. Распределение дозы по длине развертки на материале (расстояние от фольги до материала 70 мм)

Рис. 3. Распределение дозы по глубине триацетатной пленки (плотность  $\rho=1,25$ ): I — в центре материала; 2 — на расстоянии 30 см от края материала

Опытная эксплуатация установки показала возможность создания радиационно-химических установок в местной биологической защите, которые могут быть использованы для производства материалов радиационно-химическим способом на существующих промышленных предприятиях без дополнительных затрат на строительство специальных участков и цехов. Такие установки просты в эксплуатации и безопасны в обслуживании, они позволяют контролировать работу технологического оборудования и находиться непосредственно около него при облучении материала.

Получение материалов радиационно-химическим методом позволяет избавиться от присадок, отсутствие которых значительно улучшает свойства материала. Производительность данной установки на существующих лаках превышает более  $1\,\mathrm{mnh}\ \mathrm{m}^2/\mathrm{rog}$ .

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Высокие технологии с использованием источников ионизирующих излучений в промышленности / Ю.Д. Козлов, И.В. Стефаненко, С.С. Ермолаев и др. М. : Энергоатомиздат, 2006. 714 с.
- 2. Козлов Ю.Д., Путилов А.В. Основы радиационной технологии в производстве строительных материалов. М.: Руда и металлы, 2001.
- 3. Ядерная энергетика и промышленность : доклады IV Междунар. конф., Обнинск, 25—29 июня 2000 г. Ядерное общество, 2000.
- 4. Козлов Ю.Д., Путилов A.B. Технология использования ускорителей заряженных частиц в индустрии, медицине и сельском хозяйстве. M.: Энергоатомиздат, 1997.
- 5. Козлов Ю.Д. Радиационно-химическая технология в производстве строительных материалов и изделий. М.: Энергоатомиздат, 1989.
- 6. Борисов Е.А., Райчук Ф.З., Ширяева Г.В. Технология радиационно-химического производства бетоно-полимерных и древесно-пластмассовых материалов. М. : Энергоатомиздат, 1982. (Сер. РХТ. Вып. 12).

© Стефаненко И.В., 2010

Поступила в редакцию в апреле 2010 г.

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

УДК 331.41-69

### Л.В. Масюкова

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ КАК ВАЖНЕЙШИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Предложен системный подход к профилактической работе по улучшению условий труда в строительстве, основанный на непрерывном и эффективном контроле и оценке действий по улучшению, совершенствованию и развитию прогнозирования состояния производственной среды.

K л ю ч е в ы е с л о в а: охрана труда, строительство, аттестация рабочих мест, прогнозирование, профессиональный риск.

The modern industrial environment at the enterprises in the building industry is characterised by high degree of use of the means representing danger to workers.

These are works at various levels of height, constant moving on working zones, performance of tasks in dangerous zones, and it is all it is aggravated in addition with influence of climatic factors (a rain, a wind, snow, negative temperatures, an icing of elements of designs), noise, vibration from the working equipment, a dust content and a gassed condition of air of a working zone.

Keywords: labour safety, building, certification of workplaces, forecasting, professional risk.

Существенную роль в формировании государственной политики в области охраны труда в странах с рыночной экономикой определяют конвенции и рекомендации Международной организации труда (МОТ), определяющие наиболее важные вопросы социальной защиты работников в процессе труда.

Прошедший 2009 г. был отмечен 90-летием со дня образования Международной организации труда. Российская Федерация, являясь членом МОТ с 1954 г., поддерживает проекты МОТ и принимает участие в их реализации.

«Сегодня главная цель МОТ — создавать для мужчин и женщин возможности достойного и производительного труда в условиях свободы, равенства, социальных гарантий и уважения человеческого достоинства»,— отметил Генеральный директор МОТ Хуан Сомавия.

Для достижения этой цели, как предусмотрено в Конвенции МОТ от 11.08.1983 г. № 155 «О безопасности и гигиене труда и производственной среде», для всех работников в мире независимо от возраста, пола, национальности, профессии, вида занятости, размера и месторасположения предприятия должны быть обеспечены здоровые и безопасные условия труда и доступ к службам охраны труда [1].

Системный подход к управлению охраной труда в организации в форме, установленной в документе МОТ СУОТ 2001 «Руководство по системам управления охраной труда», является основой для непрерывного совершенствования, формирования и поддержания профилактических мероприятий по оптимизации опасностей и рисков. Профилактическая работа основывается на непрерывном и эффективном контроле и оценке действий по улучшению, совершенствованию и развитию системы управления охраной труда.

Для реализации рекомендаций МОТ в Российской Федерации с 01.07.2009 г. введен в действие в качестве национального стандарта ГОСТ 12.0.230—2007 (ILO-OSH 2001, IDT), а с 01.07.2010 г. вводится в действие ГОСТ 12.0.007—2009 «ССБТ. Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию» [2], которые позволяют использовать международный опыт обеспечения охраны труда в организациях России, а также реализовать положения Трудового кодекса и Конвенции МОТ № 187 «Об основах содействия передовой организации охраны труда на национальном уровне».

Особое внимание уделяется МОТ предотвращению несчастных случаев и ухудшения состояния здоровья в строительной промышленности — крупном источнике рабочих мест во многих регионах мира. Этот сектор экономики ассоциируется со значительно более высоким уровнем травматизма и заболеваемости по сравнению со многими другими секторами [1].

В нашей стране строительство также относится к наиболее травмоопасному виду экономической деятельности, за последние пять лет на строительных площадках страны погибли 25,6 тыс. человек.

При этом по данным Росстата, продолжается увеличение удельного числа работающих, занятых в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам, составившего в строительстве на конец 2008 г. 14,6 % (в 2007 г. было 14 %), что дополнительно способствует росту числа профессиональных заболеваний работающих.

Трудовой кодекс РФ, принятый в 2001 г., по оценке экспертов МОТ, не противоречит международным трудовым стандартам, а базовым принципом государственной политики Российской Федерации в области охраны труда является обеспечение приоритета сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.

Проблема состояния производственной среды в строительной отрасли, а именно создания здоровых и безопасных условий труда становится все более очевидной. Специфика этой отрасли требует особого подхода к охране труда [3].

Нормативной основой для создания системы управления охраной труда в строительной организации (СУОТ) является документация СУОТ, разрабатываемая в организации на основе государственных нормативных требований охраны труда, содержащихся в законодательных и иных нормативных правовых актах РФ. Анализ требований свидетельствует о том, что порядок разработки и реализации документации СУОТ действующими нормативными актами в настоящее время определен недостаточно четко [4].

Жизненно необходимы профессиональное управление, прогнозирование, планирование и координация через систему управления охраной труда (СУОТ).

Основные элементы системы управления охраной труда в строительстве можно представить в виде схемы (рис. 1).

Одним из важнейших «инструментов» решения проблемы по управлению профессиональными рисками, непростой во всех отношениях, является в РФ аттестация рабочих мест (APM) по условиям труда.

Процедура APM по условиям труда определена ст. 212 Трудового кодекса РФ как одна из обязанностей работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда [5].

Порядок проведения APM по условиям труда (далее APM) утвержден Приказом Министерства здравоохранения и социального развития  $P\Phi$  от 31.08.2007 г. № 569, введен в действие с 01.09.2008 г.

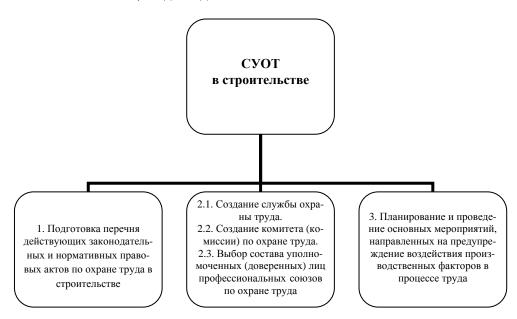


Рис. 1. Элементы создания СУОТ в строительстве

АРМ по условиям труда как установленная нормативными актами процедура является основным средством для получения объективной оценки состояния условий труда работников, занятых на работах с опасными и вредными условиями труда [6].

АРМ по условиям труда предполагает проведение оценки условий труда на рабочих местах в целях выявления вредных и (или) опасных производственных факторов и осуществление мероприятий по приведению условий труда в соответствие с государственными нормативными требованиями охраны труда.

Результаты АРМ по условиям труда используются в целях:

контроля состояния условий труда на рабочих местах и правильности обеспечения работников сертифицированными средствами индивидуальной и коллективной защиты;

оценки профессионального риска как вероятности повреждения (утраты) здоровья или смерти работника, связанной с исполнением им обязанностей по трудовому договору и в иных установленных законодательством случаях;

контроля и управления профессиональным риском, которые предполагают проведение анализа и оценки состояния здоровья работника в причинно-следственной связи с условиями труда;

информирование о риске субъектов трудового права;

контроль динамики показателей риска;

проведение мероприятий по снижению вероятности повреждения здоровья работников.

Фактическое состояние условий труда на рабочем месте определяется на основании оценок:

по классу и степени вредности и (или) опасности факторов производственной среды и трудового процесса;

по классу условий труда по травмобезопасности;

по обеспеченности работников средствами индивидуальной защиты [7].

Практика показывает, что любая деятельность потенциально опасна и достичь абсолютной безопасности нельзя даже в тех производствах, где внедрены передовая технология, современное оборудование, высокая культура и качественное медицинское обслуживание.

Тем более это недостижимо в строительстве с учетом условий экономического кризиса, отсталой технологии и устаревшего оборудования. Однако это вовсе не означает, что для сохранения своей жизни и здоровья нужно отказаться от трудовой деятельности. Для решения проблем в производственной среде строительства назрела настоятельная необходимость пересмотра подходов к организации и управлению охраной труда, чтобы минимизировать возникающие опасности, снизить уровень негативных факторов производственной среды до нормативных значений.

Практическим инструментом содействия организациям и компетентным учреждениям в осуществлении непрерывного совершенствования деятельности по безопасности и гигиене труда являются ГОСТ 12.0.230—2007 «ССБТ. Системы управления охраной труда. Общие требования», ГОСТ 12.0.007—2009 «ССБТ. Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию» и конкретно для строительной отрасли МДС 12-35.2007 «Методическое пособие по разработке распорядительной и регламентной документации Системы управления охраной труда строительной организации», разработанные на основе требований к системам управления охраной труда (МОТ) в соответствии с общепризнанными международными принципами на основе широкомасштабного подхода.

Современные системы управления охраной труда реализуют так называемый терминальный метод, который в частности:

предусматривает планирование целей, задач процесса и реализацию управления по отклонениям от исходно заданной цели;

предоставляет системе управления большую свободу в выборе путей достижения желаемого результата процесса (при соблюдении определенных ограничений);

позволяет достичь оптимальных результатов функционирования системы даже в условиях появления случайных рисков;

предъявляет высокие исходные требования к условиям функционирования системы управления (прежде всего к интеллектуальным ресурсам).

Общим фундаментальным принципом построения современных систем управления охраной труда в строительстве является управление измеримыми параметрами процесса с целью получения запланированного результата.

Строгое соблюдение требований общепризнанных стандартов системы безопасности труда позволяет с наименьшими затратами получить решение в области охраны труда.

Аттестация рабочих мест по условиям труда позволяет выявить конкретные несоответствия параметров производственной среды и является первым этапом на пути создания здоровых и безопасных условий труда для работников строительных организаций.

Прогнозирование параметров состояния производственной среды с учетом результатов аттестации рабочих мест по условиям труда является главной составляющей системы управления охраной труда в организации.

Прогнозы, как известно, строятся с помощью математических моделей, основанных на использовании вероятностных характеристик частоты неблагоприятных реакций, которые должны отражать влияние всего спектра воздействующих факторов.

Поэтому в каждой строительной организации должна планироваться и фактически проводится реальная работа по устранению выявленных несоответствий санитарно-гигиеническим нормам, правилам безопасности и выдачи средств индивидуальной защиты работающих, определенных результатами аттестации рабочих мест по условиям труда.

Хочется отметить АРМ как всеобъемлющую и тщательно проработанную процедуру, аналога которой нет ни в одной стране мира, поэтому предлагается использовать эти уникальные результаты комплексной оценки рабочих мест в качестве основной базы, руководства для прогнозирования параметров производственной среды и оценки профессиональных рисков.

По общему определению прогнозирование — это система количественных и качественных предплановых изысканий, направленных на выяснение возможного будущего состояния и результатов деятельности организации в перспективе.

К количественным характеристикам можно отнести гигиеническую оценку условий труда, к качественным характеристикам — оценку травмобезопасности и обеспеченности работников средствами индивидуальной защиты по результатам аттестации рабочих мест. Поэтому процедуру процесса прогнозирования условий труда в строительстве можно представить в виде схемы (рис. 2).

Использование результатов APM по условиям труда впервые дает возможность количественно оценить масштабы скрытого повреждения здоровья вредными условиями труда, трудового процесса и показывает настоятельную необходимость смещения приоритетов в сфере охраны труда в область оценки и управления профессиональными рисками. Поскольку скрытое повреждение здоровья не является страховым событием, как травма или профессиональное заболевание, действующая страховая практика в этом случае не предусматривает адресной компенсации, однако этот вид риска наносит социальный ущерб на предприятиях строительной индустрии [8].

Системный подход к профилактической работе по улучшению условий труда в строительстве должен основываться на непрерывном и эффективном контроле и оценке действий по улучшению, совершенствованию и развитию прогнозирования состояния производственной среды.

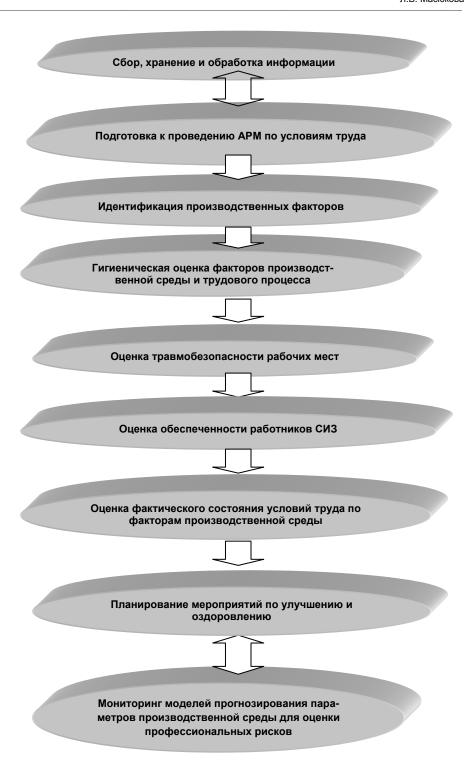


Рис. 2. Процесс прогнозирования условий труда в строительстве

А прогнозирование параметров состояния производственной среды является эффективным инструментом при оценке профессиональных рисков на предприятиях строительной индустрии, что позволяет обеспечить выполнение принципа непрерывного совершенствования безопасности и улучшения условий труда в организациях.

Ст. 37 Конституции РФ гарантирует каждому право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены [9], а ст. 212 ТК РФ определяет ответственность работодателя за обеспечение безопасных условий и охраны труда [5], поэтому применение прогнозирования параметров состояния производственной среды для оценки профессиональных рисков состоит не просто в нахождении наиболее точных параметров для различных факторов в будущем, а в представлении целостной картины различных возможностей и тенденций развития процессов по обеспечению безопасных и здоровых условий труда, снижению производственного травматизма на предприятиях строительной индустрии.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Предотвращение производственного травматизма и профессиональной заболеваемости: глобальная стратегия : доклад МОТ к Всемирному дню охраны труда. 2005 (раздел Строительная промышленность).
- 2. ГОСТ 12.0.007—2009 «ССБТ. Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию». М. : Стандартинформ, 2009.
- 3. Доклад Министерства здравоохранения и социального развития РФ «О реализации государственной политики в области охраны труда в Российской Федерации в 2008 году» // Официальный сайт Минздравсоцразвития России. http://www.minzdravsoc.ru/labour/safety/10.
- 4. Методические документы в строительстве. МДС 12-35.2007 «Методическое пособие по разработке распорядительной и регламентной документации Системы управления охраной труда строительной организации».
- 5. Трудовой кодекс РФ (Федеральный закон от 30.12.01 № 197-Ф3. с изменениями на 01.01.2010 г.).
- 6. СП 12-133—2000 «Свод правил по проектированию и строительству. Безопасность труда в строительстве. Положение о порядке аттестации рабочих мест по условиям труда в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве»: принят и введен в действие постановлением Госстроя России от 31.03.2000 г. № 26 по согласованию с Минтрудом России (письмо от 13.03.2000г № 187-8).
- 7. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 31.08.2007 г. № 569 «Порядок проведения аттестации рабочих мест по условиям труда». http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=73028.
- 8. *Ветошкин А.Г., Разживина Г.П.* Безопасность жизнедеятельности: Оценка производственной безопасности. Пенза: Изд-во Пензен. гос. архит.-строит. академии, 2002.
- 9. Конституция Российской Федерации : принята всенародным голосованием 12.12.1993 г. (с учетом поправок, внесенных законами Российской Федерации о поправках к Конституции Российской Федерации от 30.12.2008 № 6-ФКЗ и от 30.12.2008 № 7-ФКЗ).

© Масюкова Л.В., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

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

УДК 691.175

### Г.Я. Чернобровкин, И.А. Ефанова

# ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ СЕРОПОЛИМЕРБЕТОНОВ

Приведено описание технологии изготовления изделий из серополимербетонов двумя способами: «сухим» и «мокрым». При этом одновременно решаются технологические и экологические задачи. Рекомендованы оптимальные параметры получения серополимербетона.

Ключевые слова: сера, бетон, серополимербетон, нанотехнологии.

In this article the technologies of sulpho-polymer-impregnated concrete products manufacturing by two ways: "dry" and "wet" are presented. Furthermore both technological and ecological problems are solved. The optimal parameters of sulpho -polymer-impregnated concrete preparation are recommended.

K e y w o r d s: sulphur, concrete, sulpho-polymer-impregnated concrete, nanotechnologies.

Нанотехнологии позволяют получить принципиально новые устройства и материалы с характеристиками, значительно превосходящими их современный уровень, что очень важно для интенсификации развития многих областей техники, биотехнологии, медицины, охраны окружающей среды и т.д.

Нанотехнология — совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты размерами менее 100 нм, имеющие принципиально новые качества и позволяющие их интеграцию в полноценно функционирующие системы большого масштаба (строительные материалы) [1].

Одним из перспективных способов повышения долговечности строительных изделий и конструкций является пропитка расплавом серы [2—5]. Уникальные свойства серы, способность к быстрому набору прочности при остывании расплава определяют возможность создания энергосберегающих технологий серных строительных материалов, производство которых в настоящее время интенсивно развивается.

Долгое время серьезным препятствием широкому применению серы были ее относительно высокая стоимость и дефицит. Однако в настоящее время во многих промышленно развитых странах в связи с высоким выходом серы как побочного продукта ряда производств наблюдается устойчивая тенденция к снижению ее стоимости (в течение последних лет стоимость серы снизилась в 4—6 раз).

В настоящее время в технологии изготовления серополимербетонных изделий разработаны два способа: «сухой» и «мокрый».

Технология изготовления изделий по обоим способам включает операции подготовки серы и приготовления расплава заданной температуры. При подаче серы на технологическую линию в твердом состоянии расплав готовят в специальном плавителе небольшого объема с последующим сливом в камеру пропитки или специальную емкость, имеющую теплоизоляцию и оборудованную нагревательной системой. При «сухом» способе обязательной операцией является сушка изделий перед пропиткой. Удаление влаги из пор и капилляров бетона способствует заполнению порового пространства расплавом серы. Пропитка влажного бетона при температуре 150 °C сопровождается интенсивным испарением воды из порового пространства, что вызывает замедление процесса пропитки. Чем больше ее содержится в бетоне, тем ниже прочность серополимербетона [5]. Кроме того, сера в присутствии ионов щелочей и щелочноземельных элементов вступает в реакцию с водой с образованием тиосульфатов и полисульфидов, которые со временем превращаются в сульфаты, что приводит к разрушению бетона. Это подтверждается электронно-микроскопическими исследованиями, в результате которых установлено, что в случае неполного высушивания в бетоне образуются кристаллы сульфоалюминатов кальция. В образцах, высушенных до постоянной массы, последние не найдены.

Для удаления влаги из бетона используют искусственную сушку: контактную, конвективную, радиационную, токами высокой частоты или сочетающую эти способы. В настоящее время наибольшее распространение получил конвективный способ сушки в струе нагретого воздуха при 150 °С. При такой температуре процесс удаления воды из порового пространства материала протекает достаточно интенсивно, а деструктивные процессы в бетоне не оказывают существенного влияния на свойства серополимербетона. При назначении скорости подъема температуры в период разогрева изделий необходимо учитывать вид и состав бетона, а также массивность обрабатываемых изделий. Для мелкоразмерных изделий из тяжелого бетона интенсивность подъема температуры не должна превышать 1 °С/мин, а общая продолжительность разогрева должна составлять не менее 2 ч.

Значительное сокращение продолжительности обработки изделий можно достигнуть высокотемпературной сушкой при  $200...300\,^{\circ}\mathrm{C}\,$  или предварительным вакуумированием изделий. При этом более интенсивно и полно происходит обезвоживание цементного камня и соответственно обеспечивается более глубокая его пропитка. Изделия считаются высушенными, если в течение последующих двух часов сушки при заданном режиме масса их изменится не более чем на  $0,015\,$ %. Пропитку изделий производят при атмосферном давлении, в вакууме или при избыточном давлении. Возможно сочетание перечисленных режимов. Изделия погружают в расплав в нагретом состоянии непосредственно после сушки. Температура расплава поддерживается равной  $150\pm5\,^{\circ}\mathrm{C}$ .

При пропитке в вакууме в конструкции пропиточной камеры нежелательно применение электронагревателей (ТЕНов), так как при пониженном давлении в местах контакта расплава с их поверхностью возможно кипение и интенсивное образование паров серы. Продолжительность пропитки назначается с учетом требуемой глубины обработки изделий, состава бетона, его структуры, принятого режима и составляет 2...48 ч.

Предпочтительным является режим пропитки с предварительным вакуумированием высушенных изделий. При этом поры и капилляры бетона освобождаются от воздуха и паровоздушной смеси, что способствует значительному повышению скорости процесса пропитки и степени насыщения порового пространства серой. Вакуумирование изделий производят в герметичной камере пропитки, размеры и формы которой обеспечивают максимальное заполнение внутреннего объема изделиями, что позволяет свести к минимуму непроизводительную работу вакуумного насоса. При выборе типа насоса необходимо учитывать его производительность. Для вакуумирования мелкоразмерных и тонкостенных изделий целесообразно применять объемные вакуумные насосы. Оптимальная продолжительность вакуумирования определяется экспериментально по достижении равномерного разрежения по всему сечению изделия и зависит от структуры бетона, влажности, размеров изделия и заданного остаточного давления. С повышением плотности бетона продолжительность вакуумирования значительно возрастает. После окончания вакуумирования откачку воздуха прекращают и в камеру подают расплав серы. Учитывая перепад давлений в камере и емкости, подачу расплава можно осуществить самотеком. Пропитку целесообразнее вести при атмосферном давлении, которое по отношению к давлению в поровом пространстве бетона будет играть роль избыточного. В процессе пропитки уровень расплава в камере должен обеспечивать расчетный расход серы. Охлаждение изделий до температуры окружающей среды является завершающей операцией как при «сухом», так и «мокром» способах пропитки. Интенсивность охлаждения серополимербетонных изделий должна не превышать 1 °С/мин, а общая продолжительность охлаждения должна быть не менее 3 ч.

Значительная продолжительность процесса сушки при «сухом» способе пропитки обусловливает его повышенную энергоемкость. Так, по данным [3], удельные затраты тепла на сушку бетона до остаточной влажности 0,5 % составляют (в зависимости от вида пропитки) 80...90 % от общих энергозатрат. Необходимость применения специальных камер для сушки повышает общую стоимость технологического оборудования. Установлено, что при правильно подобранном температурном режиме под влиянием создаваемого в структуре бетона вакуума время пропитки влажного бетона увеличивается незначительно по сравнению с пропиткой в вакуумустановках. Увеличение эффективности пропитки бетона может быть достигнуто посредством варьирования температуры расплава серы [4]. Учитывая, что предварительная сушка усложняет технологию, авторами были проведены сопоставительные исследования пропитки бетона обоими способами. Исследовались бетоны на плотных и пористых заполнителях. Ниже приводятся результаты испытаний бетона на пористых заполнителях. Образцы из мелкозернистого бетона изготавливались размерами 4×4×16 см. После тепловлажностной обработки часть образцов была высушена при температуре 150 °C до постоянной массы и пропитана серой при температуре 150 ± 3 °C. Оставшиеся образцы с влажностью 15 % по массе погрузили в ванну, содержащую расплав серы, при температуре 185°C. Через 2...3 мин после погружения началось выделение водяного пара, которое продолжалось около двух часов. Прекращение выделения пузырьков свидетельствовало об окончании процесса сушки бетона. В этот момент из обеих ванн извлекали по девять образцов. После этого в ванне, в которой находились образцы, не подвергавшиеся предварительной сушке, температура расплава была снижена до 130  $^{\circ}$ C. Этим достигалось создание вакуума в порах и капиллярах бетона.

Пределы изменения температуры назначались исходя из следующих соображений. Нагрев серы выше 185 °C признан нецелесообразным как с точки зрения расхода энергии, так и возможности самовозгорания серы в местах примыкания расплава к стенкам ванны. Нижний предел — 130 °C — выбран с учетом характера изменения вязкости расплава серы в зависимости от его температуры. В момент достижения расплавом температуры 130 °C из обеих ванн извлекали по девять образцов. Дальнейшую пропитку во второй ванне проводили при 130 °C и через каждый час из обеих ванн извлекали по девять образцов.

Изучение образцов, пропитанных по «мокрому» способу, показало, что в начальный период, период испарения воды, расплав серы практически не проникал в поры и капилляры бетона. Прочность этих образцов мало отличалась от прочности контрольных, высушенных при  $150\,^{\circ}\mathrm{C}$ . Проникновение серы начиналось в период снижения температуры расплава и образования вакуума в поровом пространстве бетона.

После шести часов обработки образцы, пропитанные по обоим способам, поглотили одинаковое количество серы. При дальнейшем выдерживании в расплаве серы (до 9 ч) скорость пропитки сухих образцов уменьшалась по сравнению со скоростью пропитки образцов-близнецов, не подвергавшихся сушке, что нашло отражение и в прочностных показателях образцов. Это объясняется созданием вакуума в порах и капиллярах пропитываемого бетона вследствие принятого температурного режима. Достоверность этого факта была подтверждена следующим экспериментом. Две серии образцов-близнецов, предварительно высушенных и влажных, погрузили в расплав серы с температурой 185 °C на 3 ч. В течение последующих 1,5 ч температуру расплава снизили до 130 °C, и пропитку при этой температуре продолжали еще 4,5 ч. Испытание образцов показало практически одинаковую прочность как высушенных, так и влажных образцов.

Это позволило сделать вывод, что при пропитке тонкостенных изделий (толщиной до 10 см) из бетона на пористых заполнителях предварительная сушка может быть исключена из технологического процесса. Совмещение сушки с пропиткой в расплаве серы позволяет сократить общую продолжительность обработки и уменьшить расход энергии.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. *Шашпан Ж.А.* Применение нанотехнологий при производстве серных композиционных материалов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2009. № 2.
- 2. *Патуроев В.В., Волгушев А.Н., Красильникова О.М.* Пропитка бетонных образцов серой : Исследование бетонов с применением полимеров : сб. научн. тр. / под ред. В.В. Патуроева и И.Е. Путляена. М. : Стройиздат, 1980. С. 58—68.
- 3. *Маизин В.П.* Разработка технологии и изучение свойств бетонных изделий, пропитанных расплавом серы : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1983.
  - 4. Лебедев С.И. Бетон и сера // Строительная промышленность. 1986. № 10. С. 683—684.
- 5. *Орловский Ю.И*. Особенности технологии производства полимерсеробетонов и изделий на их основе // Бетон и железобетон. 1993. № 4. С. 27—29.

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

© Чернобровкин Г.Я., Ефанова И.А., 2010

УДК 625.855:620.9

### О.О. Мелихов

## СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ И СОХРАНЕНИЕ КАЧЕСТВА БИТУМА ПРИ ОБЕЗВОЖИВАНИИ

На основании результатов экспериментальных исследований и энергетического расчета даны рекомендации по снижению энергозатрат и сохранению качества битума при обезвоживании в котлах на АБЗ.

К лючевые слова: энергозатраты, качество, битум, обезвоживание, котел, асфальтобетонный завод.

The article, based on the results of experimental studies and power consumption analysis, are given recommendations for reducing energy consumption and preserve the quality of bitumen during dehydration in the boilers at asphalt plant.

K e y w o r d s: power inputs, quality, bitumen, dehydration, boiler, asphalt plant.

Почти на каждом АБЗ имеются запасы битума, необходимые для обеспечения бесперебойной работы в строительный сезон. При хранении битум обводняется. В ямных битумохранилищах обводнение достигает 7...10 % в основном за счет попадания в битум грунтовых и поверхностных ливневых вод [1]. В наземных хранилищах битум обводняется до 1...3 % за счет конденсата пара при сливе битума из железнодорожных цистерн, а также конденсата влаги из воздуха при перепадах температур, особенно в осенний, зимний и весенний периоды [2]. Поэтому битум, взятый из хранилищ для приготовления асфальтобетонной смеси, необходимо обезвоживать. Процесс обезвоживания энергоемкий [3] и приводит к снижению качества битума [4].

Традиционно для обезвоживания битума на АБЗ использовали битумоплавильные установки и котлы обезвоживания [5]. В ходе эксплуатации битумоплавильных установок было выявлено значительное снижение качества обезвоживаемого битума, что в совокупности с прочими недостатками повлияло на малое распространение этих установок.

В настоящее время битумоплавильные установки не эксплуатируются и битум на АБЗ обезвоживают в котлах. Котлы представляют собой горизонтальные цилиндрические емкости объемом до 30 т, с жаровыми трубами, масляными регистрами или электронагревателями. Обезвоживание битума в котлах осуществляется циклически. Длительность цикла обезвоживания с увеличением процентного содержания влаги в битуме возрастает и, например, при обезвоживании 10...12 т битума с обводненностью 7...10 % достигает 18...20 и более часов. При этом нагреватели в котле работают в непрерывном режиме, а активный выход паровых пузырьков из объема битума и их разрушение с выбросом пара в атмосферу начинается только при достижении битумом (БНД 60/90) температуры 110...115 °C [3]. При дальнейшем нагреве выпаривание влаги из битума интенсифицируется и продолжается до достижения битумом температуры 135...145 °C [3]. Большая длительность и высокая температура процесса обезвоживания приводят к значительным энергозатратам [3], которые обусловлены физическими свойствами битума:

его высокой вязкостью (при 100 °C составляет 1,3...8 Па·с) и малой теплопроводностью (0,11 ккал/м. ч. град), а также снижению качества битума [4], т. е. существенному сокращению срока службы битума в покрытии автомобильных дорог. Поэтому важно снизить энергозатраты и сохранить качество битума на этапе производства асфальтобетонной смеси.

Снизить энергозатраты и сохранить качество битума возможно путем подбора режима работы нагревателей при обезвоживании. С целью подбора оптимального режима работы нагревателей при обезвоживании, в Дортранс-НИИ РГСУ была создана с учетом критериев подобия (геометрического, температурных полей на границах, одинаковости значений определяющего критерия Gr (Грасгофа) при свободном движении жидкости) физическая модель котла, в которой осуществлялось выпаривание влаги из битума. В качестве прототипа физической модели был принят котел полезным объемом 28 т с габаритами, мм, без учета теплоизоляции: длина — 6000, диаметр — 2400. В целях удобства выполнения работ в лабораторных условиях с обеспечением заданных тепловых процессов выбран линейный масштабный фактор N = 15. При этом габариты модели, мм, (без учета теплоизоляции) составили: длина — 400, диаметр — 160. При уменьшении линейных габаритов образца в модели соответственно уменьшились в  $N^2 = 225$  раз площадь поверхности и в  $N^3 = 3~375$  раз объем. Для контроля и поддержания заданной температуры в физической модели была реализована система автоматического регулирования температуры, состоящая из двухканального измерителя-регулятора 2ТРМЩ1ТПР и термопар типа хромель — алюмель, установленных в центральной части модели.

При подборе оптимального режима работы нагревателей объем обезвоживаемого в физической модели котла битума оставался постоянным —  $0,003~{\rm M}^3$ , однако варьировались мощность нагревателей от 57 до 240 Вт и обводненность битума от 1 до 7 %.

Расчет энергозатрат на обезвоживание битума  $Q_{\text{сумм}}$ , ккал, в физической модели котла велся по следующей методике:

$$Q_{\text{CVMM}} = Q_{\text{G}} + Q_{\text{B}} + Q_{\text{Tap}} + Q_{\text{T}},$$

где 1)  $Q_{\rm 6}$  — затраты тепла на нагрев битума, ккал, определяющиеся по формуле

$$Q_{\delta} = m_{\delta} c_{\delta} (t_{\mathrm{K}} - t_{\mathrm{H}}),$$

где  $m_6$  — масса битума без влаги, кг;  $c_6 = 0.45$  ккал/(кг·  $^{\circ}$ С ) — удельная теплоемкость битума;  $t_{\rm k} = 150$   $^{\circ}$ С — конечная температура битума в котле обезвоживания;  $t_{\rm H} = 95$   $^{\circ}$ С — начальная температура битума в котле обезвоживания;

2)  $Q_{\rm\scriptscriptstyle B}$  — затраты тепла на нагрев воды, ккал, определяющиеся по формуле

$$Q_{\rm B} = m_{\rm B} c_{\rm B} \frac{\left(t_{\rm K} - t_{\rm H}\right)}{2},$$

где  $m_{\rm B}$  — масса воды, кг, варьируется в пределах от 1 до 7 %;  $c_{\rm B}$  = =1,0 ккал/(кг·  $^{\circ}$  С ) — удельная теплоемкость воды;  $(t_{\rm K}-t_{\rm H})/2=27,5$   $^{\circ}$  С — средняя температура, на которую догревается вода;

3)  $Q_{\text{пар}}$  — затраты тепла на парообразование, ккал, определяющиеся по формуле

$$Q_{\text{map}} = m_{\text{B}} r$$
,

где r = 535 ккал/кг — усредненная удельная теплота парообразования;

4)  $Q_{\rm n}$  — затраты тепла на компенсацию потерь в окружающую среду, ккал, определяющиеся по формуле

$$Q_{\Pi} = F_{\Pi K} \alpha (t_{\Pi K} - t_{\rm cp}) \tau ,$$

где  $F_{\rm пк}=0.24~{\rm m}^2$  — площадь поверхности физической модели котла обезвоживания;  $\alpha=4.5~{\rm kkan/(m^2\cdot v\cdot ^{\circ}C)}$  — коэффициент теплоотдачи от поверхности котла в атмосферу;  $t_{\rm пк}=70~{\rm ^{\circ}C}$  — температура наружной поверхности котла обезвоживания;  $t_{\rm cp}=25~{\rm ^{\circ}C}$  — средняя температура внешней среды;  $\tau$  — время обезвоживания битума в котле.

При этом первые три составляющих затрат тепла  $Q_6$ ,  $Q_{\rm B}$ ,  $Q_{\rm пар}$  при обезвоживании битума в котле не зависят от мощности используемых нагревателей. Затраты тепла на компенсацию потерь в окружающую среду  $Q_{\rm п}$  при прочих постоянных условиях зависят от времени обезвоживания, которое определяется скоростью нагрева битума, в данном случае мощностью используемых в котле нагревателей.

Затраты тепла на компенсацию потерь в окружающую среду  $Q_{\Pi}$  и суммарные энергозатраты  $Q_{\text{сумм}}$  на обезвоживание битума с различной обводненностью при использовании нагревателей разной мощности приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что при увеличении мощности используемых в котле нагревателей (в 2...4 раза), существенно сокращается время обезвоживания (в 3...6 раз) и значительно снижаются энергозатраты (в 2...3 раза), при этом эффект наибольшей экономии энергии достигается при обезвоживании битума с обводненностью 7 %.

Кроме того, при обезвоживании битума нагревателями с «высокой» мощностью минимизируется изменение исходного качества битума.

Изменение качества битума после обезвоживания в физической модели котла оценивалось по изменению его основных характеристик: глубины проникания иглы пенетрометра при 25 и 0  $^{\circ}$ C, температуры размягчения по «кольцу и шару» («КиШ») и температуры хрупкости по Фраасу в соответствии с [6] по сравнению с исходными (пенетрация при 25  $^{\circ}$ C — 82, 40, 1 мм, пенетрация при 0  $^{\circ}$ C — 23, 70, 1 мм, «КиШ» — 48,7  $^{\circ}$ C, температура хрупкости — –19,5  $^{\circ}$ C). Осредненные изменения основных характеристик битума после обезвоживания в физической модели котла при различных начальных условиях приведены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что увеличение мощности нагревателей в котле обезвоживания позволяет минимизировать изменения пенетрации при 25 и 0  $^{\circ}$ C на 4...10 %, температуры размягчения по «кольцу и шару» на 1...2 % и температуры хрупкости на 7...10 %, то есть сохранить качество битума на этапе обезвоживания.

Bывод. Увеличение мощности нагревателей в котлах обезвоживания на АБЗ в 2...4 раза позволит:

1) снизить энергозатраты на обезвоживание в 2...3 раза;

Таблица 1

Энергозатраты на обезвоживание битума в физической модели котла в зависимости от различных начальных условий

Обводненность биту- ма $W$ , %		1					5				7	
Мощность нагревателей $P$ , Вт	57	108	180	240	57	108	180	240	57	108	180	240
$m_6$ , KI		2,97	26			2	2,85			2,	2,79	
$Q_6$ , ккал		73,51	51			)/	70,54			69	69,05	
$m_{ m B}$ , K $\Gamma$		0,03	)3			0	0,15			0,	0,21	
$Q_{\scriptscriptstyle  m B}$ , ккал		0,83	33			4	4,13			5,	5,78	
$Q_{ m nap}$ , ккал		16,	16,05			)8	80,25			113	112,35	
т, т	10	2,9	2,0	1,8	14	4,6	3,0	2,1	19	0,9	3,6	2,7
$Q_{ m n}$ , ккал	378,00	109,62	75,60	68,04	529,20	173,88	113,40	79,38	718,20	226,80	136,08	102,06
$Q_{ ext{cvm}}$ , KKaJI	468,39	200,01	165,99	158,43	684,12	328,80	268,32	234,30	905,38	413,98	323,26	289,24
$Q_{ ext{cymm}}, \mathbf{Br}$	544,64	232,57	232,57   193,01   184,22	184,22	795,49   382,33	382,33	312,00	272,44	1052,76	481,37 375,88	375,88	336,32

Примечание с и в ние. Время работы нагревателей меньше времени обезвоживания, что связанно с их отключением системой автоматики при достижении битумом в котле температуры 150 °C. Таблица 2

Изменение основных характеристик битума при обезвоживании в физической модели котла в зависимости от различных начальных условий

		Харак	стеристи	ки битум	та после	арактеристики битума после обезвоживания	вания					
Обводненность битума W, %		1				5					7	
Мощность нагревателей $P$ , Вт	23	108	081	240	22	108	180	240	27	108	180	240
Время обезвоживания т, ч	10	2,9	2,0	1,8	14	4,6	3,0	2,1	19	6,0	3,6	2,7
Пенетрация при 25 °C 0,1 мм	79,2	80	82	82,2	78,1	79,3	80,6	82	77,4	78,2	78,4	80,7
Пенетрация при 0 °C 0,1 мм	22,2	22,4	23,3	23,6	21,9	22,2	22,7	23,5	20,6	21	21,8	22,7
KuIII, °C	49,1	48,9	48,9	48,7	49,3	49,1	46	48,7	49,7	49,5	49,1	48,8
Температуры хрупкости, °C	-18,3	-18,8	-19,0	-19,2	-17,8	-18,4	-18,8	-19,1	-17,2	-17,9	-18,5	-18,9

- 2) сохранить качество битума при обезвоживании, что увеличит срок службы битума в покрытии автомобильных дорог;
  - 3) сократить время обезвоживания битума в 3...6 раз.

Предлагаемый способ снижения энергозатрат и сохранения качества битума при обезвоживании битума путем установки нагревателей «высокой» мощности в котлах прост в исполнении и может быть внедрен силами работников АБЗ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Никулин Ю.Я., Сукиязов. А.Г., Мелихов О.О. Установка обезвоживания вязких жидкостей // Строительство 2008 : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д : РГСУ, 2008. С. 22—23.
- 2. Никулин Ю.Я., Мелихов О.О. СВЧ-обезвоживание для наземных битумохранилищ // Строительство 2008 : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д : РГСУ, 2008. С. 20—21
- 3. *Мелихов О.О.* Минимизация энергозатрат при обезвоживании битума на АБЗ // Известия ОрёлГТУ. Серия «Строительство и реконструкция». 2009 (июль август) № 4/24 (572). С. 65—70
- 4. *Илиополов С.К., Мелихов. О.О.* Влияние обезвоживания на качество битума // Строительство-2009 : материалы Юбилейной междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д : РГСУ, 2009. С. 40—41.
- 5. Андросов А.А., Засов И.А., Зеличенок Г.Г. Асфальтобетонные заводы. М. : Транспорт, 1986. 273 с.
- 6. Органические вяжущие для дорожного строительства : учеб. пособие для вузов по спец. «Автомобильные дороги и аэродромы» / С.К. Илиополов, И.В. Мардиросова, Е.В. Углова, О.К. Безродный. Ростов н/Д : Юг, 2003. 428 с.

© Мелихов О.О., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 699.86

### Н.Н. Осипова

# ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИКИ СТОИМОСТИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Приведено экономическое обоснование дополнительного увеличения уровня тепловой защиты ограждающих конструкций зданий с учетом динамики стоимости энергетических ресурсов по сравнению с рекомендуемыми значениями современной нормативной литературы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: термическое сопротивление, приведенные затраты в систему обеспечения теплового режима помещения, топливно-энергетические ресурсы.

This article provides an economic justification for further increasing the level of thermal protection enclosing structures of building, taking into account the dynamic of the cost of energy compared with recommended values of the modern regulatory literature.

K e y w o r d s: thermal resistance, reduced expenditures in the system for ensuring thermal regime of space, fuel and energy resources.

Более трети топливно-энергетических ресурсов страны потребляется системами теплоснабжения зданий. В этой связи снижение теплопотерь через ограждающие конструкции зданий за счет повышения уровня их тепловой защиты является важным резервом энергосбережения.

В существующей проектной практике требуемое термическое сопротивление строительных ограждений из условия энергосбережения  $R_{0,3/c}^{\rm Tp}$  принимается по [1] в зависимости от числа градусо-суток отопительного периода. Следует отметить, однако, что указанные нормативы носят директивный характер и не учитывают в должной мере экономические аспекты проблемы энергосбережения.

Вместе с тем перспективная динамика удорожания энергоресурсов обусловливает особую актуальность экономического обоснования оптимальной степени тепловой защиты строительных ограждений, которая при соответствующих ценовых факторах может существенно превышать рекомендуемые нормативные значения.

В качестве целевой функции задачи примем годовые приведенные затраты в систему обеспечения теплового режима помещения (СОТРП) в расчете на 1  $\text{м}^2$  ограждающей конструкции здания 3,  $p/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ :

$$3 = aK + H = f\left[R_0\left(\delta_{yr}\right)\right] , \qquad (1)$$

где К — капитальные вложения в СОТРП,  $p/m^2$ ; a — коэффициент эффективности капитальных вложений, 1/год; И — расходы по эксплуатации СОТРП, p/год;  $R_0$  — термическое сопротивление ограждения,  $m^2 \cdot \text{К/BT}$ ;  $\delta_{yT}$  — толщина утепляющего слоя, m.

Коэффициент эффективности капитальных вложений *а* в уравнении (1) представляет собой отношение минимально допустимой величины экономии эксплуатационных затрат за счет снижения теплопотерь через ограждения к дополнительным капитальным вложениям в их тепловую защиту. Указанный коэффициент определяется в зависимости от срока службы ограждения и

банковской процентной ставки E [2]. В частном случае, при  $t_{\rm cn} \ge 30$  лет, что имеет место в реальных условиях эксплуатации ограждающих конструкций зданий, численные значения коэффициента эффективности капитальных вложений приближаются к банковской процентной ставке, т. е.  $a \approx E$ .

Капитальные вложения в СОТРП включают в себя затраты в ограждающие конструкции и отопительную систему здания. Полагая, что капитальные вложения в отопительную систему определяются, главным образом, стоимостью нагревательных приборов, можно записать:

$$K = K_{\text{orp}} + K_{\text{ot}} = \sum_{i=1}^{n} \kappa_{K,i} \delta_{K,i} + \kappa_{yT} \delta_{yT} + \kappa_{\Pi p u \delta} F_{\Pi p u \delta} , \qquad (2)$$

где  $K_{\rm orp}$ ,  $K_{\rm ot}$  — капитальные вложения в ограждения и систему отопления соответственно, р/м²; к,i — номер и количество конструктивных слоев ограждения, без утепляющего слоя; к $_{\rm K,}i$ , к $_{\rm yt}$  — удельные капитальные вложения в сооружение i-го конструктивного слоя и утепляющего слоя ограждения, р/м³. Определяются на основании сметно-финансовых расчетов в зависимости от конструктивного решения строительного ограждения;  $\delta_{\rm K,}i$ ,  $\delta_{\rm yt}$  — толщина i-го конструктивного слоя и утепляющего слоя ограждения, м; к $_{\rm npu6}$  — удельные капитальные вложения в нагревательные приборы системы отопления, р/м². Определяются на основании сметно-финансовых расчетов в зависимости от типа нагревательных приборов;  $F_{\rm npu6}$  — площадь поверхности нагревательных приборов, м².

Расчетная поверхность нагревательных приборов, возмещающих теплопотери через 1 м<sup>2</sup> ограждения, находится из уравнения

$$F_{\text{приб}} = \frac{Q_{\text{тп}}}{k_{\text{приб}}(t_{\text{приб}} - t_{\text{B}})},\tag{3}$$

где  $Q_{\rm TII}$  — теплопотери помещения, Вт;  $k_{\rm приб}$  — коэффициент теплопередачи нагревательных приборов, Вт/(м²·К);  $t_{\rm B}$  — расчетная температура воздуха в помещении, °С;  $t_{\rm приб}$  — средняя температура воды в нагревательных приборах, °С.

В свою очередь,

$$t_{\text{приб}} = \frac{t_{\Gamma} + t_0}{2} \,, \tag{4}$$

где  $t_{\Gamma}$  ,  $t_0$  — расчетные температуры горячей и обратной воды в системе отопления.  $^{\circ}\mathrm{C}$  .

Потери теплоты через 1  $\mathrm{m}^2$  строительного ограждения определяются по формуле

$$Q_{\rm TII} = \frac{t_{\rm B} - t_{\rm H}}{R_0} \,, \tag{5}$$

где  $t_{\rm H}$  — расчетная температура наружного воздуха, равная температуре холодной пятидневки, °C .

В общем случае для многослойной конструкции ограждения с утепляющим слоем можно записать:

$$R_0 = R_{\rm B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{\rm yr}}{\lambda_{\rm vr}} + R_{\rm H}, \qquad (6)$$

где  $R_{\rm B}$ ,  $R_{\rm H}$  — сопротивление тепловосприятию (теплоотдаче) внутренней (наружной) поверхности ограждения, м<sup>2</sup>К/Вт;  $\lambda_i$  — теплопроводность i-го конструктивного слоя ограждения,  ${\rm Bt/(M\cdot K)}$ .

Расходы по эксплуатации СОТРП определяются по формуле

$$\mathbf{H} = \mathbf{\phi}_{\text{orp}} \mathbf{K}_{\text{orp}} + \mathbf{\phi}_{\text{or}} \mathbf{K}_{\text{or}} + Q_{\text{TII}}^{\text{cp}} \mathbf{\tau}_{\text{o,II}} c_{\text{T}}, \tag{7}$$

где  $\phi_{\rm orp}$ ,  $\phi_{\rm or}$  — доля годовых отчислений на эксплуатацию ограждения и системы отопления, 1/год. Определяются по рекомендациям [2];  $c_{\rm T}$  — стоимость тепловой энергии, р/( ${\rm Bt}\cdot{\rm q}$ );  $\tau_{\rm o.n}$  — продолжительность отопительного периода,  ${\rm q/rod}$ ;  $Q_{\rm TR}^{\rm cp}$  — средние за отопительный период теплопотери через 1  ${\rm m}^2$  ограждения.

Указанные теплопотери находятся по формуле

$$Q_{\text{TII}}^{\text{cp}} = \frac{t_{\text{B}} - t_{\text{O.II}}^{\text{cp}}}{R_0},\tag{8}$$

где  $t_{\text{о.п}}^{\text{cp}}$ — средняя температура наружного воздуха за отопительный период,  ${}^{\circ}\mathrm{C}$ .

Уравнения (1)—(8) формируют экономико-математическую модель задачи. Сложный характер функционала (1) затрудняет поиск его экстремума строго математическими методами (метод первых и вторых производных). Поэтому для решения задачи воспользуемся методом вариантных расчетов. Задаваясь рядом значений толщины утеплителя  $\delta_{yт1}$ ;  $\delta_{yr2}$ ; .....  $\delta_{yr,m}$ , вычисляем приведенные затраты в СОТРП  $3_1, 3_2, \ldots 3_m$ .

Минимальной величине затрат  $3_{\min}$  соответствует оптимальная толщина утеплителя  $\delta^{\mathrm{opt}}_{\mathrm{VT}}$  и оптимальное термическое сопротивление ограждения  $R^{\mathrm{opt}}_0$ .

В целях практической реализации экономико-математической модели (1)—(8) были проведены расчеты по определению оптимального термического сопротивления строительного ограждения. В расчетах использовались данные:

- 1) тип ограждения наружная стена жилого здания;
- 2) климатический район эксплуатации здания г. Саратов;
- 3) конструкция наружной стены:

внутренний слой — кладка из силикатного кирпича толщиной  $1\frac{1}{2}$  кирпича; наружный слой — кладка из силикатного кирпича толщиной  $\frac{1}{2}$  кирпича; утеплитель — минераловатные плиты, плотностью  $\rho=100$  кг/м $^3$ ;

стена оштукатурена изнутри известково-песчаным раствором;

- 4) тип нагревательного прибора радиатор РБС-500;
- 5) удельная стоимость тепловой энергии по действующему тарифу  $c_{\rm T} = 1.0 \cdot 10^{-3} \ {\rm p/(BT \cdot 4)};$ 
  - 6) банковская процентная ставка  $E = 0,1 \, 1/$ год.

Результаты соответствующих расчетов приведены на рис. 1.

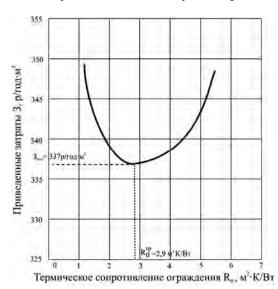


Рис. 1. К выбору оптимального термического сопротивления ограждения

Как видно из графика, минимальным затратам в СОТРП в размере  $3_{\min} = 337 \text{ р/год·м}^2$  соответствует оптимальное термическое сопротивление наружной стены  $R_{0,\text{opt}}^{'} = 2,9 \text{ м}^2\text{K/Bt}$ . Указанная величина термического сопротивления близка к нормативной величине термического сопротивления по требованию энергосбережения  $R_{0,9/c}^{\text{тр}} = 3,1 \text{ м}^2\text{K/Bt}$  [1].

Приведенное решение задачи получено в детерминированной постановке и не учитывает экономическую неопределенность, связанную с динамикой стоимостных факторов и особенно с динамикой перспективного удорожания стоимости топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Интеграция нашей страны в мировое экономическое сообщество обусловливает применение согласованной экономической политики, в т. ч. и в части стоимостной оценки ТЭР.

В этой связи в качестве предельной стоимости ТЭР на перспективу следует применить отечественные цены, сориентированные на мировой уровень, путем введения к действующим тарифам соответствующего индекса удорожания  $\mu$ .

Численные значения индекса удорожания для различных видов энергоресурсов, полученные по данным Института энергетических исследований РАН и Международной топливно-энергетической ассоциации на перспективу до 2034 года, приводятся в табл. 1.

Вид энергоносителя	Индекс удорожания µ
Каменный уголь	1,87
Жидкое топливо	1,64
Природный газ	5,28
Электроэнергия	1,97

Индексы удорожания ТЭР при переводе на мировые цены [3]

Для выбора оптимального термического сопротивления в условиях динамики удорожания ТЭР воспользуемся методом двух границ затрат [4]:

нижняя граница, когда затраты исчисляются в современных ценах и не индексируются, т.е.  $\mu = \mu_{min} = 1$ ;

верхняя граница, когда неэнергетическая составляющая затрат, как то: капиталовложения, амортизация, стоимость обслуживания и т.д., исчисляется в современных ценах  $\mu^{\text{но}} = \mu_{\text{min}} = 1$ , в то же время энергетическая составляю-

щая затрат, как то: стоимость топлива, тепловой, электрической энергий и т.д., исчисляется в современных ценах и затем индексируется пропорционально удорожанию ТЭР, с коэффициентом  $\mu^{\text{эн}} = \mu_{\text{max}}$ .

Как видно из таблицы, наиболее высокий индекс удорожания при переводе стоимости энергоносителей на мировые цены имеет природный газ. Поэтому в качестве предельного значения индекса удорожания стоимости ТЭР принимается  $\mu_{max} = 5,28$ .

Следует отметить, что удорожание ТЭР вызывает увеличение не только энергетической составляющей затрат, но также и ее неэнергетической составляющей.

Оценить степень влияния удорожания ТЭР на удорожание неэнергетической составляющей затрат весьма затруднительно. В этой связи ограничимся следующими соображениями.

Поскольку индекс удорожания неэнергетической составляющей находится в пределах

$$\mu_{min} \le \mu^{\text{H}_9} \le \mu_{max} \; , \tag{9}$$

очевидно, что условие  $\mu^{\text{нэ}}=1$ ;  $\mu^{\text{эн}}=\mu_{\text{max}}$  реализует максимальный размер зоны экономической неопределенности управляющего параметра.

Отметим также, что при одинаковой индексации неэнергетической и энергетической составляющих затрат, т.е.  $\mu^{\text{эн}} = \mu^{\text{нэ}} = \mu$ , оптимальные значения управляющего параметра остаются неизменными, а зона экономической неопределенности сокращается до нуля.

Результаты решения задачи приведены на рис. 2.

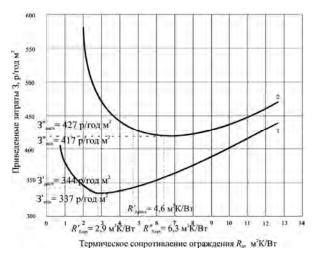


Рис. 2. К выбору оптимального термического сопротивления ограждения в условиях динамики стоимости энергоресурсов: I — нижняя граница затрат; 2 — верхняя граница затрат

Как видно из графиков, наличие двух границ затрат обусловливает два значения оптимального термического сопротивления, в т.ч.:

на нижней границе затрат: 
$$R_{0,\mathrm{opt}}^{'}=2.9~\mathrm{m}^2\mathrm{K/BT};~3_{\mathrm{min}}=337~\mathrm{p/m}^2\mathrm{год};$$
 на верхней границе затрат:  $R_{0,\mathrm{opt}}^{''}=6.3~\mathrm{m}^2\mathrm{K/BT};~3_{\mathrm{min}}=417~\mathrm{p/m}^2\mathrm{год}.$ 

Диапазон изменения управляющего параметра целевой функции от  $R_{0,\text{opt}}^{'}$  до  $R_{0,\text{opt}}^{''}$  характеризует зону экономической неопределенности (ЗЭН), в пределах которой все значения термического сопротивления равноэкономичны.

В качестве детерминированного значения термического сопротивления примем среднюю величину:

$$R'_{0,\text{pac}_{4}} = \frac{R'_{0,\text{opt}} + R''_{0,\text{opt}}}{2} = \frac{2.9 + 6.3}{2} = 4.6 \text{ m}^{2}\text{K/Bt},$$

при этом погрешность решения задачи на границах затрат составит

$$\Delta 3' = \frac{3'_{\text{pacy}} - 3'_{\text{min}}}{3'_{\text{min}}} 100\% = \frac{344 - 337}{337} 100\% = 2,17\%;$$

$$\Delta 3^{"} = \frac{3_{\text{pac}^{"}}^{"} - 3_{\text{min}}^{"}}{3_{\text{min}}^{"}} 100\% = \frac{427 - 417}{417} 100\% = 2,39 \%.$$

Рекомендуемое значение термического сопротивления стены  $R'_{0,\text{расч}} = 4.6 \text{ м}^2 \text{K/Bt}$  существенно превышает нормативную величину  $R_{0,\text{p/c}}^{\text{Tp}} = 3.1 \text{ м}^2 \text{K/Bt}$  [1].

Таким образом, оптимизация тепловой защиты ограждений в условиях динамики стоимости ТЭР требует повышения их термического сопротивления в 1,4...1,5 раза относительно нормативной при адекватном снижении теплопотерь через ограждающие конструкции зданий.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Строительные нормы и правила СНиП 23-02—2003. Тепловая защита зданий (утв. постановлением Госстроя России от 26.06.2003г. №113) / Госстрой России. М. :  $\Phi$ ГУП ЦПП, 2004. 27 с.
- 2. *Курицын Б.Н., Осипова Н.Н.* Технико-экономическая оптимизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Саратов : СГТУ, 2008. 78 с.
- 3. Обоснование зоны применения электрического проточного регазификатора сжиженного углеводородного газа с твердотельным промежуточным теплоносителем / А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.В. Рулев и др. // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения : межвуз. сб. Саратов : Изд-во СГТУ, 2008. С. 108—120.
- 4. *Курицын Б.Н., Усачев А.П., Шамин О.Б.* Оптимизация тепловой защиты зданий в условиях неопределенности конвертирования цен // Материалы 4-го съезда ABOK. М. : ABOK-ПРЕСС, 1995. С. 43—48.
- 1. Stroitelnue normu i pravila SNiP 23.02.2003. Teplovaya zashita zdanii (ytv. postanovleniem Gosstroya Rossii 26.06.2003g. № 113) / Gosstroy Rossii. M. : FGUP TSPP, 2004. 27 s.
- 2. Kuritsyn B.N., Osipova N.N. Technico-economicheskaya optimizaciya sistem otopleniya, ventilyacii i kondicionirovaniya vozdyha. Saratov : SGTU, 2008. 78 s.
- 3. Obosnovanie zonu primeneniya elektricheskogo protochnogo regazifikatora szhizhennogo yglevodorodnogo gaza s tverdotelnum promezhytochnum teplonositelem / A.P. Usachev, A.L. Shurayts, A.V. Rulev i dr. // Naychno-texnicheskie problemu sovershenstvovaniya i razvitiya system gazoenergosnabzheniya : mezhvuz. sb. Saratov : SGTU, 2008. S. 108—120.
- 4. *Kuritsyn B.N., Usachev A.P., Shamin O.B.* Optimizaciya teplovoy zashitu zdanii v ysloviyax neopredelennosti konvertirovaniya tsen // Materialu 4 s'ezda AVOK. M.: AVOK-PRESS, 1995. S. 43—48.

© Осипова Н.Н., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 699.86:658:628

### В.Н. Семёнов

# МЕТОДЫ ОБОСНОВАНИЯ ФАКТОРОВ, ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И НАСЕЛЕНИЯ

Рассмотрены внутренние и внешние факторы деятельности муниципального предприятия в области энергосбережения с учетом кризисных явлений в экономике. Предложены схемы энергосбережения в системе конкурентностных и информационных факторов, влияющих на энергосбережение, а также научно-технических факторов. Приведен анализ взаимозависимости цены, объема спроса, объема предложений энергоресурсов и политики энергосбережения предприятий и организаций жилищно-коммунального комплекса.

Ключевые слова: энергосбережение, эффективность, управление энергосбережением, муниципальные предприятия, жилищно-коммунальный комплекс.

Internal and external factors of activity of the municipal enterprise in the field of power savings are considered. Power savings schemes in system competitions' and the information factors influencing on energy saving, and as scientific and technical factors are resulted. Dependence of the price and demand volume to volume of offers is analyzed: market balance of the enterprises and the organisations of a housing-and-municipal complex and power efficiency increase.

 $K\ e\ y\ w\ o\ r\ d\ s:$  energy savings, efficiency, control of power savings, municipal enterprises, housing-and-municipal complex.

Кризисные явления в мировой экономике, в том числе и в России, предопределили изменение условий по выявлению значимых факторов, влияющих на энергосбережение. В первую очередь следует отметить наличие объективных условий, способствующих осознанию на государственном и муниципальном уровне необходимости и значимости проведения энергосберегающей политики.

С одной стороны, это объясняется высокой сравнительной эффективностью энергосберегающих мероприятий. Эффективность инвестирования средств в энергосберегающие мероприятия по сравнению с затратами, необходимыми для выработки количества энергии, «покрывающей» продолжение эксплуатации неэффективных зданий, сетей, сооружений, техники и технологий для большей части континентальной России, находятся в соотношении 1:5.

С другой стороны, это обусловлено:

высокой энергоемкостью отечественной продукции, превышающей по разным оценкам в 2-3 раза аналогичные показатели в развитых странах;

негативными тенденциями снижения добычи топливно-энергетических ресурсов и повышения затрат на их добычу и транспорт вследствие разработки месторождений, расположенных в более удаленных районах страны со сложными природно-климатическими условиями;

значительным уровнем энергетических потерь, полезный отпуск энергии составляет менее 40 %;

высокими ценами на топливо и энергию, способствующими росту энергетической составляющей в структуре затрат на производство продукции, услуг, что определяет снижение их конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках;

неблагоприятным инвестиционным климатом в стране из-за высокой коррупции (в частности, объем капиталообразующих инвестиций обеспечивает около 20 % их потребности);

глобальным экологическим кризисом, характеризующимся загрязнением окружающей среды и потеплением климата на планете;

ресурсной ориентацией российского экспорта.

Сложившиеся условия свидетельствуют о том, что избежать кризисных ситуаций в экономике, связанных с использованием энергоресурсов, можно только при оптимизации экономического развития путем широкомасштабной стратегии энергосбережения на основе активизации комплекса факторов, влияющих на сбережение топлива и энергии как на национальном, региональном, муниципальном уровнях, так и на уровне конкретного предприятия и конечного потребителя энергетических ресурсов.

В этих условиях неизмеримо повышается роль предприятия, его динамических способностей, внутренних и внешних компетенций, которые в рыночных условиях не только обеспечивают сохранение ему места на рынке в результате конкурентной борьбы, но и укрепляют конкурентные преимущества благодаря экономии энергетических и материальных ресурсов (рис. 1).

Именно внутренние и внешние факторы деятельности предприятия обеспечивают долговременные конкурентные преимущества. Для их создания требуется значительный период времени и опыт работы в отрасли.

К внутренним относятся следующие факторы:

НИОКР (ноу-хау, уникальные технологии, способность производить конкурентоспособную продукцию и услуги);

хорошо отработанные и эффективные бизнес-процессы (управление проектами, управление качеством, сбыт, маркетинг, планирование, бюджетирование, мотивация персонала);

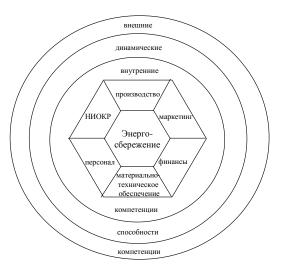


Рис. 1. Энергосбережение в системе факторов конкурентоспособности

наличие квалифицированного персонала, на подготовку которого требуется значительное время;

факторы энергосбережения.

К внешним факторам относятся:

связи с контрагентами и потребителями;

связи с органами государственного управления;

способность обеспечить требуемый объем финансирования в кратчайшие сроки и под приемлемые условия.

Таким образом, стратегия предприятия должна быть направлена на усиление и создание внутренних резервов, изменение внешнего окружения, а также на развитие своих динамических способностей.

Назначением составляющей стратегии — энергоресурсосбережения — является поддержка конкурентных преимуществ предприятия на основе рационального использования энергоресурсов.

Многоплановость и многочисленность факторов энергосбережения предопределяют необходимость их классификации по следующим основным группам:

- 1) регулирующие факторы. Их наличие обусловлено государственным управлением и регулированием процессов энергосбережения, позволяющим получить определенный экономический, экологический, социальный, политический и другие результаты при осуществлении политики энергосбережения;
- 2) результирующие факторы. Определяются особой организационно-экономической ролью топливно-энергетического и коммунального комплексов во всех сферах жизнедеятельности, их тесной связью (технологической, экономической, экологической и научной) со всеми сферами экономики и содержат следующие составляющие: рыночные, административно-законодательные, экономические, организационные, технические, социально-экологические, информационные, управленческие.

В системе управления энергоресурсосбережением именно такая классификация позволяет провести мониторинг последствий влияния экономии энергоресурсов на конечный результат производственной деятельности предприятия, определить связи между элементами факторов энергоресурсосбережения в ходе реализации программных мероприятий при изменении общеэкономических, научно-технических, социально-экологических и иных условий.

Тенденции в экономике, связанные как с формированием рыночных отношений, так и с переходом к региональному и местному самоуправлению, оказывают существенное влияние на динамику энергоресурсосбережения. В этом случае основными являются рыночные факторы. К этим факторам относятся спрос и предложение энергоресурсов, механизм формирования цен на них, конкуренция на рынках ТЭР, коммерциализация энергоснабжения. Особенность влияния этих факторов на реализацию энергосберегающих мероприятий заключается в монопольном положении большинства структур ТЭК и ЖКК на рынках производства энергоресурсов. Это позволяет предприятиям монополистам максимизировать прибыль и обосновывать цену на тепло, воду, электроэнергию, газ, превышающую предельные издержки, на основе определенного максимального объема выпуска (рис. 2,  $\delta$ ). На конкурентных рынках пересечение кривой спроса, отражающей зависимость цены и объема спроса, и кривой предложения, представляющей взаимосвязь между ценой продукции (услуг) и объемом предложения, называется рыночным равновесием (рис. 2, а) [1]. Эта точка пересечения рыночного предложения и рыночного спроса показывает цену равновесия и равновесный объем ресурсов. На конкурентных рынках цена товара Pравна предельным издержкам MC(1)[1]:

$$P = MR = MC, (1)$$

где *MR* — предельный доход.

На монополизированных рынках, к которым в основном относятся рынки энергоресурсов, цена ресурсов превышает предельные издержки (рис. 2):

$$P > MR = MC \tag{2}$$

При этом в обоих случаях при максимизирующем прибыль объеме  $Q_{\max}$  выпуска предельный доход MR равен предельным издержкам MC.

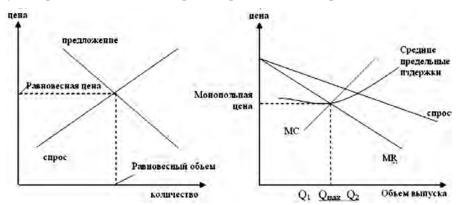


Рис. 2. Определение цены на рынке: a — конкурентном;  $\delta$  — монопольном

Таким образом, производители-монополисты не заинтересованы в снижении издержек. В то же время именно повышение цен на топливо и энергию явилось основным фактором интенсификации деятельности по энергосбережению в зарубежных странах в период энергетического кризиса в 70-х гг. прошлого века и на современном этапе экономического развития в России.

К следующей группе факторов повышения уровня энергоресурсосбережения относится информационное обеспечение, которое предполагает получение информации о современных организационно-технических, технологических, финансовых и иных формах и методах экономии энергоресурсов, охраны окружающей среды и снижения энергоемкости производимой продукции и услуг из различных источников и осуществление образовательных программ по вопросам энергосбережения (рис. 3). Важность этой группы факторов признана на государственном уровне, что нашло свое отражение в ст. 22 и 23 Федерального Закона «Об энергосбережении и о повышении энергоэффективности».



Рис. 3. Структура информационных факторов, влияющих на энергосбережение

Как показывает опыт, при осуществлении мероприятий энергосбережения «информационные барьеры» не менее важны, чем финансовые или тех-

нические. Без достоверной и своевременной информации, невозможно составить действенные программы по энергосбережению, определить его потенциал в отдельных сферах экономики, выбрать наиболее целесообразные пути для реализации программных мероприятий, отобрать наиболее эффективные проекты и задействовать поведенческий фактор энергосбережения.

К следующей результирующей группе факторов отнесены экономические, организационные, научно-технические, поведенческие и социально-экологические факторы.

Экономические факторы включают такие важные регуляторы энергосбережения, как цены, налоги, механизмы материального стимулирования энергосбережения и санкции за энергорасточительство, а также источники финансирования: отечественные и иностранные инвестиции, кредиты, дотации и ссуды.

Учитывая, что в основе энергосбережения лежит, прежде всего, техническое и технологическое совершенствование производства, значимым условием его осуществления являются источники привлечения инвестиций. Финансирование проектов по экономии энергоресурсов может осуществляться из следующих источников:

собственных средств предприятий и организаций; бюджетов различного уровня; отечественных и иностранных инвестиций; кредитов финансовых учреждений; государственных дотаций и ссуд; заемных средств.

К экономическим факторам энергосбережения относятся также анализ действия закона масштаба, закона экономии времени в сложившихся условиях; применение методов функционально-стоимостного анализа, прогнозирования и экономико-математического моделирования; улучшение труда и отдыха работников; осуществление социально-психологических мероприятий по экономии энергоресурсов.

Таким образом, значимость экономических регуляторов энергосбережения определяется тем, что они влияют как на спрос, так и на предложение энергоресурсов, а также на научно-техническое и технологическое изменение производства продукции, услуг, приводящие к экономии топлива и энергии.

Особое место среди факторов, регулирующих деятельность по энергосбережению, занимают организационно-экономические. Эта группа факторов включает учет и контроль расхода энергоносителей, надзор (обследование и проверки) за крупными, потребителями энергетических ресурсов, создание организационных структур и системы управления энергосбережением. Важность организационных факторов обусловила наиболее глубокое их рассмотрение и регламентацию в ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергоэффективности» и в ряде постановлений Правительства РФ, приказов министерств и ведомств.

Среди факторов, влияющих на энергосбережение, важная роль принадлежит научно-техническим факторам, которые включают научно-исследовательские и конструкторские разработки (НИОКР) в области энергосбережения, современные энергетические и экологические технологии, структурную перестройку производства, возобновляемые источники энергии и другие (рис. 4).

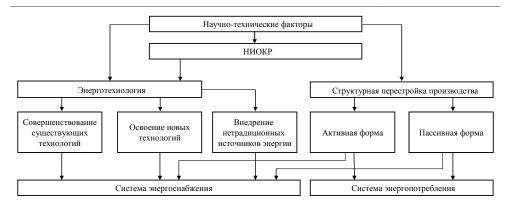


Рис. 4. Структура научно-технических факторов, воздействующих на энергосбережение

Структурная составляющая научно-технических факторов проявляется в двух различных формах: активной и пассивной, являющихся результатом различных комбинаций отдельных элементов производительных сил с различной энергоемкостью и технологическими характеристиками.

Активная форма изменяет расход энергоносителей на единицу продукции вследствие снижения его материалоемкости, переходом на новые технологии или вследствие прямой замены более энергоемких видов продукции менее энергоемкие и т.д. Этот элемент научно-технических факторов относят к научно-техническому прогрессу.

Технические элементы энергосбережения этой группы факторов включают также применение технологий, обеспечивающих минимальные потери энергоресурсов и энергоэффективное оборудование, совершенствование технической базы транспортирования, предоставления и хранения энергоресурсов.

Наряду с научно-техническими факторами практическая экономия энергоресурсов достигается снижением прямого энергорасточительства отдельными потребителями. В предложенной классификации выделено две их категории: индивидуальные потребители и субъекты власти. Как показывают зарубежные и отечественные источники, спрос на энергию у населения значительно снижается при росте цен на энергоресурсы и во время экономических кризисов. Это определенно подтверждает тезис, что только привычки потребителей содержат большой потенциал энергосбережения.

Последняя группа факторов в предложенной классификации объединяет социальные, экологические и политические факторы, влияющие на энергосбережение. Спрос на энергоресурсы всегда определяется экономическим ростом и благосостоянием общества и уровнем платы за загрязнение окружающей среды, а также экспортной стратегией государства.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Грабовый П.Г., Семенов В.Н. Планирование и контролирование в жилищной сфере. Воронеж : ВГАСУ, 2009. 258 с.
- 1. Grabovyj P.G., Semenov V.N. Planning and monitoring in housing sphere. Voronezh: VGASU, 2009. 258 p.

© Семенов В.Н., 2010

Поступила в редакцию 12.05.10

## ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 621.644.01

О.Н. Медведева

### ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОДНО- И ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Обоснован выбор одноступенчатых систем газоснабжения среднего давления с домовыми регуляторами. Приведены результаты исследований, показывающие, что при внедрении в практику газоснабжения городов и поселков высокоэкономичных и технически более совершенных одноступенчатых систем среднего давления металлоемкость газопроводов снижается до 30...40 %.

К л ю ч е в ы е с л о в а: газораспределительная система, оптимизация, регулятор давления.

One of the components of the technological structure of energy supply systems is a gas distribution system. The article provides the rationale for single-stage medium-pressure gas supply systems with household controls. Studies indicate that when introducing the practice of supply of cities and towns of highly effective and more technically advanced single-stage systems, medium pressure, metal gas is reduced to  $30...40\,\%$ .

K e y w o r d s: distribution system of gas supply, optimization, pressure regulator.

В существующей практике газификации городских и сельских населенных пунктов сетевым природным газом широкое распространение получили двухступенчатые системы газоснабжения. Указанные системы включают в себя следующую цепочку взаимосвязанных технологических элементов: газовые сети высокого (среднего) давления — газорегуляторные пункты (ГРП) — газовые сети низкого давления.

В начальный период газификации (50—60-е гг. прошлого столетия) в качестве опорных пунктов газораспределительных систем использовались крупные ГРП, размещаемые в отдельно стоящих зданиях. Указанное обстоятельство предопределяло высокую степень централизации поселковых систем газоснабжения и соответствующую структуру распределительных газопроводов, сочетающую короткие газопроводы высокого (среднего) давления и протяженные газовые сети низкого давления. В зависимости от размера населенного пункта на сооружение распределительной газовой сети расходовалось до 80 % всех капитальных вложений в систему газоснабжения. Из общей протяженности сетей до 70...80 % составляли газопроводы низкого давления и только 20...30 % — газопроводы высокого (среднего) давления [1]. Наличие протяженной сети газопроводов низкого давления в сочетании с большими диаметрами труб обусловливает повышенную материалоемкость газорас-

пределительных систем, а следовательно, и высокую стоимость сооружения и эксплуатации систем газоснабжения.

Дальнейшее развитие поселковых систем газоснабжения связано с широким использованием шкафных газорегуляторных пунктов (ШГРП), массовый выпуск которых освоен отечественной промышленностью в 70-х гг. прошлого столетия. Низкая стоимость шкафных ГРП в сочетании с широким диапазоном пропускной способности качественно изменяет структуру распределительных систем газоснабжения. Наличие в населенном пункте большого количества дешевых ШГРП резко уменьшает протяженность материало- и капиталоемких газовых сетей низкого давления. Указанное обстоятельство, несмотря на повышенную протяженность газовых сетей высокого (среднего) давления, обусловливает значительное снижение общих затрат в сооружение и эксплуатацию поселковых систем газоснабжения.

Важным резервом повышения экономической эффективности газораспределительных сетей является применение одноступенчатых систем газоснабжения. В данном случае подача газа потребителям осуществляется по газопроводам высокого (среднего) давления. Снижение давления газа перед подачей в здание производится в шкафных ГРП, оборудованных домовыми регуляторами давления. Как показывают исследования, системы газоснабжения среднего давления примерно на 20...30 % экономичнее систем низкого давления [2—4].

При газоснабжении жилых зданий от сетей среднего давления важным элементом является регулятор давления. Его назначение — снижение давления уличной газораспределительной сети на низкое давление, используемое во внутридомовых газопроводах. При выборе производительности домового регулятора давления газа необходимо знать: расход газа у потребителя (например, жилого дома) и величину входного давления. Для обеспечения удовлетворительных условий работы регулятора его максимальная нагрузка принимается не более 80 % от максимальной пропускной способности регулятора, а минимальная нагрузка составляет 10 % от максимальной пропускной способности. Один регулятор давления может обслуживать как один дом (коттедж или многоэтажный), так и группу домов (в основном одно-, трехэтажные дома).

Часовой расход газа, м<sup>3</sup>/ч, определяется согласно [5] по сумме номинальных расходов газа газовыми приборами с учетом коэффициента одновременности их действия. Номинальный расход газа прибором принимается по паспортным данным или техническим характеристикам прибора (табл. 1).

Таблица 1 Часовой расход газа бытовыми газовыми приборами,  ${\it m}^3/{\it q}$ 

Плита 2-конфорочная	Плита 4-	Проточный газовый	Отопительный		
ПГ-2 (газовая панель)	конфорочная ПГ-4	водонагреватель ВПГ-18	котел 12 кВт		
0,8	1,2	2,4	1,4		

Конструкции домовых регуляторов давления разработаны институтом «Гипрониигаз» и серийно выпускаются ОАО «Сигнал» на базе регуляторов давления РДГБ-6 и РДГК-10. Пропускная способность указанных регуляторов полностью покрывает потребности в газе отдельных жилых домов уса-

дебного (коттеджного) типа. Шкафные ГРП с домовыми регуляторами давления просты и надежны в эксплуатации и недороги в изготовлении. Установка домовых регуляторов непосредственно у отдельных газоснабжаемых зданий исключает затраты на сооружение и эксплуатацию уличных распределительных газопроводов низкого давления и обеспечивает дополнительное снижение общих затрат в сооружение и эксплуатацию поселковых систем газоснабжения. Важным преимуществом одноступенчатых систем газоснабжения с домовыми регуляторами является также возможность стабилизации давления газа перед газоиспользующими установками. Это позволяет эксплуатировать газовое оборудование зданий при давлениях газа, близких к номинальной величине, что обеспечивает работу газовых приборов с максимальным КПД и вскрывает значительные резервы газосбережения.

Многолетний зарубежный опыт эксплуатации одноступенчатых систем газоснабжения, а также результаты их апробации в отечественной практике свидетельствуют о высокой эффективности указанных газораспределительных систем и доказывают целесообразность их широкого применения в качестве альтернативы двухступенчатым системам газоснабжения [6]. Вопросам оптимального функционирования поселковых систем газоснабжения посвящено большое количество научных публикаций. Наиболее полно указанные вопросы проработаны применительно к многоступенчатым (двухступенчатым) системам газоснабжения. Одной из важных научно-технических задач, решаемых при проектировании распределительных систем газоснабжения, является определение оптимальной централизации поселковых систем газоснабжения, т.е. обоснование оптимального количества квартир, подключаемых к одной газорегуляторной установке. Вопросы оптимальной централизации поселковых систем газоснабжения освещаются в работах Е.И. Берхмана, В.Г. Голика, П.М. Гофмана-Захарова, А.А. Ионина, М.С. Куприянова, А.М. Левина, А.Ю. Ляукониса, М.А. Скафтымова, В.А. Смирнова, Н.Л. Стаскевича, Я.М. Торчинского и др. Полученные авторами решения и разработанные на их основе рекомендации отличаются постановкой задачи, полнотой учета определяющих факторов, алгоритмами ее реализации и часто носят весьма противоречивый характер. Следует также отметить, что известные решения привязаны к городским населенным пунктам с квартальной планировкой и многоэтажной застройкой и совершенно неприемлемы в сельских или коттеджных поселках, характерной особенностью которых является широкое разнообразие планировки и преимущественная застройка малоэтажными (одноквартирными) жилыми зданиями. Сравнительно небольшие объемы газопотребления в сельской местности, включая рабочие поселки и села и современные коттеджные поселки при низкой плотности жилищного фонда, создают благоприятные предпосылки для применения одноступенчатых систем газоснабжения среднего давления [7]. Следует отметить, однако, что приведенные в [7] рекомендации недостаточно обоснованы. Снижение металлоемкости газовых сетей является хотя и важным, но не единственным фактором, определяющим экономическую эффективность систем газоснабжения. Замена газопроводов низкого давления на газопроводы среднего давления не только снижает металлоемкость газовой сети, но также увеличивает расходы по ее эксплуатации. Стоимость обслуживания 1 пог. м газопровода среднего давления в 2,5 раза дороже стоимости обслуживания 1 пог. м газопровода низкого давления. Установка ШГРП у каждого газифицированного здания резко увеличивает капитальные затраты в газорегуляторные установки и расходы по их эксплуатации. Предлагаемые рекомендации не учитывают целый ряд определяющих факторов, существенно влияющих на конечные результаты расчетов. К ним относятся: характер планировки населенного пункта, плотность населения газоснабжаемой территории, географические и климатические условия эксплуатации систем газоснабжения, газовое оборудование квартир, режимы его использования и др. Обобщение решения задачи с учетом перечисленных факторов приводится в [8—10]. С учетом вышеизложенного целесообразность применения одноступенчатых систем газоснабжения требует более глубокого технико-экономического анализа.

В качестве базового варианта рассмотрим двухступенчатую систему газоснабжения со шкафными ГРП в условиях ее оптимальной централизации [7], в качестве альтернативного варианта — одноступенчатую систему газоснабжения с домовыми регуляторами давления. В качестве целевой функции задачи примем удельные (на 1 газифицируемую квартиру) интегральные затраты в систему газоснабжения. Удельные интегральные затраты в двухступенчатую систему газоснабжения в условиях ее оптимальной централизации  $(3/n)_{\min}^{\text{дсг}}$  находятся путем численной реализации математической модели, предложенной в [8, 9].

Анализ проектных решений газоснабжения сельских поселков показывает, что диаметр распределительных газопроводов среднего давления изменяется в достаточно узких пределах и составляет в среднем 75 мм. Удельная протяженность газовых распределительных сетей в значительной степени определяется структурой застройки населенного пункта. Для существующих и проектируемых поселков в сельской местности характерны следующие варианты застройки [7]: квартальная — для крупных поселков, тупиковая — с размещением жилых домов вдоль тупиковых проездов — для средних и малых поселков и ленточная (строчная) застройка, обычно применяется в малых поселках. В целях разработки расчетных моделей систем газоснабжения примем в качестве полярных два варианта застройки сельских населенных пунктов: ленточную — с двухрядным и однорядным расположением зданий (рис. 1 и 2) — и многорядную (квартальную) застройку (рис. 3). Удельные интегральные затраты в одноступенчатую систему газоснабжения с домовыми регуляторами давления определяются зависимостью:

$$(3/n)^{\text{OCT}} = 3_{\text{дp}} + \frac{3_{\text{с/д}}}{n},$$
 (1)

где  $3_{_{дp}}$  — интегральные затраты в домовый регулятор давления, р./(год·кв);

 $\frac{3_{\text{с/д}}}{n}$  — удельные интегральные затраты в газопроводы среднего давления, р/(год·кв); n — количество газифицируемых квартир.

В общем случае протяженность газопроводов среднего давления определяется заселенностью квартир, плотностью населения на газоснабжаемой территории, а также количеством газифицируемых зданий.

Следует отметить, однако, что влияние численности населения на удельную протяженность газопроводов среднего давления весьма незначительно.

Так, например, для поселка численностью 100 жителей при коэффициенте заселенности квартир S=3 чел/кв общее количество газифицируемых зданий составляет n=33.

Проведенный анализ дает возможность использовать для расчета удельной протяженности распределительных газопроводов среднего давления при любой численности населения следующие обобщенные зависимости:

многорядная застройка:

$$l_{\text{C/II}} = 1, 1\sqrt{s/q} \; ; \tag{2}$$

ленточная (одно- и двухрядная) застройка:

$$l_{\rm C/\Pi} = \sqrt{s/q} \ . \tag{3}$$

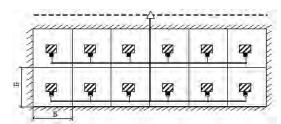


Рис. 1. Расчетная схема газовой сети (двухрядная застройка)

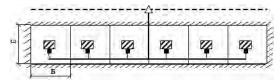


Рис. 2. Расчетная схема газовой сети (однорядная застройка)

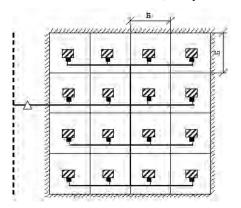


Рис. 3. Расчетная схема газовой сети (многорядная застройка): △ — головной ГРП; ■ — домовый регулятор давления; — — газопровод высокого давления; — — газопровод среднего давления; — — газопровод низкого давления; /// — граница селитебной территории поселка

Экономическая целесообразность применения одноступенчатых систем газоснабжения определяется соотношением:

$$\left(3/n\right)^{\text{OCT}} < \left(3/n\right)^{\text{MCT}}_{\min}. \tag{4}$$

В противном случае, при

$$\left(3/n\right)_{\min}^{\text{ДСГ}} < \left(3/n\right)^{\text{ОСГ}},\tag{5}$$

целесообразно применение двухступенчатой системы газоснабжения в условиях ее оптимальной централизации.

Для практической реализации предложенной экономико-математической модели были проведены соответствующие расчеты. В целях более полного учета влияния факторов, определяющих экономические параметры двухступенчатых систем газоснабжения, целевая функция по базовому варианту определялась дифференцированно для двух полярных систем газоснабжения: 1) с максимальным и 2) минимальным уровнем затрат в сооружение и эксплуатацию систем газоснабжения. Первому случаю соответствует система газоснабжения поселков, расположенных в холодной климатической зоне и застроенных домами усадебного типа с существующим уровнем теплозащиты. Газовое оборудование квартир — газовые плиты и отопительные печи периодического действия. Прокладка газопроводов среднего и низкого давления — подземная. Второму случаю соответствует система газоснабжения поселков, расположенных в умеренно теплой климатической зоне и застроенных домами усадебного типа с повышенным уровнем теплозащиты. Газовое оборудование квартир: газовые плиты и отопительные печи (котлы) непрерывного действия. Прокладка газопроводов среднего давления ная, прокладка газопроводов низкого давления — надземная. Расчеты проводились дифференцированно по трем вариантам застройки поселков жилыми домами: многорядная; ленточная двухрядная; ленточная однорядная. Результаты расчетов представлены на графиках (рис. 4 и 5).

Как видно из графиков, многорядная застройка поселков жилыми зданиями обусловливает целесообразность применения двухступенчатых систем газоснабжения. Так, например, при плотности населения q = 0,0075 чел/м² (площадь приусадебного участка 4 сотки) удельные интегральные затраты в одноступенчатую систему газоснабжения составляют  $(3/n)^{\text{осг}} = 48,66$  тыс. р./ (год·кв) — кривая I. В то же время, затраты в двухступенчатую систему газоснабжения  $(3/n)^{\text{дсг}}_{\text{min}}$  составляют соответственно 41,60 (кривая 2) и 12,43 тыс. р./(год·кв) соответственно (кривая 3), что на 14,5 и 74,4 % меньше.

При ленточной застройке поселков жилыми домами варианты одно- и двухступенчатых систем газоснабжения взаимно конкурентоспособны. Так, например, при двухрядной застройке (рис. 5) одно- и двухступенчатая система газоснабжения имеют практически одинаковые экономические показатели (кривые 1 и 2) только для поселков, расположенных в холодной климатической зоне и застроенных жилыми домами усадебного типа с существующим уровнем теплозащиты строительных ограждений (газовое оборудование квартир — газовые плиты и отопительные печи периодического действия, прокладка газопроводов — подземная). Во всех остальных случаях целесообразно применение двухступенчатых систем газоснабжения. При этом достигается значительная экономия интегральных затрат.

Так, например, при плотности населения q=0,0075 чел/м $^2$  (площадь приусадебного участка 4 сотки) удельные затраты в одноступенчатую систему

газоснабжения (кривая 1)  $(3/n)^{\text{осг}} = 45,53$  тыс. р./(год·кв). В то же время затраты в двухступенчатую систему газоснабжения (кривая 3)  $(3/n)_{\min}^{\text{дсг}} = 23,36$  тыс. р./(год·кв), т.е. на 48,7 % меньше.

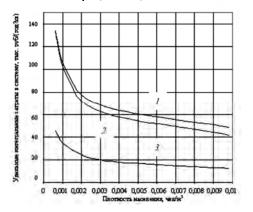


Рис. 4. К выбору рациональной области применения одно- и двухступенчатых систем газоснабжения поселков (многорядная застройка): I — одноступенчатая система газоснабжения; 2 — двухступенчатая система газоснабжения (максимальный уровень затрат); 3 — то же (минимальный уровень затрат)

Рис. 5. К выбору рациональной области применения одно- и двухступенчатых систем газоснабжения поселков (двухрядная застройка): I — одноступенчатая система газоснабжения; 2 — двухступенчатая система газоснабжения (максимальный уровень затрат); 3 — то же (минимальный уровень затрат)

При однорядной застройке одноступенчатые и двухступенчатые системы газоснабжения имеют практически одинаковые экономические показатели только для поселков, расположенных в умеренно теплой климатической зоне и застроенных жилыми домами усадебного типа с повышенным уровнем теплозащиты строительных ограждений (газовое оборудование — газовые плиты и отопительные печи (котлы) непрерывного действия, прокладка газопроводов — надземная). Во всех остальных случаях целесообразно применение одноступенчатых систем газоснабжения. Например, при плотности населения  $q=0{,}0075$  чел/м² удельные затраты в одноступенчатую систему газоснабжения  $(3/n)^{\text{дсг}}_{\text{min}}$ .

Bыводы. Обеспечение необходимого давления газа на газоиспользующем оборудовании достигается в том случае, когда газорегуляторный пункт (установка) размещается как можно ближе к абоненту, так как при этом обеспечивается:

стабильность давления, которая сохраняется в заданных пределах независимо от колебаний давления газа, что повышает надежность работы и КПД приборов у всех потребителей за счет равномерности подачи газа;

устранение негативных явлений, связанных с рельефом местности.

При увеличении давления газа (на что не требуется затрат энергии) и установке регуляторов давления у потребителей можно снизить расходы на строительство и эксплуатацию в несколько раз (металлоемкость газопроводов снижается до 40 %, что обеспечивает адекватное снижение интегральных затрат по сравнению с затратами при двухступенчатой схеме газоснабжения).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Ляуконис А.Ю. Оптимизация городского газоснабжения. Л.: Недра, 1989. 302 с.
- 2. Торчинский Я.М. Оптимизация проектируемых и эксплуатируемых газораспределительных систем. Л.: Недра, 1988. 239 с.
- 3. *Баясанов А.Б.* Расчет и проектирование городских газовых сетей среднего и высокого давления. М.: Стройиздат, 1972.
- 4. *Смирнов В.А.* Технико-экономическое обоснование схем газоснабжения. М. : Стройиздат, 1964.  $220 \, \mathrm{c}$ .
- 5. СП 42-101—2003. Свод правил по проектированию. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. М.: Полимергаз, 2003. 163 с.
- 6. Удовенко В.Е. Технологическая структура энергоснабжающих систем // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции : материалы междунар. науч.-техн. конфер. М. : МГСУ, 2005. С. 17—22.
- 7. Рекомендации по проектированию и строительству систем газоснабжения малых и средних городов и населенных пунктов в сельской местности. Саратов: Гипрониигаз, 1985. 144 с.
- 8. Курицын Б.Н., Медведева О.Н. Оптимизация поселковых систем газоснабжения на базе шкафных газорегуляторных установок // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: материалы Междунар. науч.-техн. конференции. М.: МГСУ, 2005. С. 268—272.
- 9. *Курицын Б.Н., Медведева О.Н.* Оптимизация распределительных систем газоснабжения малых населенных пунктов // Инженерные системы ABOK-Северо-Запад. СПб: НПСЗ Центр ABOK, 2006. № 3. С. 36—40.
- 10. Медведева О.Н. Оптимизация систем газоснабжения городов на базе шкафных газорегуляторных пунктов // Найновите научни постижения-2009 : материалы 5-й Междунар. науч.практ. конф. Т. 23. Здание и архитектура. София, Белград : БялГРАД-БГ, 2008. С. 33—36.
  - 1. Lyaukonis A.Y. Optimization of urban gas supply. L.: Nedra. 1989. 302 p.
- 2. Torchinsky Y.M. Optimization designed and operated distribution systems of gas. L.: Nedra. 1988. 239 p.
- 3. *Bayasanov A.B.* Calculation and design of urban gas networks of medium and high pressure. M.: Stroiizdat, 1972.
  - 4. Smirnov V.A. Feasibility study of gas supply scheme. M.: Stroyiz-date, 1964. 220 p.
- 5. BR 42-101—2003. Code of practice for design. General provisions for design and construction of gas distribution systems of metal and plastic pipes. M.: Polimergaz, 2003. 163 p.
- 6. *Udovenko V.E.* Technological structure of energy supply systems // Theoretical Foundations of Heat and Gas supply and Ventilation: proceedings of the International scientific-technical conference. M.: MSSU, 2005. P. 17—22.
- 7. Recommendations for the design and construction of gas supply systems for small and medium-sized cities and settlements in the countryside. Saratov : Giproniigaz, 1985. 144p.
- 8. Kuritsyn B.N., Medvedeva O.N. Optimization of the settlement of gas supply systems based on gas regulating closet installations // Theoretical Foundations of Heat and Gas supply and ventilation: proceedings of the International scientific-technical conference. M.: MSSU, 2005. P. 268—272.
- 9. *Kuritsyn B.N.*, *Medvedeva O.N*. Optimization of distribution systems of supply of small settlements // Scientific and technical journal Engineering Systems, AVOK-Severo-West, St. Petersburg: NPSZ Center AVOK. 2006. № 3. P. 36—40.
- 10. *Medvedeva O.N.* Optimization of gas supply systems of cities on the basis of closet gas control point // Naynovite scientific comprehension-2009: proceedings of the 5th international scientific-practical conference. Vol. 23. Building and architecture. Sofia, Belgrade: Bial-GRAD-BG, 2008. P. 33—36.

© Медведева О.Н., 2010

### ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 66.01.661.183

#### А.Б. Голованчиков, М.Ю. Ефремов, Н.А. Дулькина, М.Г. Новиков

### ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ДВУХВАЛЕНТНОГО ЖЕЛЕЗА В КАТИОНООБМЕННОМ МОДУЛЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Рассмотрена возможность использования электрического поля в интенсификации ионообменных процессов при очистке подземных вод от катионов двухвалентного железа. Выполнены расчеты ионообменного модуля для различных значений напряженности электрического поля. Полученные результаты показали увеличение коэффициента массоотдачи, времени защитного действия, степени использования емкости ионита, объемов очищенной воды.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ионит, напряженность электрического поля, коэффициент внешней массоотдачи, ионообменная емкость.

The possibility of use of electric field in an intensification of the ion-exchanging processes at clearing of underground waters from cations of bivalent iron is considered. The calculations of the ion-exchanging module for various values of intensity of electric field are executed. The received results have shown increase in time of protective action and volume of the cleared water.

K e y w o r d s: clearing of ground-waters, ionite, intensity of electric field, coefficient of external mass delivery, ion-exchanging capacity.

Лимитирующей стадией массопередачи в ионообменных процессах является массоотдача от потока очищаемой воды к границе гранул или зерен ионита [1, 2].

Для увеличения коэффициента внешней массоотдачи обычно применяют псевдоожиженный слой, однако истирание и разрушение гранул или зерен ионита при столкновении уменьшает эффективность их применения и усложняет эксплуатацию ионообменных аппаратов и регенерацию гранул ионита, что связано с уносом образующихся мелких частиц потоком воды [3, 4].

Нами в [5, 6] показано, что для увеличения коэффициента внешней массоотдачи можно применять электрическое поле.

Под действием электрического поля катионы двухвалентного железа двигаются к катоду.

Сила электрического поля описывается уравнением [7]

$$F_{\rho} = n_{\rho} e E \,, \tag{1}$$

где  $n_e$  — валентность иона; e — единичный заряд; E — напряженность электрического поля, B/м.

Сила сопротивления воды при движении заряда описывается уравнением [1]

$$F_c = 3\pi\mu\nu_e d_u \,, \tag{2}$$

где  $\mu$  — динамическая вязкость воды,  $\Pi a \cdot c$ ;  $v_e$  — скорость дрейфа ионов железа, м/c;  $d_u$  — диаметр иона двухвалентного железа, м.

Из совместного решения уравнений (1) и (2) получаем формулу для расчета скорости дрейфа ионов

$$v_e = \frac{n_e eE}{3\pi\mu d_u} \,. \tag{3}$$

Общий коэффициент внешней массоотдачи будет складываться из обычного коэффициента внешней массоотдачи (рассчитанного без электрического поля) и скорости дрейфа ионов, рассчитанного по уравнению (3)

$$\beta_e = \beta_v + \nu_e \,. \tag{4}$$

В Волгоградской области 23 районных центра и 90 % сельских населенных пунктов получают воду из подземных источников. В области около 7500 водозаборных скважин, 50000 колодцев, 200 родников. Прогнозируемый дебит эксплуатационных запасов подземных вод около 9 млн т в год, или более  $100 \, \text{m}^3$ /с, а реально используется менее 5 % этих запасов [8].

Однако в воде подземных источников, особенно в левобережной части Волгоградской области, содержится избыточное количество ионов двухвалентного железа, в 40...70 раз превышающее ПДК = 0.3 мг/л [9, 10].

В табл. 1 приведены исходные и справочные данные для расчета электроионообменного модуля очистки подземных вод от ионов двухвалентного железа по алгоритму, описанному в [3, 4], в котором вместо обычного коэффициента внешней массоотдачи  $\beta_{\nu}$  введен коэффициент массоотдачи  $\beta_{\nu}$ , учитывающий напряженность электрополя и рассчитываемый по уравнению (4). Модуль предназначен для установки на малой ферме, частном доме, даче и рассчитан на очистку 100 л воды в час [11].

Таблица 1 Исходные и справочные данные и общие расчетные параметры катионообменного модуля для очистки воды от катионов двухвалентного железа

Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1. Производительность по очищаемой воде	м <sup>3</sup> /ч	$q_{v}$	0,1
2. Начальная концентрация катионов Fe <sup>+2</sup>	г/м <sup>3</sup>	$C_0$	18
3. Конечная концентрация в очищенной воде катионов $Fe^{+2}$ (ПДК)	г/м³	$C_{\kappa}$	0,3
4. Вязкость очищаемой воды	Па∙с	μ	0,0011
5. Плотность очищаемой воды	$\kappa\Gamma/M^3$	ρ	1000
6. Ионная масса аниона катиона Fe <sup>+2</sup>	кг/кмоль	M	56
7. Диаметр катиона Fe <sup>+2</sup> [12]	M	$d_{\scriptscriptstyle \mathrm{H}}$	$8,4\cdot10^{-10}$
8. Валентность катиона Fe <sup>+2</sup>	_	$n_e$	2
9. Заряд электрона	Кл	E	$1,6\cdot10^{-19}$
10. Полная обменная емкость катиона КУ-2 [3, 4]	ммоль-экв/г	$x_0^*$	4,75
11. Удельный объем сухого катионита	м <sup>3</sup> /кг	$v_0$	3·10 <sup>-3</sup>
12. Эквивалентный средний диаметр гранул катионита	M	D	9.10 <sup>-4</sup>

Окончание табл. 1

	Размер-	Обозна-	Величи-
Наименование параметра	ность	чение	на
13. Константа равновесия катионита		$\kappa_{\mathrm{p}}$	1,2
14. Порозность неподвижного слоя катионита	$M^3/M^3$	$\epsilon_0$	0,4
15. Коэффициент диффузии извлекаемых ионов в очищаемой воде	м <sup>2</sup> /с	$D_{y}$	2,85·10 <sup>-9</sup>
16. Насыпная плотность влажного набухшего ионита	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{\scriptscriptstyle H}$	800
17. Высота неподвижного слоя ионита	M	Н	0,2
18. Диаметр модуля	M	D	0,2
19. Масса ионита в слое	ΚΓ	G	3,5
20. Объем насыпного слоя ионита	M <sup>3</sup>	V	6,3.10 <sup>-3</sup>
21. Фиктивная скорость очищаемой воды через слой ионита	м/с	$v_{\rm p}$	8,85·10 <sup>-4</sup>
22. Число Архимеда		Ar	1970
23. Число Рейнольдса		Re	0,724
24. Число Шмидта	_	Sc	385
25. Число Шервуда	_	Sh	9,18
26. Коэффициент внешней массоотдачи	м/с	$\beta_{v}$	$2,91 \cdot 10^{-5}$
27. Динамическая емкость по катионам $Fe^{+2}$ всего слоя катионита в модуле	КГ	$M_{\scriptscriptstyle \mathrm{H}}$	0,464
28. Кажущаяся плотность влажного набухшего катионита	кг/м³	$\rho_{\kappa}$	1333
29. Кажущаяся плотность сухого катионита	кг/м <sup>3</sup>	ρи	555,5
30. Равновесная концентрация в катионите, соответствующая начальной концентрации извлекаемых ионов в воде	кг/кг	X <sub>H</sub> *	0,133
31. То же для конечной концентрации извлекаемых ионов в воде	кг/кг	<i>X</i> <sub>K</sub> *	2,65·10 <sup>-3</sup>

В табл. 2 приведены результаты расчетов ионообменного модуля для очистки воды от ионов двухвалентного железа с начальной концентрацией  $C_0=18$  мг/л (в 60 раз превышающей ПДК) до конечной концентрации, соответствующей ПДК  $C_{\rm k}=0.3$  мг/л при различной напряженности электрического поля E.

T а б л и ц а  $\,2\,$  Зависимость основных рабочих параметров ионообменной очистки катионов  $Fe^{+2}$  от напряженности электрического поля

Наименование параметра		Напряженность $E$ , $B/M$								
паименование параметра	0	10	20	30	40	50	60			
1. Общий коэффициент внешней массоотдачи $\beta_e$ ·10 <sup>5</sup> , м/с	2,91	4,29	5,66	7,04	8,42	9,8	11,1			
2. Объемный коэффициент массо- передачи $K_V$ , 1/c	0,116	0,171	0,223	0,282	0,337	0,392	0,447			
3. Время защитного действия, ч	151,9	177,7	194,5	206,9	216,5	224,5	231,1			
4. Степень использования обменной емкости ионита	0,58	0,68	0,74	0,79	0,83	0,86	0,88			
5. Объем очищенной до ПДК по ионам железа воды	15,2	17,8	19,4	20,7	21,6	22,4	23,1			

Как видно из данных табл. 2, увеличение напряженности электрополя приводит к возрастанию общего коэффициента внешней массоотдачи, объ-

емного коэффициента массопередачи, времени защитного действия за счет увеличения степени использования обменной емкости ионита.

На рис. 1 показано, как увеличивается обменная емкость ионита за счет более «плотной упаковки» извлекаемых ионов в ионообменном слое с ростом напряженности электрополя. Здесь же для сравнения показано (линия 4) распределение концентрации извлекаемых ионов в слое ионита при напряженности электрополя  $E=60~\mathrm{B/m}$  в момент времени, соответствующий времени защитного действия в обычном ионообменном модуле, т.е. при  $E=0~\mathrm{B/m}$  и  $t_{\mathrm{K}}=152~\mathrm{y.}$ 

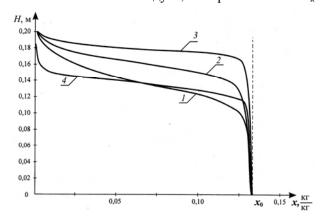


Рис. 1. Профили концентрации извлекаемых ионов в катионите КУ-2 по высоте слоя при напряженности электрополя: I - E = 0 В/м; 2 - E = 30 В/м; 3 - E = 60 В/м по окончании времени защитного действия; 4 - E = 60 В/м в момент времени, соответствующий окончанию защитного действия для ионообмена при E = 0 В/м

На рис. 2 показано, как уменьшается по высоте слоя ионита концентрация извлекаемых ионов в очищаемой воде. В рассмотренном модуле напряженность электрического поля E=60 В/м при высоте ионообменного слоя 20 см обеспечивается при разности потенциалов U=12 В, которые подаются на перфорированные диски-электроды, установленные на верху и на дне слоя ионита.

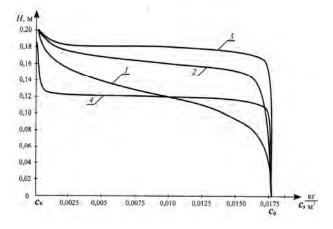


Рис. 2. Профили концентрации извлекаемых ионов в очищаемой воде по высоте слоя при напряженности электрополя: I - E = 0 В/м; 2 - E = 30 В/м; 3 - E = 60 В/м по окончании времени защитного действия; 4 - E = 60 В/м, в момент времени, соответствующий окончанию защитного действия для ионообмена при E = 0 В/м

Таким образом, при напряженности электрического поля E=60 В/м или разности потенциалов 12 В можно увеличить время защитного действия и объем очищаемой жидкости более чем в 1,5 раза за счет более полного использования ионообменной емкости гранул катионита.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. *Родионов А.И.*, *Клушин В.Н.*, *Торочешников Н.Н*. Техника защиты окружающей среды : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Химия, 1989. 512 с.
- 2. Голованчиков А.Б., Ефремов М.Ю. Интенсификация сорбционных процессов в электрическом поле: учеб. пособие / ВолгГТУ. Волгоград, 2005. 72 с.
- 3. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию / Г.С. Борисов [и др.] ; под ред. Ю.И. Дытнерского. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Химия, 1991. 496 с.
- 4. *Тимонин А.С.* Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования : справочник. Т. 2. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. 852 с.
- 5. *Голованчиков А.Б., Сафонов Е.В.* Исследование процесса адсорбции газов в электрическом поле // ТОХТ. 2003. Т. 37. № 5. С. 548—550.
- 6. Голованчиков А.Б., Ефремов М.Ю., Рязанов М.А. Моделирование адсорбционных процессов в электрическом поле // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2003. Т. 46. вып. 3. С. 135—137.
- 7. Машины и аппараты химических производств / И.И. Чернобыльский [и др.] ; под ред. И.И. Чернобыльского. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1975. 456 с.
- 8. Доклад о состоянии окружающей природной среды Волгоградской области в 2005 г. Волгоград: Перемена, 2006. 53 с.
- 9. *Масаелян С.М., Быков А.А.* Экологическое состояние водных объектов Волгоградской области и пути его улучшения : монография. Волгоград : ТриАС, 2004. 93 с.
- 10. СанПиН 2.1.4 1074—01 Технические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ralib.ru.
- 11. Инженерная защита окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов / Ю.А. Бирман [и др.]; под ред. Ю.А. Бирмана и Н.Г. Вурдовой. М., 2002. 296 с.
  - 12. Слета Л.А. Химия: справочник. Харьков: Фалио, Ростов н/Д: Феникс, 1997. 496 с.
- 1. Rodionov A.I., Klushin V.N., Torocheshnikov N.N. Tekhnika zashchity okruzhayushchey sredy: ychebnik dlya vyzov. 2-e izd., pererab. I dopoln.: M.: Khimiya, 1989. 512 s.
- 2. Golovanchikov A.B., Efremov M.Yu. Intensifikatsiya sorbitsionnykh protsessov v elektricheskom pole: uchebnoe posobie / VolgGTY. Volgograd, 2005. 72 s.
- 3. Osnovnye protsessy I apparaty khimicheskoy tekhnologii: posobie po proektirovaniyu / G.S. Borisov [i dr.]; pod red. Yu. I. Dytnerskogo. 2-e izd., pererab. I dopoln.: M.: Khimiya, 1991/496 s.
- 4. *Timonin A.S.* Osnovy konstryirovaniya I rascheta khimiko-tekhnologicheskogo I pridokhranogo oborydovaniya: spravochnik. T.2. Kalyga: Izd-vo N. Bocharnikovoy, 2002. 852 s.
- 5. *Golovanchikov A.B., Efremov M.Yu., Safronov E.V.* Issledovanie protsessa adsorbtsii gazov v electricheskom pole // TOKHT. 2003/ T. 37, № 5. S. 548—550.
- 6. *Golovanchikov A.B., Efremov M.Yu., Ryazanov M.A.* Modelirovanie adsorbitsionnykh gazov v electricheskom pole // Izvestiya vyzov. Khimiya I khimicheskaya tekhnologiya. 2003. T. 46, vyp. 3. S. 135—137.
- 7. Mashiny I apparaty khimicheskikh proisvodstv / I.I. Chernobylskiy [i dr.]; pod red. I.I. Chernobylskogo. 3-e izd. pererab. i dopoln. M.: Mashinostroenie, 1975. 456 s.
- 8. Doklad o sostoyanii okruzhayushchey prirodnoy sredy Volgogradskoy oblasti v 2005 g. Volgograd : Peremena, 2006. 53 s.
- 9. *Masaelyan, S.M., Bykov A.A.* Ekologicheskoe sostoyanie vodnykh ob"ektov Volgogradskoy oblasti I puti ego uluchsheniya: monografiya. Volgograd: TriAS, 2004. 93 s.
- 10. SanPiN 2.1.4 1074—01. Tekhnicheskie trebovaniya k kachestvy vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya [Electronnyy resyrs]. Rezhim dostypa: http://www.ralib.ru.
- 11. Inzhenernaya zashchita okruzhayushchey sredy. Ochistka vod. Ytilizatsiya otkhodov / Yu.A. Birmana [i dr.]; pod red. Yu.A. Birmana I N.G. Vyrdovoy. M., 2002. 296 s.
  - 12. Sleta L.A. Khimiya: spravochik. Khar'kov: Falio; Rostov n/D: Fenix, 1997. 496 s.

© Голованчиков А.Б., Ефремов М.Ю., Дулькина Н.А., Новиков М.Г., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 628.33

#### А.В. Алешин, В.С. Алешин, Е.Б. Рассказов

### ДООЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЦЕХА ЭЛЕКТРОВОЗОРЕМОНТНОГО ЗАВОДА ФИЛЬТРОВАНИЕМ ЧЕРЕЗ РАЗЛИЧНЫЕ ЗЕРНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Приведены результаты длительных экспериментальных исследований доочистки сточных вод гальванического цеха на пилотной установке с различными зернистыми фильтрующими материалами. Представлены данные эффективности работы фильтров с различной зернистой загрузкой при работе установки в гальваническом цехе электровозоремонтного завода.

К л ю ч е в ы е с л о в а: кварцевый песок, керамзит, полистирол, фарфор, доочистка, сточные воды, гальванический цех.

Researches of additional cleaning of were spent on the special semiindustrial equipment consisting of four columns in diameter of 200 millimeters, loaded by quartz sand, porcelain, haydite and polystyrene. The equipment's height was to equal height of the industrial pressure head filter, and the expense of sewage on all columns was identical.

K e y w o r d s: quartz sand, haydite, porcelain, polystyrene, additional cleaning, sewage, galvanic shop.

Для исследований была смонтирована из трубопровода Ø150 мм опытная установка, которая была оборудована системой для промывки загрузок и пьезометрами. С их помощью измерялась потеря напора в загрузках по их слоям. Колонки установки работали с постоянной скоростью фильтрования, что обеспечивалось путем подачи воды в каждую модель через калиброванные насадки с истечением под постоянным уровнем. В таблице приведены опытные данные по влиянию скорости фильтрования размера зерен на кинетику осветления и прирост потери напора кварцевого песка, керамзита, полистирола и фарфора. Данные по продолжительности защитного действия были получены путем изменения концентрации суспензий на выходе из слоев различной толщины. Отмечали продолжительность работы слоя до того момента, когда относительная концентрация суспензии  $c/c_0$  становилась равной определенной и для всех слоев одинаковой величине, соответствующие значения  $c/c_0$  в таблице. Параметры фильтрования b и a/b определяли расчетом по формулам из [1, 2]. Для определения коэффициентов β и β/α по опытным данным вычисляем X' и T' по формулам [1, 2], так как X = f(T) действительно существует и может быть выражена линейной функцией

$$X' = KT' + X'_0. \tag{1}$$

Сопоставление экспериментальных и теоретических зависимостей X=f(T) и X=f(T') дает простой способ вычисления коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$ . Умножим правую и левую части уравнения (1) на параметры  $\alpha$  и  $\beta$ . В результате получим

$$X'\beta = K'\beta T' + X'_{o}\beta, \tag{2}$$

или

$$X = KT + X_0, \tag{3}$$

где K и  $X_0$  — константы, значения которых зависят от требуемого эффекта осветления  $c/c_0$  для кварцевого песка и принимаются по таблице и рис. 1 и 2.

Так как  $X = \beta X'$ ;  $T = \alpha T'$ , то  $\beta = X/X'$   $\beta/\alpha = K/K'$ , Для определения прироста потери напора используем функцию F(A) и предельную насыщенность A. Опытные значения X' и T' довольно хорошо укладываются вдоль прямых. Это соответствует характеру практической зависимости X = f(T) при  $c/c_o = \text{const}$ , которая может быть представлена в виде линейной функции в широком диапазоне изменений X и T. Формулы для определений критериев X и T (или параметров A и A), учитывающие влияние скорости фильтрования и размер зерен кварцевого песка загрузки, пригодны для расчетов продолжительности действия защитного слоя. При обработке опытных данных доказано (табл.), что параметр A изменяется пропорционально исходной концентрации, а параметр A по физическому смыслу не зависит от концентрации, также как и предельная насыщенность A [1—3].

Показатели работы опытной фильтровальной установки

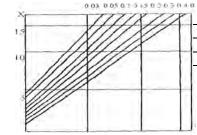
Фильт- рующий матери- ал	Диа- метр <i>d</i> зерен, мм	Скорость фильтра- ции, м/ч	<i>t</i> , ч, <i>x</i> =150см	<i>h</i> , см	$i_0$	b, м <sup>-1</sup>	а/b, м/ч	F(A)	A	c/c <sub>o</sub>
	0,8	7,4	14,6	5,26	0,6	9,9	0,0218	3,5	0,45	0,1
	0,8	10,6	8,6	6,8	0,9	8,15	0,0354	2,1	0,36	0,1
	1,0	15,1	5,06	5,14	0,8	2,09	0,0846	0,7	0,18	0,1
Кварце-	1,45	15,1	2,63	1,96	0,4	1,6	0,096	0,48	0,11	0,1
вый	0,8	7,0	15	3,3	0,3	12,5	0,0475	2,0	0,35	0,05
песок	0,8	10,2	8,7	5,5	0,6	10,2	0,077	1,15	0,24	0,05
	1,0	14,8	0,81	4,93	0,5	2,92	0,1697	0,50	0,12	0,05
	1,45	14,8	1,69	1,5	0,2	1,74	0,22	0,25	0,06	0,05
	1,43	7,0	1,31	3,7	0,1	22,3	0,006	50	0,82	0,05
п с	1,43	10,2	75	5,8	0,1	16,3	0,01	32	0,78	0,05
Дробле-	1,43	14,8	42	11,4	0,2	12,6	0,017	25	0,74	0,05
ный ке-	1,43	7,4	109	6,9	0,1	16,2	0,008	48	0,81	0,1
рамзит	1,43	10,6	65	10,5	0,2	13,3	0,013	30	0,77	0,1
	1,43	15,1	38	18	0,3	10,6	0,021	22	0,73	0,1
	1,34	7,0	91	1,98	0,1	14,0	0,008	22	0,73	0,05
п с	1,34	10,2	50	3,81	0,1	11,4	0,014	16	0,67	0,05
Дробле-	1,34	14,8	27,7	5,6	0,2	9,83	0,024	9,4	0,61	0,05
ный фар-	1,34	74	73	3,8	0,1	10,5	0,011	21	0,72	0,1
фор	1,34	10,0	43	7,1	0,2	9,01	0,018	16	0,67	0,1
	1,34	15,1	24,6	10,2	0,3	7,79	0,030	9,4	0,61	0,1
	0,8	7,0	45,6	8,4	0,6	12,3	0,022	6	0,53	0,1
	0,85	8,3	43,5	8,4	0,6	12,0	0,023	5,9	0,53	0,1
Полисти-	0,9	8,6	41,7	17,8	1,2	11,1	0,024	5,9	0,53	0,1
	0,93	8,9	27,0	7,3	0,4	10,6	0,037	4,7	0,50	0,1
рол	1,0	9,1	77	3,6	0,9	20,4	0,013	3	0,42	0,05
	1,15	10,1	66	2,7	0,6	1,58	0,019	2,3	0,38	0,05
	1,25	14,0	40	1,2	0,4	1,20	0,024	1,2	0,28	0,05

Для учета структурных особенностей фильтрующей среды, на основании опытных данных (см. табл.) производим связь параметров b, a/b и A для различных фильтрующих материалов.

$$b_{\text{крм}} = 2,46b_{\text{кварц}}; (a/b)_{\text{крм}} = 0,4(a/b)_{\text{кварц}}; (1-A_{\text{крм}}) = 0,46(1-A_{\text{кварц}});$$
 (4)

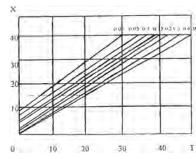
$$b_{\phi ap} = 1.7 b_{\kappa Bapil}; (a/b)_{\phi ap} = 0.57 (a/b)_{\kappa Bapil}; (1-A_{\phi ap}) = 0.68 (1-A_{\kappa Bapil});$$
 (5)

$$b_{\text{пл}} = 1,15b_{\text{кварц}}; (a/b)_{\text{пл}} = 0,85(a/b)_{\text{кварц}}; (1-A_{\text{пл}}) = 0,92(1-A_{\text{кварц}}).$$
 (6)



				0,15				
$X_{\rm o}$	4,2	3,7	3	2,2	1,8	1,2	0,92	0,7
К	1,86	1,69	1,51	1,45	1,36	1,23	1,1	1,0

Рис. 1. X—T диаграмма для  $C/C_{\rm o}$  = const при значениях X от 0 до 16



$c/c_{\rm o}$	0,03	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5
$X_{o}$	8,2	6,8	5,6	4,9	4,3	2,8	1,9	0,7
К	1,4	1,29	1,24	1,19	1,15	1,11	1,04	1,0

Рис. 2. X—T диаграмма для  $C/C_{\rm o}={\rm const}$  при значениях X от 14 до 50

Все полученные зависимости дают возможность сократить объем фильтрационных анализов и использовать накопленные ранее результаты фильтрационных анализов, проведенных с кварцевым песком, при применении других материалов.

На рис. З приведены графики прироста потери напора по высоте загрузки. Качество фильтрата на протяжении опытов оставалось постоянным при исходной концентрации взвешенных веществ  $C_0 = 10 \text{ мг/л}$ .

Из графика видно, что потери напора в кварцевом песке больше, чем в полистироле, фарфоре и керамзите, поэтому и фильтроцикл в кварцевом песке меньше, чем в перечисленных фильтрующих материалах (см. табл.).

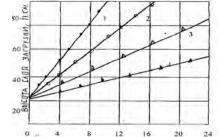


Рис. 3. Прирост потери напора по высоте загрузки: I — кварцевый песок; 2 — полистирол; 3 — фарфор; 4 — керамзит

В результате исследований выявлено: наиболее рациональным и эффективным фильтрующим материалом являются фарфор и керамзит.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Минц Д.М. Теоретические основы метода моделирования процесса фильтрования // Материалы научно-технического совещания по вопросам внедрения науки и техники в городское хозяйство / МКЛ РСФСР. 1958. Вып. 2. 158 с.
- 2. *Минц Д.М., Криштул В.П.* Исследования процесса фильтрации суспензии в зернистом слое // Журнал прикладной химии / АП СССР. Т. XXXIII. 1960. 135 с.
- 3. *Алешин В.С., Вертий В.В., Мережско В.Т.* Доочистка сточных вод на фильтрах с различной загрузкой. Т. 7 // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2000.

© Алешин А.В., Алешин В.С., Рассказов Е.Б.,2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 628.356.31:664.6/7

### В.Н. Саинова, Е.В. Ушакова, Д.И. Саинов, А.Н. Костров

## РАЦИОНАЛЬНАЯ ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ СХЕМА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КОНДИТЕРСКОЙ ФАБРИКИ

Проведены экспериментальные исследования по изучению состава сточной воды кондитерской фабрики, исследованию процесса биологической очистки сточной воды на лабораторной установке, состоявшей из моделей аэротенков с пневматической аэрацией и моделей илоотделителей в виде вертикальных отстойников, снабженных насосами-дозаторами для подачи воды и циркуляции ила. В ходе эксперимента были исследованы две технологические системы очистки: одноступенчатая и двухступенчатая.

Математическая обработка результатов экспериментальных исследований состояла в определении констант уравнений ферментативных реакций графоаналитическим методом с помощью графиков двойных обратных величин.

Впервые получены численные значения констант уравнений ферментативных реакций для процесса биологической очистки сточной воды кондитерской фабрики.

Ключевые слова: биологическая очистка, сточные воды, кондитерская фабрика, активный ил, константы уравнений ферментативных реакций.

The two-level installation with silt separators at each step is investigated for development of the rational sewage treatment circuit of the confectionery enterprises. In comparison with one-level circuit the effect of sewage treatment on Biological consumption of oxygen has raised up to 95 %, volumes of constructions were reduced to 30 %. Using of the equations enzymes reactions has allowed to optimize process of clearing to choose rational parities of constructions volumes.

 $K\ e\ y\ w\ o\ r\ d\ s$ : biological clearing, sewage, confectionery factory, active silt, constants of the equations enzymes reactions.

В последние годы в России наблюдается ярко выраженная тенденция технического переоснащения заводов. Прежде всего, это затрагивает процессы производства продуктов питания. Стремление соответствовать высшему потребительскому уровню приводит к изменению технологии и качества производства. Изменение технологии влечет за собой изменение качества образующихся производственных сточных вод. В результате сточные воды заводов становятся более концентрированными.

Сегодняшняя ситуация с состоянием природной среды, особенно в промышленно развитых регионах, заставляет разрабатывать и вводить в действие все более жесткие нормативы на сброс загрязнений в окружающую среду Серьезное загрязнение природной среды сточными водами производят кондитерские предприятия.

Характерной особенностью сточных вод кондитерских предприятий является наличие в их составе органических веществ, находящихся в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии. Содержащиеся в сточных водах кондитерских фабрик жировые вещества вызывают зарастание водоотводящих коллекторов. Трудно окисляемые вещества нарушают структуру активного ила при биологической очистке сточных вод в аэротенках на городских очистных сооружениях канализации, затрудняют сбраживание осадка активного ила. Загрязненные поверхностные сточные воды оказывают негативное влияние на водный объект.

Сточные воды кондитерских предприятий характеризовались следующими показателями, мг/л: БПК $_{\rm полн}=600$ , ХПК = 1200, концентрация аммонийного азота — до 110, фосфора — до 26, взвешенные вещества, включая жиры, — 1500.

Для очистки концентрированных сточных вод перспективны многоступенчатые схемы [1], однако применительно к стокам кондитерских предприятий расчетные параметры таких схем неизвестны.

Для разработки рациональной технологической схемы биологической очистки сточных вод кондитерских предприятий выполнен цикл экспериментальных исследований, которые проводились в лабораторных условиях на натуральной сточной воде кондитерской фабрики, прошедшей механическую очистку (отстаивание).

Экспериментальная установка состояла из моделей аэротенков с пневматической аэрацией объемом до 10 л и моделей илоотделителей в виде вертикальных отстойников, снабженных насосами-дозаторами для подачи воды и циркуляции ила. Из этих моделей компоновались технологические схемы одно- и двухступенчатой очистки.

Установка двухступенчатой очистки действовала следующим образом. Сточная вода непрерывно поступала в аэротенк, где находилась иловая смесь, которая аэрировалась сжатым воздухом. При контакте сточной воды с илом в присутствии кислорода осуществлялась ее биологическая очистка. Из аэротенка иловая смесь с очищенной водой поступала в отстойник-илоотделитель, где активный ил осаждался в коническую часть, а очищенная вода через перелив далее попадала в аэротенк второй ступени для дальнейшей очистки. Далее сточная вода поступала во вторичный отстойник для удаления активного ила. Затем сточная вода удалялась из установки.

Активный ил из отстойников возвращался в аэротенки циркуляционным насосом. Наличие илоотделителя на каждой ступени, работавшей в проточных условиях, способствовало формированию своего биоценоза активного ила, наиболее приспособленного к поступающим загрязнениям, тем самым интенсифицируя весь процесс биологической очистки.

Известно, что скорость процесса биологической очистки при прочих равных условиях возрастает с увеличением концентрации активного ила и растворенного кислорода и температуры в аэротенке [2]. В связи с этим в ходе эксперимента контролировались параметры: расход сточной воды, воздуха, концентрация растворенного кислорода. Кроме того, в аэротенках регистрировалась величина рН, а также значения илового индекса. Использовались стандартные методы анализа.

Исследования состояли из нескольких серий, в каждой из которых изменяли один из регулирующих параметров. После расчета параметров оптимального режима проводили контрольный опыт, который должен был их подтвердить.

Полученные в результате экспериментов данные позволили количественно оценить влияние диктующих факторов: дозы ила и адаптации активного ила в многоступенчатых схемах.

Эффективность удаления биогенных элементов для исследованных схем приведена в табл. 1.

Таблица 1

Снижение биогенных элементов

Схема очистки	Доза ила, г/л	Общий азот, мг/л	Азот нитратов, мг/л	Азот нитритов, мг/л	Аммо- нийный азот, мг/л	Фосфор, мг/л
	0	82,5	——————————————————————————————————————	——	73,1	18,8
0	0,5	46,8	4,1	0,27	42,4	13,2
Одноступенчатая	1,5	16,5	3,4	0,11	12,9	9,1
	4,5	2,7	2,48	0,01	0,9	7,3
	0	78,2	_		75,8	26,0
Прууступациотод	0,45	38,9	4,8	0,25	33,6	20,6
Двухступенчатая	1,4	12,4	2,9	0,13	9,2	8,3
	4,7	2,2	1,2	0,05	0,2	2,2

Кинетика биохимического окисления растворенных органических загрязнений в ходе биологической очистки наиболее достоверно и информативно описывается уравнениями ферментативных реакций.

В условиях нелимитированного процесса взаимодействия с кислородом основное кинетическое уравнение имеет вид

$$\rho = \frac{\rho_m L_{ex}}{(K_L + L_{ex})(1 + \varphi a)},\tag{1}$$

где  $\rho$  — удельная скорость, мгБПК/г ч;  $\rho_m$  — максимальная удельная скорость окисления, мгБПК/г ч;  $L_{ex}$  — концентрация загрязнения в аэротенке, мгБПК/л;  $K_L$  — константа полунасыщения, мгБПК/л;  $\phi$  — коэффициент ингибирования продуктами метаболизма ила, л/г; a — доза ила в аэротенке, г/л.

Графоаналитическим методом (с помощью графиков двойных обратных величин  $1/\rho = f(1/L_{ex})$  и графиков  $1/\rho = f(1/a)$ ) определены константы уравнения (1) для всех ступеней биологической очистки. Их значения приведены в табл. 2.

Таблица 2 Значения кинетических констант

Константы	Ступени	очистки		
Константы	I	II		
$\rho_m$	357	90		
$K_L$	130	6,5		
φ	1.6	6.2		

Анализ данных табл. 2 указывает на тенденцию снижения константы  $K_L$  при разделении процесса на стадии (ступени), что обусловлено адаптацией ила. Но при этом наблюдается возрастание величины коэффициента ингибирования  $\phi$ , что снижает эффективность увеличения дозы ила в аэротенке.

Период аэрации определялся по формуле (48) [3].

$$T_a = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a(1 - Z)\rho},\tag{2}$$

где  $T_a$  — период аэрации в аэротенке-смесителе, ч;  $L_{en}$  и  $L_{ex}$  — БПК исходной и очищенной воды, мг/л; a — доза ила в аэротенке, г/л; Z — зольность ила. В данном случае Z=0,1;  $\rho$  — удельная скорость окисления, мгБПК/г ч, определяемая по (1).

Кинетическое уравнение (1) дало возможность оптимизировать многоступенчатые схемы, т.е. обоснованно назначить дозы ила и выявить рациональные соотношения между периодами аэрации в каждой ступени.

При оптимизации одноступенчатой схемы и сооружений второй ступени необходимо учитывать время пребывания воды в илоотделителях. Оно рассчитывалось по формуле

$$T_{\rm O} = \frac{H_{\rm set}}{q^{\rm ssa}},\tag{3}$$

где  $q^{\rm ssa}$  — гидравлическая нагрузка на отстойник, которая определялась по формуле (67) [3], при глубине зоны отстаивания 3 м, коэффициенте использования объема отстойника 0,4.

После преобразований:

$$T_{\rm o} = 0,69(0,1Ia)^{0,5-0,01a}T, (4)$$

где I — иловый индекс, мл/г, определялся по эмпирическим зависимостям  $I = f(\rho)$ , приведенным на графиках рис. 1;  $a_T$  — вынос ила из отстойника, мг/л.

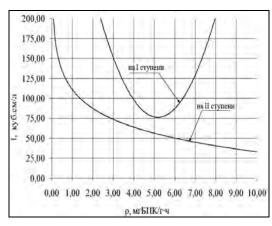


Рис. 1. Зависимость илового индекса от удельной скорости окисления

Оптимальные дозы ила для второй ступени определены с использованием зависимостей (2) и (4). Они соответствуют минимальной величине суммарного времени пребывания воды в системе аэротенки — илоотделители:

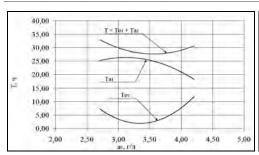
$$T = T_{\alpha} + T_{\Omega}. (5)$$

Вид зависимости (5) приведен на графиках рис. 2 и 3, откуда видно, что для двухступенчатой схемы оптимальная доза ила для I ступени равна  $a_1 = 3.5$  г/л, для II ступени —  $a_2 = 2.0$  г/л.

После ряда последовательных приближений по уравнениям (1) и (2) определены оптимальные соотношения между периодами аэрации в одноступенчатой и двухступенчатой схемах, которые соответствуют минимальному значению общего периода аэрации:

$$T_a = T_{a_1}$$
 или  $T_a = T_{a_1} + T_{a_2}$ , (6)

где  $T_{a_1}$ ,  $T_{a_2}$  — периоды аэрации на I и II ступенях.



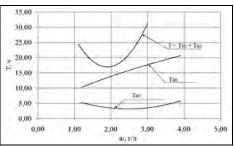


Рис. 2. Зависимость  $T_{a_1}$  ,  $T_{\mathbf{o}_1}$  и T от  $a_1$  Рис. 3. Зависимость  $T_{a_2}$  ,  $T_{\mathbf{o}_2}$  и T от  $a_2$ 

Зависимости величины общего периода аэрации от БПК после I и II ступеней аэрации приведены на графиках рис. 4, откуда следует, что оптимальные значения для двухступенчатой схемы  $T_{a_1}=27,98$  ч;  $T_{a_2}=17,45$  ч. Остальные технологические параметры оптимальных режимов приведены в табл. 3.

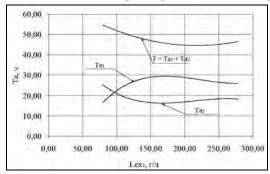


Рис. 4. Зависимость  $T_{a_1}$  ,  $T_{a_2}$  и T от  $L_{ex_1}$ 

Следует отметить, что введение второй ступени позволило существенно снизить общее время пребывания воды в сооружениях (с 63,10 до 48,19 ч, т.е. в 1,63 раза).

Соответственно на 30 % уменьшается и общий объем очистных сооружений.

При переходе от одно- к двухступенчатой схеме изменяются и технологические парамет-

ры: период аэрации на I ступени сокращается примерно в 2 раза за счет возможности повышенного выноса ила из илоотделителя I ступени с 10 до 15 мг/л; существенно снизилось время пребывания в нем (с 2,18 до 1,14 ч), увеличилась доза ила в аэротенке I ступени с 2,5 до 3,5 г/л.

При двухступенчатой схеме очистки с повышенными дозами ила возрастала эффективность удаления биогенных элементов по сравнению с одноступенчатой схемой (см. табл. 1). Дополнительным преимуществом двухступенчатой схемы является снижение илового индекса, что улучшает условия отстаивания иловой смеси.

Выводы. 1. В результате экспериментальных исследований и оптимизационных расчетов показана перспективность многоступенчатых схем. Для концентрированных сточных вод кондитерских предприятий рациональна двухступенчатая схема с илоотделителями на каждой ступени. Ее применение позволяет на 30 % сократить объемы сооружений по сравнению с одноступенчатой схемой.

2. Подтверждено, что процесс биологической очистки концентрированных сточных вод кондитерских предприятий описывается модифицированными уравнениями ферментативных реакций, использование которых позволяет оптимизировать процесс, выбрать рациональные соотношения объемов сооружений в многоступенчатых схемах и другие технологические параметры их работы.

 $T \ a \ б \ л \ и \ ц \ a \ 3$  Параметры оптимальных режимов биологической очистки

		Схемы с	чистки
	Параметры ступеней очистки	Односту-	Двухсту-
	1	пенчатая	пенчатая
	Период аэрации $T_{a}$ ч	60,92	27,98
	БПК очищенной воды $L_{ex}$ мг/л	215	205
Laminani	Доза ила $a_1$ , г/л	2,5	3,5
I ступень	Вынос ила $a_{T_1}$ , мг/л	10	15
	Время отстаивания $T_{0_1}$ , ч	2,18	1,14
	Общее время пребывания $T_1 = T_{a_1} + T_{o_1}$	63,1	29,12
	Период аэрации $T_{a_2}$ , ч	_	17,45
	БПК очищенной воды $L_{ex_2}$ , мг/л	_	17
Потупон	Доза ила $a_2$ , г/л	_	2
II ступень	Вынос ила $a_{T_2}$ , мг/л		40
	Время отстаивания $T_{0_2}$ , ч	_	1,62
	Общее время пребывания $T_2 = T_{a_2} + T_1 + T_{0_2}$	_	48,19

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Биологическая очистка производственных сточных вод. Процессы, аппараты и сооружения / С.В. Яковлев, И.В. Скирдов, В.Н. Швецов и др. М.: Стройиздат, 1985.
- 2. Канализация населенных мест и промышленных предприятий : справ. проектировщика. М. : Стройиздат, 1981.
  - 3. СНиП 2.04.03—85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
- 1. Biologicheskaya ochistka stochnih vod. Processi, apparati i soorugeniya / S.V. Yakovlev, I.V. Skirdov, V.N. Shvetsov i dr. M. : Stroiizdat, 1985.
- 2. Kanalizaciya nacelennih mest i promishlennih predpriyatii: Sprav. Proektirovschika. M. : Stroiizdat, 1981.
  - 3. SNiP 2.04.03—85 «Kanalizaciya. Narugnie seti i soorugeniya».

© Саинова В.Н., Ушакова Е.В., Саинов Д.И., Костров А.Н., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

### ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ. АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 711.42

### А.Н. Терягова

# АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ В БЕЗБАРЬЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ

Содержатся материалы диссертационного исследования автора, посвященного разработке архитектурной концепции формирования безбарьерной городской среды для пожилых людей. Предлагаются рекомендации по методике реконструкции городских пространств для пожилых с целью их архитектурного доформирования до качества гуманной среды.

К л ю ч е в ы е с л о в а: городская среда, пространства для людей с ограниченными возможностями, безбарьерная городская среда, архитектура для пожилых людей, доступность.

This article includes material the author's dissertation research on the development of the architectural concept of the formation of barrier-free urban environment for the elderly. We propose recommendations on how the reconstruction of urban spaces for the elderly to their architectural improvements to the quality of a humane environment.

K e y  $\,$  w o r d s: urban environment, disabled facilities, barrier-free urban environment, architecture for the elderly, outdoor accessibility.

Есть несколько основных социально-демографических причин, наиболее характерных для современности, которые серьезным образом влияют на преобразование городской среды. Среди них глобальное постарение населения, миграция, изменение общего социально-психологического настроя отдельного человека, его отношения к институту семьи и брака.

На таком общем фоне городская среда должна качественно изменяться. На первый план выходит необходимость гуманизации городской среды [1].

Похоже, что в России пришло, наконец, то время, когда не нужно убеждать общественность, проектировщиков и строителей в необходимости создавать такую среду жизнедеятельности человека и общества, которая была бы доступна и удобна для престарелых, инвалидов и других маломобильных групп населения.

Критерием адаптации человека к архитектурной среде является, на наш взгляд, мобильность — определенное состояние, свойство индивидов и групп, которое выражается в потенциальной готовности к восприятию новой информации, к изменению пространственной локализации [2]. В данном случае мобильность — это степень интегрированности рассматриваемой социальной группы в жизнь городского сообщества.

Гуманная среда — это безбарьерная среда. *Безбарьерная городская среда* (БГС) — это среда, доступная всем членам городского сообщества независимо от их возраста, состояния здоровья, степени социальной и физической активности, среда, не содержащая в себе физических или моральных преград, препятствующих активной жизнедеятельности людей, пребывающих в ней. Это многофункциональная среда, приспособленная для всех представителей городского сообщества и, в особенности, для нужд людей с ограниченными возможностями, позволяющая экономить их ограниченные силы, давая возможность проявить свою трудоспособность в течение более длительного срока.

Для России вплоть до двухтысячных годов характерно отстранение от проблемы инвалидов и престарелых, или, как корректнее говорить, людей с ограниченными возможностями (disabled persons). На Западе преобразования начались несколько десятков лет назад, у нас на законодательном уровне о проблеме начали говорить только сегодня.

Целью данной работы является выявление архитектурно-ландшафтных принципов формирования каркаса безбарьерной городской среды.

Основанием для этого служит анализ опыта проектирования и строительства элементов БГС, а также, проведенные на примере г. Самары исследования маршрутизации городской среды.

Принципы формирования безбарьерной среды при планировании новых и реконструкции существующих городов должны отвечать основным характеристикам «идеальной» модели безбарьерной среды.

Провести простейшую математическую оценку качества безбарьерной городской среды можно, например, с использованием квалиметрического метода оценки [3]. Этот метод вполне удобен для сравнительного анализа отрезков маршрута в границах безбарьерного русла. Предполагаемая в перспективе методика оценки основана на выявлении территорий с наилучшим качеством «безбарьерности» городской среды по группе выявленных оценочных критериев.

Подразумевается гибкий характер данного варианта оценки, так как заложена возможность увеличения числа оценок, что, в конечном счете, сказывается на итоговом показателе и позволяет более точно определить степень «безбарьерности» исследуемого маршрута на территории города, района или конкретного участка. В расчет принимаются количественные (по выбранным критериям) характеристики безбарьерной среды. Оценка качества городских безбарьерных «русел» согласно квалиметрическому методу оценки предполагает несколько последовательных операций:

выделение критериев качества безбарьерной среды;

введение дифференциации оценочных критериев по свойствам;

установление аналитическим путем эталонных значений по ряду критериев; определение степени значимости отдельных свойств безбарьерной среды внутри каждого критерия с использованием конкретных экспертных оценок;

расчет по каждому критерию коэффициента «безбарьерности» территории; расчет коэффициента «безбарьерности» территории, представляющего собой суммарное значение по отдельным оценочным критериям.

Предлагаемая схема оценочных критериев и свойств не является жесткой, что не исключает впоследствии дополнения дерева свойств новыми критериями и свойствами [3].

Можно выявить три основных критерия качества «безбарьерности» городской среды: моторика, сервис, информационная поддержка.

Моторика — качество оценки среды, рассматриваемое с точки зрения удобства передвижение пожилых людей в пределах рассматриваемой территории. В этом случае свойства среды по рассматриваемому критерию делятся на четыре (для данного исследования) группы:

планировочные меры, характеризующиеся наличием элементов вертикальных коммуникаций (пандусов, лестниц со специальными параметрами);

меры дополнительной безопасности (поручни, перила);

наличие специальных механизмов и устройств (эскалаторы, траверсы, передвижные трапы и платформы);

наличие элементов для кратковременного отдыха на участках пути (скамьи, навесы).

*Сервис* — система общедоступного попутного обслуживания пожилых людей. Три основных свойства этого критерия состоят:

в наличии объектов социального и медицинского обслуживания на рассматриваемом участке городской среды;

наличии элементов безопасности («тревожные» кнопки, специальные приспособления, обеспечивающие дополнительную безопасность для людей с ограниченными возможностями;

наличие доступных видов автоматического обслуживания на всем протяжении рассматриваемого отрезка пути.

*Информационная поддержка* — критерий, характеризующий неотъемлемое качество среды — информативность. Свойствами данного критерия являются соответствующие виды информирования на безбарьерном маршруте:

визуальные информаторы (указатели, стенды, таблицы, разметка); акустические информаторы (звуковые сигнализаторы, оповещатели); тактильные информаторы (специальное мощение, направляющие тактильные полосы, шрифт Брайля).

1. Принцип «каркас на каркасе» подразумевает формирование «безбарьерных коридоров» в сложившейся коммуникационной структуре города. Этот принцип включает расчет и размещение пешеходных связей, адаптацию существующих и разработку новых маршрутов для нужд людей с ограниченными возможностями. При разработке системы этих маршрутов выделяется несколько основных препятствующих моментов.

Часто существующая проработка вертикальной планировки в местах проблемных ситуаций на природном ландшафте не отвечает требованиям безбарьерности. В большинстве случаев существующие пешеходные маршруты имеют пересечения с транспортными потоками в одном уровне, не оборудованные специально для людей с ограниченными возможностями.

Пешеходные коридоры, ведущие к объектам обслуживания и торговли, имеют, как правило, большую протяженность из-за препятствующей застройки и несоответствия параметрических характеристик самого пути требованиям безбарьерности.

Принцип формирования безбарьерных пешеходных связей «каркас на каркасе» подразумевает три основных стадии проектирования. Необходимо отметить, что эта работа невозможна без предварительного анализа рассматриваемой территории.

Первая стадия формирования безбарьерных пешеходных маршрутов по принципу «каркас на каркасе» — это выявление существующих пешеходных

трассировок с обозначением на них всех возможных проблемных ситуаций. Выявляются также относительно благоприятные зоны для присутствия людей с ограниченными возможностями. При этом маршруты подразделяются на общегородские — протяженные бульвары и аллеи, связывающие различные административные единицы города; внутриквартальные — связи между функционально-пространственными единицами жилых районов; целевые — обеспечивающие доступ к общественным зданиям и сооружениям.

Существующие рекреационные территории рассматриваются как узловые соединения пешеходных маршрутов. На этой стадии анализируются участки так называемой «проблемной» рекреации, т.е. территорий, потенциально предназначенных для отдыха горожан, но не приспособленных и не оборудованных для этой цели. Так же отмечаются участки с осложненным доступом к рекреации. В городе эти доступы часто затрудняются пересечением пешеходных маршрутов с крупными транспортными магистралями, железнодорожными путями, промышленными территориями.

Таким образом, первый этап формирования безбарьерных городских пространств по принципу «каркас на каркасе» определяет список проблем на существующих городских пешеходных маршрутах.

Второй стадией рассматриваемого принципа является разработка «идеального каркаса» безбарьерных пешеходных маршрутов. «Идеальный каркас» — это модель пешеходной структуры без учета градостроительных ограничений. Градостроительные ограничения в данном случае — объективные преграды, сформированные из существующих зданий и комплексов различного назначения: жилых, административных, промышленных, — препятствующих передвижению пешеходов по прямолинейной траектории. По словам Ле Корбюзье, «прямая линия оздоровляет город. Кривая несет ему разорение, всякого рода опасности и осложнения, парализует жизнь...» [4].

«Идеальная модель» каркаса подразумевает наличие «целевых узлов» пешеходного маршрута, т.е. объектов, которые по результатам предварительного исследования и опроса заинтересованных респондентов являются наиболее привлекательными для представителей старшей возрастной группы. Среди них не только элементы системы медицинского и социального обслуживания, но и объекты рекреации и отдыха, культурно-бытового обслуживания, торговли, культовые объекты. В условиях «идеального каркаса» к пешеходным маршрутам предъявляются основные требования. Это наименьшая протяженность, изоляция от источников шума и загрязнения, полное соответствие параметров пути антропометрическим характеристикам людей пожилого возраста и инвалидов. При большой длине маршрута на «идеальном каркасе» предусматриваются рекреационные модули, предназначенные для кратковременного отдыха.

Третьей, заключительной стадией является синтез существующих и требуемых условий. Компромиссное решение на этой стадии возможно путем применения в некоторых случаях архитектурно-градостроительных приемов создания безбарьерной среды.

2. Принцип транспортной комфортности и инженерного оборудования безбарьерного пространства действует в результате разработки «каркаса на каркасе». На этом этапе определяется место системы инженерного оборудования и в ее составе городского транспорта на предлагаемом каркасе безбарьерных связей. Попутное инженерное оборудование на безбарьерных маршрутах можно объединить в несколько основных систем. Все системы в комплексе обеспечивают основные качества среды: доступность, комфортность и безопасность.

Средства автоматизированного попутного обслуживания включают в себя различные торговые аппараты, банкоматы, городские телефонные системы, почтовые ящики, различные контрольно-пропускные устройства. Все эти приспособления должны быть разработаны с учетом потребностей людей с ограниченными возможностями. К этой же группе относятся так называемые элементы безопасности в пути — «тревожные кнопки», сообщающие о происшествиях в соответствующие органы; системы, обеспечивающие безопасность перехода через дорогу.

Определение места для средств автоматизированного обслуживания на безбарьерном каркасе городской среды зависит от местоположения целевых объектов: общественных зданий и сооружений, рекреационных зон, мест пересечения пешеходных и транспортных потоков, остановок общественного транспорта. В этом случае большую роль играют соображения антивандальности и сохранности оборудования.

Системы оборудования вертикальных коммуникаций и подъемные устройства включают специальные лестничные марши, пандусы, конструкции перил и поручней, имеющие параметры, соотносящиеся с антропометрическими характеристиками целевой группы. В числе подъемных устройств — лифты, передвижные платформы, подъемники, эскалаторы и движущиеся трапы.

Важнейшим моментом становится система городского освещения. Светопространства общения, движения и отдыха [5] должны проектироваться исходя из возможности их использования людьми с недостатками зрения и внимания. Осветительные системы не должны создавать помех ни при движении, ни при восприятии других объектов.

3. Принцип знаковых систем отвечает одному из основных качеств безбарьерного пространства — информативности. Он подразумевает насыщение участков среды системами попутного информирования всех уровней: визуальными, акустическими и тактильными.

Знаковые системы обеспечивают возможность оповещения потребителей и своевременного реагирования на полученную информацию.

Принцип включает размещение систем информирования таким образом, чтобы ориентиры и знаки своевременно и непрерывно распознавались в пространственной среде, чтобы человек идентифицировал свою пространственную локализацию и пользовался наиболее удобными информаторами.

Включение в среду знаковых систем и объектов информирования учитывает зависимость от расстояния, угла обзора, распознаваемости и времени суток.

4. Принцип безбарьерной ландшафтной организации и доформирования среды специальными малыми формами охватывает все градостроительные уровни и применим к поэтапно разработанным маршрутам. Можно выделить основные уровни в организации такого ландшафта: частный и общегородской.

Формирование частного ландшафта — в условиях изменения отношения к собственности возрастает интерес к индивидуальному участку. Кроме эстетической составляющей ландшафтное благоустройство приусадебных территорий должно включать элементы для комфортного и безопасного пребывания детей и стариков. Проектирование частных пространств, таким образом, должно быть рассчитано на долгосрочную перспективу.

Общегородской уровень разработки безбарьерных ландшафтных средовых систем включает несколько уровней:

общегородская локальная рекреация (парки, сады);

транзитные рекреационные пространства;

благоустройство жилых групп и придомовых территорий.

Доформирование среды специальными малыми формами предполагает активное использование элементов благоустройства, специально приспособленных к нуждам людей с ограниченными возможностями движения, дефектами зрения и слуха. Этот этап в формировании безбарьерного каркаса пешеходных маршрутов необходимо проводить в соответствии с последовательностью предшествующей разработки. На специально выделенных рекреационных модулях пешеходных маршрутов, в зеленых зонах городского значения, в узлах с пересечениями пешеходных и транспортных потоков целесообразно размещать специальные малые формы.

Функционально малые формы отвечают основным требованиям безбарьерной среды: комфортности и безопасности.

В структуре городских пешеходных маршрутов необходимо принимать во внимание физическое и эмоциональное состояние престарелых пешеходов, требующее внимательного подхода к размещению зон отдыха на всех градостроительных уровнях: от жилой группы до общегородской рекреации. Четкая размерность в размещении этих зон позволяет разработать стандартный модуль, применимый ко всем градостроительным уровням. Элементы благоустройства: скамьи, урны, питьевые фонтаны должны быть статичны, контрастны к окружающей среде и нетравмоопасны.

Предложенные принципы архитектурно-ландшафтного формирования БГС универсальны для любых градостроительных условий и непрерывны на протяжении рассмотрения всего процесса реорганизации пространства.

В соответствии с этими архитектурно-ландшафтными принципами нами выдвигается архитектурная концепция формирования БГС, включающая следующие положения:

выявление в городской среде своеобразных «русел» — наиболее повторяющихся маршрутов передвижения пожилых, характерных особой архитектурно-пространственной организацией, выявлением в транспортно-пешеходном каркасе специальных участков для отдыха и реабилитации пожилых людей;

синтез современных архитектурных, дизайнерских и ландшафтных приемов благоустройства городской среды;

применение специального инженерного оборудования для обеспечения транспортной комфортности, вертикальных коммуникаций, попутного обслуживания, освещения;

формирование новой и реорганизация существующей архитектурной среды с учетом потребностей маломобильных групп населения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Хайт В.Л. Об архитектуре, ее истории и проблемах. М.: УРСС, 2003. 453 с.
- 2. *Коган Л.Б.* Социальная жизнь города и формирование планировочных структурных единиц: дис. ... канд. архит. М.: МАРХИ, 1968.
- 3. Азгальдов  $\Gamma$ . $\Gamma$ . Квалиметрия в архитектурно-строительном проектировании. М. : Стройиздат, 1989. 264 с.
  - 4. Корбюзье Ле. Архитектура XX века. М.: Прогресс, 1977. 304 с.
  - 5. Щепетков Н.И. Световой дизайн города. М.: Архитектура-С, 2006. 320 с.

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

© Терягова А.Н., 2010

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

УДК 69.504 + 711.4:504

В.В. Балакин

### РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ УЧАСТКАХ ГОРОДСКИХ ДОРОГ

По результатам натурных наблюдений получена математическая модель загрязнения атмосферного воздуха каньонов городских улиц, учитывающая влияние интенсивности, скорости и состава движения транспортного потока, скорости ветра, ширины улицы и высоты зданий. Выявлено влияние характера планировки застройки на формирование режима аэрации улиц.

К л ю ч е в ы е с л о в а: атмосферный воздух, оксид углерода, начальная концентрация, улица, застройка, уличный каньон, аэрационный режим, обратные течения, коэффициент снижения скорости ветра, рассеивание выбросов, зона дискомфорта.

The results of on-site measurements are used for numeric modeling of atmospheric air pollution within urban street canyons. The model takes into account traffic rate, speed and types of vehicles, wind speed, street width, and height, shape and positioning of the buildings. The influence of the buildings on the character of street ventilation is determined.

K e y w o r d s: atmospheric air, carbon monoxide, background concentration, buildings, street ventilation, air vortex, wind speed decreasing factor, pollutant dispersion, red zone.

Исследования загрязнения атмосферного воздуха на улично-дорожной сети (УДС) городов показывают, что при скоростях ветра 3...4 м/с предельно допустимые концентрации отработавших газов (ОГ) автомобилей по ряду компонентов (оксид углерода, оксиды азота, углеводороды) достигаются примерно на 40...70 % магистральных улиц в зависимости от интенсивности движения и характера застройки. Влияние застройки на формирование уровня загрязнения воздуха улиц проявляется, с одной стороны, в изменении скорости и направления ветра, а с другой — в ограничении площади поверхности, через которую происходит рассеивание выбросов автомобилей из каньона улицы в окружающее пространство.

Для выявления зависимости начального уровня загазованности улиц от влияющих факторов в качестве модельного компонента нами был избран оксид углерода (СО) — газ, не имеющий ни запаха, ни цвета, одна из наиболее токсичных примесей, широко встречающаяся в воздухе магистральных улиц и содержащаяся в количестве до 86...90 % в выбросе ОГ. Кроме того, существует тесная корреляция между содержанием СО и других ингредиентов в воздухе магистралей [1].

При всестороннем анализе результатов массовых натурных обследований, проведенных в крупных и крупнейших городах, включая данные систематических наблюдений на оборудованных стационарных постах, вначале были получены частные зависимости начальных концентраций СО от интенсивности, скорости движения и состава транспортных потоков, геометрических параметров поперечного сечения улицы и скорости ветра [2].

Формирование начального уровня загрязнения атмосферного воздуха как многофакторный процесс можно представить уравнением вида [3]

$$\Theta = \Theta' f_1(\xi_1) f_2(\xi_2) f_3(\xi_3) \dots f_n(\xi_n), \tag{1}$$

где  $\Theta'$  — среднее значение изучаемого выходного параметра.

В нашем случае начальный уровень загрязнения воздуха СО, мг/м $^3$ , над бордюром проезжей части магистрали на высоте 1,2...1,5 м зависит от 5 основных факторов:

$$q = Qf_1(N)f_2(u_0)f_3(V)f_4(p)f_5(H/B), (2)$$

где Q — среднее значение концентрации СО по выборочной совокупности, мг/м³; N — интенсивность движения автомобилей на перегоне, авт/ч;  $u_0$  — горизонтальная составляющая скорости ветра над проезжей частью на высоте 1,5 м, м/с; V — скорость потока автомобилей, км/ч; p — процент грузовых автомобилей в потоке; H — средняя высота двусторонней застройки улицы (при односторонней застройке или ее полном отсутствии на улице H принимается равной нулю), м; B — ширина улицы — расстояние между зданиями (по линиям регулирования застройки), м.

В результате аппроксимации элементарных функций  $\varphi_i = f_i(\xi_i)$ , построенных по приведенным параметрам, формула (2) для начальной концентрации СО, мг/м³, на перегоне получает вид

$$q = \frac{\sqrt{NF}}{e^{\frac{u_0 + 1}{3}}} \left[ 1 + 1{,}17\sqrt{\left(\frac{H}{B}\right)^3} \right],\tag{3}$$

где F — параметр, учитывающий влияние скорости движения и состава транспортного потока, определяемый по формуле  $F = 1,75 \cdot 10^{-4} (1,43p \cdot 10^{-2} + 1) \times V^2 - 2,67 \cdot 10^{-2} (5,14p \cdot 10^{-3} + 1)V + 1$ ; e — основание натурального логарифма.

Обычно используемые в расчетах аэрации жилой застройки данные справочной литературы по скорости ветра относятся к наблюдениям, выполненным на метеостанциях, где флюгер устанавливается на высоте 10 м. Приведение этих показателей к 1,5-метровой высоте произведем по формуле

$$u_0 = u \circ k, \tag{4}$$

где u — скорость ветра на высоте флюгера, м/с;  $\phi$  — коэффициент приведения скорости ветра к 1,5-метровой высоте (для флюгера на высоте 10 м согласно логарифмическому закону возрастания скорости ветра с высотой  $\phi$  = 0,73); k — коэффициент трансформации скорости ветра застройкой — отношение скорости ветра в точке наблюдения к скорости набегающего ветрового потока.

Учитывая различный характер формирования скорости ветра приемами планировки и застройки улиц, в формуле (3) рекомендуется принимать сред-

нюю этажность застройки и назначать средневзвешенный коэффициент трансформации скорости ветра по длине перегона:

$$\bar{k}_j = \sum_{i=1}^n k_i l_i / L_j , \qquad (5)$$

где  $\overline{k}_j$  — средняя относительная скорость перпендикулярного ветра (по отношению к скорости ветра на открытой местности) на рассматриваемом перегоне улицы;  $k_i$  — коэффициент снижения скорости ветра под влиянием застройки элементарного фрагмента улицы длиной  $l_i$  (табл.);  $L_j$  — общая длина расчетного участка улицы или перегона, м; n — число элементарных участков с фрагментами характерной застройки на улице.

Коэффициенты трансформации скорости ветра на городских улицах под влиянием застройки

Тип застройки	$l_0$	,	δ	3E	ачения	<i>k</i> в зав	исимос	ти от к	ритери	я z
тип застроики	$\iota_0$	$l_{\mathrm{p}}$	O	1,3	1,8	2,3	2,8	3,8	4,8	5,8
Точечная при ширине разрывов более 30 м	$l_0$	$2l_0$	0,64	0,80	0,84	0,89	0,95	0,92	0,95	0,99
Точечная при ширине разрывов от 15 до 30 м	$l_0$	$l_0$	0,47	0,65	0,71	0,70	0,68	0,74	0,89	0,98
2-секционная при ширине разрывов от 15 до 30 м	$2l_0$	$2l_0$	0,46	0,80	0,86	0,85	0,84	0,86	0,94	0,99
2-секционная при ширине разрывов до 15 м	$2l_0$	$l_0$	0,30	0,77	0,84	0,82	0,73	0,71	0,87	0,96
3-секционная при ширине разрывов до 15 м	$3l_0$	$l_0$	0,21	0,85	0,94	0,84	0,94	1,00	0,99	1,00
4-секционная при ширине разрывов до 15 м	$4l_0$	$l_0$	0,16	1,02	1,02	0,95	0,98	0,93	0,98	1,00
Многосекцион- ная, без разрывов	L	0	0	0,82	1,04	0,91	0,91	0,95	0,95	0,97

Для изучения влияния планировочных параметров улиц и приемов их застройки на коэффициент трансформации скорости ветра была выполнена анемометрическая съемка на открытой ровной асфальтированной площадке компактной прямоугольной формы с использованием макетов зданий в масштабе 1:20. Такое изменение линейных размеров геометрических тел в виде пластин обеспечивает соблюдение критериев подобия процесса обтекании зданий воздушным потоком [4].

Измерения скорости ветра производили чашечными анемометрами МС-13 с воспринимающей частью на высоте 75 мм. Приборы устанавливали в характерных точках поперечного профиля макета участка уличного каньона, рас-

полагаемого в центре площадки, а также в продольном направлении по оси улицы и в разрывах застройки. Более подробно методика эксперимента изложена в [5].

Всего испытано 36 макетов городских улиц, в которых варьировались ширина в линиях регулирования застройки, типы зданий по количеству жилых секций и величина разрыва между ними. За время наблюдений выполнено около 8000 измерений скорости ветра.

По результатам статистической обработки данных установлены зависимости коэффициента трансформации скорости ветра от геометрического параметра z, характеризующего ширину уличного каньона (рис. 1, 2), и доли разрывов в застройке  $\delta$  (рис. 3). Значения k для наиболее характерных типов застройки приведены в таблице.

Параметр z определяется отношением

$$z = b/H \,, \tag{6}$$

где b — расстояние от наветренной стены первого по потоку здания до осевой линии между зданиями по поперечному сечению каньона.

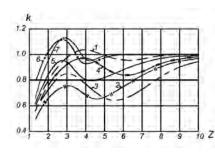


Рис. 1. Зависимость коэффициента трансформации скорости воздушного потока над проезжей частью от геометрического критерия z на поперечном сечении улицы по середине фасадов зданий: l — при доле разрывов в застройке  $\delta=0,64$  ( $l=l_0$ ;  $l_p=2l_0$ ); 2 — 0,47 ( $l=l_0$ ;  $l_p=l_0$ ); 3 — 0,46 ( $l=2l_0$ ;  $l_p=2l_0$ ); 4 — 0,30 ( $l=2l_0$ ;  $l_p=l_0$ ); 5 — 0,21 ( $l=3l_0$ ;  $l_p=l_0$ ); 6 — 0,16 ( $l=4l_0$ ;  $l_p=l_0$ ); 7 — 0 (l=L;  $l_p=0$ ).: l — средняя длина здания в ряду;  $l_0$  — длина секции;  $l_p$  — средняя величина разрыва в застройке; L — протяженность участка улицы

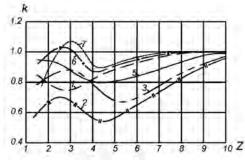


Рис. 2. Зависимость коэффициента трансформации скорости воздушного потока над проезжей частью от геометрического критерия *z* на поперечном сечении улицы в середине разрывов между зданиями

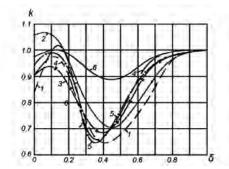


Рис. 3. Зависимость коэффициента трансформации скорости воздушного потока над проезжей частью от доли разрывов в застройке  $\delta$ : I — при геометрическом параметре z=1,3;2-1,8;3-2,3;4-2,8;5-3,8;6-5,8

Величина δ на участке улицы рассчитывается по формуле

$$\delta = 1 - \sum l_i / L, \tag{7}$$

где  $\sum l_i$  — общая длина зданий по контуру участка улицы; L — протяженность периметра участка улицы по линиям регулирования застройки.

По характеру кривых на рис. 1 и 2 видно, что при вариантах застройки улицы 1...2-секционными домами (кривые I и 2) в точках, расположенных в середине разрывов между ними, «тормозящее» влияние застройки на скорость ветра проявляется в большей степени, чем в пунктах наблюдения, выбранных у середины фасадов зданий. Такое явление, очевидно, можно объяснить появлением многочисленных хаотичных по направлениям горизонтальных вихрей мелкого масштаба у углов зданий по мере размыкания периметральной застройки и увеличения степени «перфорации» ее фронтальной проекции. При этом в снижении исходной скорости ветра оказывается наиболее эффективной плотная точечная застройка с минимальными разрывами (кривая 2).

Как следует из рис. 3, влияние разрывов между зданиями на снижение скоростей ветра достигает максимума при  $\delta=0,3...0,5$ , а значения  $\delta=0,5...1,0$  соответствуют участкам кривых, характеризующим постепенное ослабления этого свойства планировки улиц по мере разуплотнения застройки.

Однако влияние разрывов застройки на падение скоростей ветра сглаживается и по мере увеличения протяженности зданий. Происходящее при этом уменьшение  $\delta$  от оптимальных значений (0,3...0,5) до нуля сопровождается постепенным формированием замкнутого устойчивого вихря между зданиями в вертикальной плоскости, стимулируемого стесняемой фронтальной застройкой. В данном случае воздушный поток трансформируется уже по направлению, двигаясь по винтообразной траектории вдоль улицы при даже незначительном отклонении исходного направления от перпендикуляра к ее оси. Немногочисленные разрывы между зданиями в ряду уже практически не оказывают влияния на скорость ветра в уличном пространстве. Это отчетливо видно по кривым  $\delta$  и  $\delta$  на рис.  $\delta$  и  $\delta$  и  $\delta$  на рис.  $\delta$  и  $\delta$  и  $\delta$  на рис.  $\delta$ 

При ширине улицы (1,5...3)z исходная скорость ветра максимально сохраняется у проезжей части и даже несколько увеличивается при застройке многосекционными зданиями. На рис. З видно, что при z=1,8 увеличение скорости ветра составляет 8 %. Это хорошо согласуется с результатами подобных испытаний промышленных зданий, проведенных в аэродинамических лабораториях ЦНИИЭП и МГУ, где значительные градиенты скорости были обнаружены вблизи стен длинных зданий, расположенных параллельно на расстоянии до двух высот друг от друга [5]. При незначительной протяженности разрывов между зданиями именно такая форма поперечного профиля улицы, напоминающего каньон, при упорядоченных вихревых потоках между наветренными и подветренными фасадами является наиболее неблагоприятной в отношении рассеивания примесей.

В интервале изменения ширины улицы (3...4) г практически во всех вариантах компоновки зданий вдоль красных линий наблюдаются локальные минимумы скорости ветра на улице, поскольку воздушные струи основного потока, уже захватываемые застройкой, отдают значительно больше кинетической энергии наветренной стороне подветренного ряда зданий.

На участках магистралей, застроенных с двух сторон фронтально расположенными многосекционными зданиями и всевозможными вставками между ними, образующими уличные каньоны, закономерности рассеивания ОГ

отличаются от условий открытой местности или разреженной застройки. Поперечный профиль улицы такой формы является наиболее распространенным элементом современной переуплотненной застройки городов, особенно их центров, где при поперечном ветре возникают обратные течения воздушных потоков, обусловливая повышенное загрязнение воздуха у нижних этажей подветренных фасадов зданий.

Таким образом, наиболее стабильный аэрационный режим городских улиц обеспечивается при более значительной доле разрывов между зданиями, расположенными во фронтальном наветренном по отношению к господствующему направлению ветра ряду застройки (кривые *I* и *2*). При застройке домами с минимальным числом жилых секций ширина улицы практически не оказывает заметного влияния на трансформацию скорости и направления ветра. По этой причине на участках магистральных дорог и улиц с торцевой, точечной и свободной планировкой зданий граница зоны дискомфорта несущественно отклоняется от линии, параллельной краю проезжей части, что позволяет решать задачи защиты жилой застройки от загрязнения ОГ путем зонирования примагистральных территорий по качеству воздушной среды и средствами озеленения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Bove I.L., Siebenberg S. Airborne lead and carbon monoxide at 45th street, New York City // 2 Science, 1970, 167, P. 986—987.
- 2. *Балакин В.В.* Закономерности формирования концентраций отработавших газов автомобильного транспорта в каньонах городских улиц // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. унта. Сер.: Стр-во и архит. Вып. 9. 2008. С. 76—82.
- 3. *Бородюк В.П.*, *Чирков И.М.* Получение математического описания методами пассивного и активного экспериментов // Некоторые вопросы математического описания и оптимизации многофакторных процессов : тр. МЭИ. Вып. LI. М., 1963. С. 49—114.
  - 4. Реттер Э.Ю. Архитектурно-строительная аэродинамика. М.: Стройиздат, 1984.
- 5. Балакин В.В., Попов А.П. О расчете аэрационного режима городских дорог и улиц // Безопасность жизнедеятельности, XXI век : матер. Междунар. науч. симпоз. Волгоград : Волг $\Gamma$ ACV, 2001. С. 201—203.

© Балакин В.В., 2010

Поступила в редакцию в апреле 2010 г.

УДК 662.6:502.3

### С.А. Чебанова, В.И. Воробьев, В.Д. Балычев

# УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ФАКЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК ПРИ РАСЧЕТАХ РАССЕИВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И ПРОЕКТИРОВАНИИ САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОН

Предложена математическая модель учета наложения факельных выбросов от высоких нагретых источников при расчетах рассеивания загрязняющих веществ для предприятий ТЭК. Математическая модель позволяет рассматривать случаи наложения факельных выбросов и выявлять увеличение концентраций загрязняющих веществ при полном наложении факельных выбросов. Даны рекомендации по проектированию санитарно-защитных зон с учетом влияния факельных выбросов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: загрязнение атмосферного воздуха, концентрации загрязняющих веществ, математическая модель, факельные выбросы, наложение факельных выбросов.

There is the mathematical model of the account of covering of the torch ejections from the high heating sources at calculations of dispersion of the polluting substances for the enterprises of fuel and energy complex in this article. The mathematical model allows to consider cases of covering of the torch ejections and to reveal the increase of concentration of the polluting substances during the full covering of the torch ejections. Recommendations about designing of sanitary-protective zones taking into account the influence of the torch ejections are made.

 $K\ e\ y\ w\ o\ r\ d\ s$ : the pollution of atmospheric air, polluting substances, the mathematical model, covering of the torch ejections, the torch ejections.

Для изучения влияния наложения факельных выбросов от высоких нагретых источников на концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) в приземном слое атмосферы нами было рассмотрено предприятие топливно-энергетического комплекса (ТЭК) «Волгоградская ТЭЦ-2».

В результате сгорания топлива в котлоагрегатах котельной в атмосферу выбрасываются следующие загрязняющие вещества: азота диоксид (301); азота оксид (304); серы диоксид (330); мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий) (2904).

Исследования велись двумя способами: теоретическим и экспериментальным.

Теоретический метод основан на расчете рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы согласно «Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» (ОНД-86 «Госкомгидромета») [1] с использованием программных средств «УПРЗА-Эколог» (версия 3.0.) фирмы «Интеграл».

Количественный состав выбросов определен расчетно-балансовым методом с использованием утвержденных Управлением Ростехнадзора методик [2—5].

Для определения уровня загрязнения приземного слоя атмосферы задавалось 19 контрольных точек на промышленной и селитебной территориях.

Расчет рассеивания 3В не показал превышения установленных гигиенических нормативов — предельно-допустимых концентраций (ПДК) в приземном слое атмосферы ни по одному из выделяемых веществ.

Экспериментальный метод, который заключался в инструментальных замерах приземных концентраций ЗВ с помощью сильфонного аспирометра в

тех же контрольных точках, для которых был проведен расчет рассеивания, показал превышение ЗВ при наложении факельных выбросов.

Отбор проб проводился согласно действующим методикам [6, 7] по двум 3B: азота диоксиду (301) и серы диоксиду (330), дающим наибольший вклад в загрязнение атмосферы.

Сравнение результатов теоретического и экспериментального методов показало, что данные, полученные теоретическим методом, значительно отличаются от инструментальных замеров. Особенно эта разница заметна в случае, когда вектор направления ветра совпадает с вектором, соединяющим центры высоких близкорасположенных нагретых источников. Это происходит за счет «наложения» выбросов загрязняющих веществ. В случае когда вектор направления ветра лежит под углом 45° к вектору, соединяющему центры высоких близкорасположенных нагретых источников, разница между расчетными значениями и инструментальными замерами менее заметна, так как происходит частичное наложение факелов выбросов. В случае когда вектор направления ветра лежит под углом 90° к вектору, соединяющему центры высоких близкорасположенных нагретых источников, расчетные и экспериментальные значения практически совпадают (наложения выбросов не происходит).

Из сравнения результатов можно сделать вывод о том, что современная действующая модель расчета концентраций загрязняющих веществ согласно ОНД-86 [1] не учитывает наложения факельных выбросов от высоких нагретых источников, соответственно существует вероятность загрязнения атмосферного воздуха селитебных территорий.

Для учета наложения факельных выбросов от высоких нагретых источников при расчетах рассеивания ЗВ нами предлагается следующая математическая модель:

$$C_{K} = (1 + k |\cos\alpha|\cos\beta)C$$
,

где  $C_{\kappa}$  — корректированная расчетная концентрация, мг/м³; C — расчетная концентрация, мг/м³; k — свободный член;  $\alpha$  — угол между вектором направления ветра и вектором, соединяющим источники выброса;  $\beta$  — угол между вектором направления ветра и вектором, соединяющим источник выброса с расчетной точкой.

Графическое представление компонентов математической модели приведено на рис. 1.

Для проверки пригодности математической модели и определения значения свободного члена k мы воспользовались методом наименьших квадратов, в результате чего было получено k = 0.495.

Окончательно математическая модель приобретет вид

$$C_{K} = (1+0,495|\cos\alpha|\cos\beta)C_{T}.$$

Для проверки математической модели в формулу были введены расчетные (теоретические) значения концентраций ЗВ в расчетных точках  $C_T$ , углы  $\alpha$  и  $\beta$ , полученный коэффициент k. Далее были рассчитаны корректированные значения концентраций ЗВ в расчетных точках  $C_{\kappa}$  и сравнены с экспериментальными значениями  $C_{\Im}$ .

Сравнение показало, что разница между корректированными значениями концентраций  $C_{\kappa}$ , полученными в результате расчета по формуле, и экспери-

ментальными значениями концентраций  $C_3$ , полученными натурными исследованиями, незначительна и составляет от 0 до 5 %.

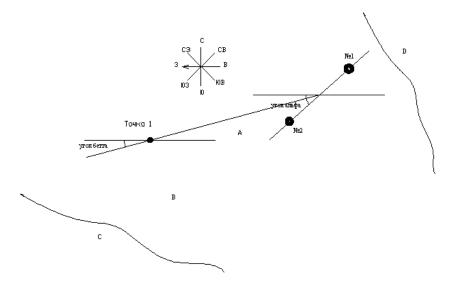


Рис. 1. Графическое представление компонентов математической модели учета наложения факельных концентраций: №1, 2 — источники загрязнения атмосферы; точка 1 — расчетная точка;  $\alpha$  — угол между вектором направления ветра и вектором, соединяющим источники выброса;  $\beta$  — угол между вектором направления ветра и вектором, соединяющим источник выброса с расчетной точкой; A — санитарно-защитная зона (территория предприятия); B — территория без застройки; C — городская застройка; D — промышленная зона

Отсюда можно сделать вывод о том, что полученная модель расчета приземных концентраций от высоких близкорасположенных нагретых источников с достаточной точностью (до 5 %) описывает экспериментальные данные и может использоваться при расчетах выбросов от ТЭЦ.

Действующие на данный момент СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (Новая редакция) [8] устанавливают для рассматриваемого объекта нормативную санитарно-защитную зону, равную 300 м от источников выброса (см. гл. 7.1.10. Производство электрической и тепловой энергии при сжигании минерального топлива. Класс 3. П. 1. ТЭЦ и районные котельные тепловой мощностью 200 Гкал и выше, работающие на газовом и газомазутном топливе (последний — как резервный). П. 2. Золоотвалы теплоэлектростанций (ТЭС).

Как было показано выше, при наложении факельных выбросов могут создаваться такие ситуации, когда возможен рост приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосфере выше установленных санитарно-гигиенических нормативов на расстояниях, значительно превышающих установленные СанПиН границы санитарно-защитной зоны. Существует возможность загрязнения вредными выбросами значительной части селитебной территории.

Прогнозируя, что наложение факельных выбросов будет происходить при различных направлениях ветра, получим схему изолиний 1 ПДК, приведенную на рис. 2. Изолиния 1 ПДК предлагается как внешняя граница расчетной санитарно-защитной зоны для предприятий топливно-энергетического комплекса с

учетом наложения факельных концентраций от высоких близкорасположенных нагретых источников.

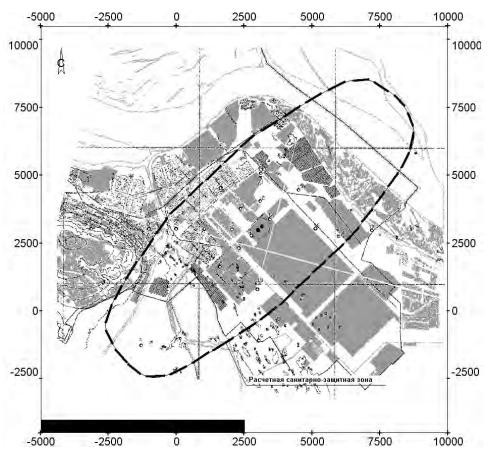


Рис. 2. Предлагаемая расчетная санитарно-защитная зона для предприятий ТЭК с учетом наложения факельных выбросов

Санитарно-защитная зона для предприятий ТЭК с учетом наложения факельных выбросов должна иметь вытянутую вдоль линии, соединяющей центры труб, форму (по векторам полного наложения).

Как видно из рис. 2, на действующих предприятиях ТЭК в расчетную санитарно-защитную зону с учетом наложения факельных выбросов попадает значительная часть селитебной территории. Влияние наложения факельных выбросов ощутимо на расстоянии до 10 км от источников выбросов.

Анализируя вышесказанное, можно предложить следующее:

при расчетах рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы от предприятий ТЭК рекомендуется учитывать наложение факельных выбросов от высоких близкорасположенных нагретых источников согласно предложенной выше математической модели;

для проектируемых предприятий ТЭК рекомендуется размещение либо в промышленной зоне города, на значительном удалении от селитебной территории, либо за городом, что позволит исключить влияние наложения факельных выбросов на жилую застройку.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. ОНД-86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: утв. Госкомгидрометом России 04.08.1986 взамен СН 369-74: введ. 01.01.1987. М.: Гидрометеоиздат, 1987. 67 с.
- 2. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (доп. и перераб.) : введ. 24.12.2004. СПб : НИИ Атмосфера, 2005. 215 с.
- 3. РД 34.02.304—95. Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций: утв. РАО «ЕЭС России» 28.09.1995 : введ. 01.07.1996. М.: ВТИ, 1996. 21 с.
- 4. CO 153-34.02.304—2003. Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций: утв. Минэнерго России 30.06.2003 взамен РД 34.02.304—95: введ. 01.07.2003. М.: ВТИ, 2005. 24 с.
- 5. РД 34.02.305—98. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС: введ. 01.01.1998. М.: ВТИ, 1998. 23 с.
- 6. ПНД Ф 13.1.4—97. Методика выполнения измерений массовой концентрации окислов азота в организованных выбросах котельных, ТЭЦ и ГРЭС. СПб: НИИ Атмосфера, 1997. 17 с.
- 7. РД 52.04.186—89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы : утв. Госкомгидрометом 01.06.1989. [Взамен Руководства по контролю загрязнения атмосферы от 1979 г.] : введ. 01.07.1991. М. : Госкомгидромет, 1991. 327 с.
- 8. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200—03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов : санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (Новая редакция) : утв. Гл. гос. сан. врачом Рос. Федерации 25.09.2007 : введ. 01.03.2008. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 27 с.
- 1. OND-86. Metodika rascheta koncentracii v atmosfernom vozduhe vrednyh veschestv soderjaschihsya v vybrosah predpriyatii : utv. Goskomgidrometom Rossii 04.08.1986 : vzamen SN 369-74; vved. 01.01.1987. M. : Gidrometeoizdat, 1987. 67 s.
- 2. Metodicheskoe posobie po raschetu, normirovaniyu i kontrolyu vybrosov zagryaznyayuschih veschestv v atmosfernyi vozduh (dopolnennoe i pererabotannoe) : vved. 24.12.2004. SPb : NII Atmosfera, 2005. 215 s.
- 3. RD 34.02.304—95. Metodicheskie ukazaniya po raschetu vybrosov oksidov azota s dymovymi gazami kotlov teplovyh elektrostancii : utv. RAO "EES Rossii" 28.09.1995 : vved. 01.07.1996. M. : VTI, 1996. 21 s.
- 4. SO 153-34.02.304—2003. Metodicheskie ukazaniya po raschetu vybrosov oksidov azota s dymovymi gazami kotlov teplovyh elektrostancii : utv. Minenergo Rossii 30.06.2003 : vzamen RD 34.02.304—95 : vved. 01.07.2003. M. : VTI, 2005. 24 s.
- 5. RD 34.02.305—98. Metodika opredeleniya valovyh vybrosov zagryaznyayuschih veschestv v atmosferu ot kotel'nyh ustanovok TES : vved. 01.01.1998. M. : VTI, 1998. 23 s.
- 6. PND F 13.1.4—97. Metodika vypolneniya izmerenii massovoi koncentracii okislov azota v organizovannyh vybrosah kotel'nyh, TEC i GRES. SPb: NII Atmosfera, 1997. 17 s.
- 7. RD 52.04.186—89. Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery : utv. Goskomgidrometom 01.06.1989 [Vzamen Rukovodstva po kontrolyu zagryazneniya atmosfery ot 1979 g.] : vved. 01.07.1991. M. : Goskomgidromet, 1991. 327 s.
- 8. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200—03. Sanitarno-zaschitnye zony i sanitarnaya klassifikaciya predpriyatii, soorujenii i inyh ob'ektov : sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy (Novaya redakciya) : utv. Gl. gos. san. vrachom Ros. Federacii 25.09.2007 : vved. 01.03.2008. M. : Federal'nyi centr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2008. 27 s.

© Чебанова С.А., Воробьев В.И., Балычев В.Д., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 614.841

# А.С. Мякинин, Э.С. Косицына, О.А. Ганжа

# АВТОЗАПРАВОЧНЫЕ СТАНЦИИ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ НА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ, КАК ОБЪЕКТ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Рассмотрен вопрос об оценке отрицательного воздействия автомобильных заправочных станций на природную среду обитания, особенно в городах. Показано, что динамика роста количества автотранспорта, работающего преимущественно на жидком моторном топливе, привела не только к ухудшению компонентов природной среды, но и к развитию инфраструктуры сервисного и иного обслуживания автомобилей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: взрывоопасность АЗС, экологическая опасность, автотранспорт.

The author considered the matter of negative environmental impact assessment of petrol stations especially in cities. It has been shown that growth dynamics of vehicle quantity, which works mainly on liquid gas fuel, led not only to deterioration of environment components but also to the development of infrastructure of service and other of car maintenance.

K e y w o r d s: explosibility of petrol stations, environmental threat, vehicle.

Города существуют давно, и основой повышения качества жизни горожан всегда была их экономическая деятельность. Экономическая деятельность людей приводит к увеличению городских агломераций, а в связи с этим все большую актуальность приобретают своевременное и качественное транспортное обслуживание жителей города. Возникающее в ходе этой деятельности противоречие между ростом городов, с одной стороны, и стремлением сохранить живую природу на городских территориях, с другой, вызывает экологические проблемы.

В наше время воздействие транспорта на окружающую среду — самая насущная и актуальная проблема современного общества. При всей важности дорожно-транспортного комплекса как неотъемлемого элемента экономики любого города необходимо учитывать его весьма значительное негативное воздействие на природные экологические системы.

Негативное воздействие на природные экологические системы в первую очередь происходит за счет увеличения количества автотранспортных средств индивидуальных владельцев, к которым относят личный транспорт, маршрутное такси, фургоны и другой малотоннажный грузовой автотранспорт, обеспечивающий оперативную доставку товаров по городу, обслуживающий предприятия торговли, сферы услуг и т.п. Это наглядно подтверждает динамика увеличения количества автотранспортных средств на примере г. Волгограда. В настоящее время по данным Государственной инспекции безопасности дорожного движения Главного управления внутренних дел по Волгоградской области в Волгограде зарегистрировано более 260 тыс. автомобилей. Это в два раза больше, чем было в 2003 г., т.е. за последние шесть лет произошло удвоение количества зарегистрированных автомобилей (в среднем 26,7 тыс. автомобилей в год).

В связи с исключительно быстрым развитием автомобильного транспорта в Российской Федерации достаточно остро стоит вопрос о его отрицательном воздействии на окружающую природную среду. Во многих крупных го-

родах на долю автотранспорта приходится более 70 % от общего количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Высокая концентрация автомобилей на единицу площади городской территории приводит к постоянному превышению санитарно-гигиенических норм по целому ряду вредных воздействий, источником которых является автомобиль. Одним из наиболее экологически опасных объектов автотранспорта являются автомобильные заправочные станции (АЗС), численность которых в РФ уже сейчас превышает 40 тысяч. Ежегодно число заправок автомобилей исчисляется несколькими миллиардами.

АЗС представляют собой комплекс зданий с оборудованием, предназначенным для приема, хранения и выдачи нефтепродуктов транспортным средствам, продажи масел, консистентных смазок, запасных частей, принадлежностей к транспортным средствам и оказания услуг владельцам транспортных средств [1].

Ни для кого не секрет, что при эксплуатации АЗС и нефтехранилищ в атмосферу выбрасывается огромное количество углеводородов, находящихся в паровоздушной смеси. Считается, что доля АЗС в общей эмиссии загрязнения атмосферного воздуха крупных городов составляет 5...8 %. При этом до 40 % выбросов составляют продукты испарения топлива из бензобаков заправляемых машин, до 40 % — продукты испарения из резервуаров. Оставшиеся 20 % выбросов составляют выхлопные газы двигателей автомобилей при их движении по территории АЗС. Этот факт представляет собой большую экологическую проблему, особенно если учесть, что подавляющая часть АЗС находится в черте населенных пунктов.

Экологическая опасность АЗС, определяющаяся загрязнениями, поступающими от автомобилей во время их нахождения на территории заправочной станции, формируется отработавшими газами автомобильных двигателей, в результате утечек топлива и масел, продуктами износа деталей автомобилей и автомобильных шин, грязью с кузовов автомобилей.

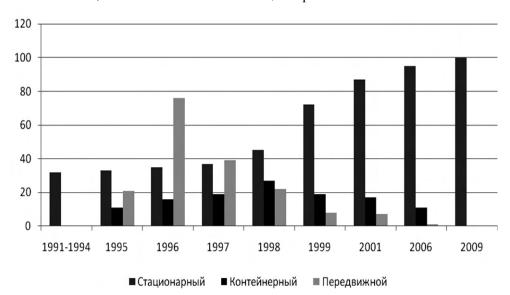
В составе отработавших газов содержатся сотни вредных веществ и компонентов, которые поступают в воздух и почву. Большая часть веществ распространяется в атмосфере путем рассеивания, остальная часть оседает на территории АЗС и смывается поверхностными (дождевыми и талыми) и моечными водами на почву территорий, прилегающих к АЗС, загрязняя их. Часть загрязнений поступает путем фильтрации в грунтовые воды. Следует отметить, что загрязнения, поступающие в воздух, очистке не подвергаются. Наблюдаемая тенденция увеличения количества загрязнений воздушной среды, почвы, поверхностных и грунтовых вод позволяет считать АЗС наиболее опасными объектами.

Особую проблему для крупных городов представляют выбросы паров углеводородного топлива на АЗС при сливе нефтепродуктов в резервуары — так называемые «большие дыхания». Годовые потери нефтепродуктов от «больших дыханий» составляют по нефтеперерабатывающей отрасли России примерно 270 тыс. т, в т.ч. более 140 тыс. т на АЗС. «Большие дыхания» приводят к экономическому ущербу из-за потерь паров углеводородного топлива, увеличению экологической опасности и взрывоопасности АЗС [2].

Для АЗС характерны две особенности взрывопожарной опасности. Вопервых, различные нарушения технологического регламента и правил экс-

плуатации, в результате которых возникает большинство пожаров и возгораний; во многих случаях нарушения допускаются не работниками АЗС, а клиентами. Во-вторых, в зоне заправки автомобилей обычно находятся водители, которые в случае неожиданного возникновения пожара получают ожоги различной степени тяжести [3].

Анализ динамики изменения численности A3C на территории г. Волгограда с 1991 по 2009 г. (рис.) показывает, что наблюдается значительный рост их количества, особенно это касается стационарных A3C.



Динамика изменения количества различных типов автомобильных заправочных станций на территории Волгограда

Общее количество загрязняющих выбросов зависит от условий нахождения автомобилей на территории АЗС (организации производства услуг на АЗС): движутся они или стоят, работают или нет двигатели автомобилей, как долго остается открытым горловина бензобака автомобиля, как долго находится автомобиль на территории АЗС. Риск экологических загрязнений от транспортных средств на АЗС относится к этапу организации производства.

Рост количества автомобильных заправочных станций наблюдается не только в Волгограде. Практически на всем постсоветском пространстве наблюдается тенденция роста предприятий нефтепродуктообеспечения. Для оценки перспективы развития сектора характерен опыт западноевропейских стран, где уровень обеспеченности топливозаправочными услугами характеризуется условным показателем, численно равным количеству автомобилей, приходящихся на одну АЗС. По данным Бельгийской бензиновой ассоциации и Российского топливного союза, в Бельгии этот показатель составляет 865, в Италии — 1220, во Франции — 1490, в Германии — 2485 автомобилей на одну АЗС.

Расчеты показывают, что в Петербурге одна АЗС общего пользования обслуживает примерно столько же автомобилей, что и в Москве, — около

3800 единиц. И если ориентироваться на западноевропейские стандарты, то в большинстве городов России в ближайшей перспективе будет наблюдаться дальнейший рост активности в сфере строительства АЗС. Рост будет подкрепляться преимущественно за счет расширения границ городов и увеличения количества транспортных средств, что приведет к ухудшению экологической обстановки в городах.

Проведенный авторами анализ материалов по проектированию и строительству АЗС показал, что на сегодняшний день отсутствует единый подход в оценке экологической опасности от сети автомобильных заправочных станций, расположенных в городе.

Разработка и обоснование методики оценки экологической опасности от сети автомобильных заправочных станций позволит обосновать количество АЗС на городской территории с учетом количественной оценки различных параметров поражающих факторов (воздушная ударная волна и тепловое излучение), динамики роста автотранспорта, функциональных зон города и будет иметь большое практическое значение.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Автозаправочные станции : практическое пособие. М.: Учет, 2003.
- 2. Ларионов В.И. Оценка и обеспечение безопасности объектов хранения и транспортировки углеводородного сырья. СПб: Недра, 2004.
- 3. *Бесчастнов М.В.* Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. М. : Химия, 1991.

© Мякинин А.С., Косицына Э.С., Ганжа О.А., 2010

Поступила в редакцию в марте 2010 г.

УДК 614.876:69

# И.В. Стефаненко

# МЕРЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И РАБОТНИКОВ ОТ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены проблемы радиационного мониторинга территорий, вклад строительных материалов в гамма-фон зданий и сооружений. Предложен комплекс мер по защите людей от воздействия радона и дочерних продуктов его распада, осуществляемых на всех этапах проектирования, строительства и эксплуатации зданий.

Ключевые слова: радиоактивность строительных материалов, радон, торон, радиационный мониторинг, облучение.

The author considered problems of radiation monitoring of territories, effect of building materials on gamma background of buildings and constructions. Complex of measures for population protection against radon and its daughter products during all stages of design, construction and maintenance of buildings is offered.

Key words: radioactivity of building materials, radon, thoron, radiation monitoring, irradiation.

В зависимости от происхождения ионизирующее излучение классифицируется на естественное и искусственное. Естественные радионуклиды (ЕРН) присутствуют практически во всех объектах окружающей среды и в организме человека. Ионизирующее излучение создает радиационный фон. В облучении человека наиболее существенное значение имеют ЕРН уранового и ториевого ряда (материнские радионуклиды <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th) и <sup>40</sup>К. В помещениях человек подвергается воздействию как внешнего гамма-излучения, обусловленного содержанием ЕРН в строительных материалах, так и внутреннего, связанного с вдыханием содержащихся в воздухе <sup>222</sup>Rn и дочерних продуктов его распада (ДПР) [1].

Трудами отечественных и зарубежных специалистов доказано, что природные источники ионизирующего излучения вносят основной вклад в дозу облучения населения. Средняя эффективная доза, обусловленная природными источниками, составляет около 2/3 дозы от всех источников ионизирующего излучения, воздействующих в настоящее время на человека [2]. В широких пределах меняется не только содержание и активность радионуклидов в отдельных регионах, но и индивидуальные дозы в зданиях, построенных из различных материалов. В целом значения эффективных доз облучения населения для регионов изменяются от 2,6 до 20 мЗв/год.

Доза облучения практически всеми компонентами естественного радиационного фона зависит от деятельности людей. Эти компоненты получили название технологически усиленного фона. В процессе переработки минерального сырья может происходить концентрирование ЕРН в конечных или промежуточных продуктах, а также в отходах производства. Такие производства могут являться поставщиками продукции с повышенной концентрацией ЕРН.

В настоящее время признано, что эффективные дозы населения в помещениях могут быть весьма высокие и их можно уменьшить, а также избежать возникновения значительных доз при строительстве новых зданий путем вмешательства в сложившуюся практику строительства [3].

Гамма-излучение радионуклидов, содержащихся в строительных материалах, создает относительно равномерное внешнее облучение человека. Мощность дозы гамма-излучения в помещении однозначно связана со средневзвешенной по массе удельной активностью EPH в используемых стройматериалах ( $A_{\mbox{\tiny 3}\mbox{\tiny 4}\mbox{\tiny 4}\mbox{\tiny 6}\mbox{\tiny 6}\mbox{\tiny 6}\mbox{\tiny 6}\mbox{\tiny 7}\mbox{\tiny 7}\mbox{\tiny 8}\mbox{\tiny 7}\mbox{\tiny 8}\mbox{\tiny 8}\mbox{\tiny 8}\mbox{\tiny 9}\mbox{\tiny 9}\$ 

Возможности снижения гамма-фона эксплуатируемых зданий весьма ограничены. Такое снижение реально только в тех случаях, когда повышенный уровень фона обусловлен использованием для засыпки перекрытий и территорий около здания материалов с повышенным содержанием ЕРН.

Радон вместе с дочерними продуктами распада вносит примерно 70 % годовой индивидуальной эффективной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации.

Радиоактивный инертный газ <sup>222</sup>Rn образуется при распаде <sup>226</sup>Ra, входящего в семейство <sup>238</sup>U. Благодаря относительно большому периоду полураспада (3,82 сут) радон может распространяться по порам и трещинам почв, земных пород, строительных конструкций. Он может выходить в воздух помещений и в атмосферу. Основными источниками поступления радона в воздух помещений является его выделение из почвы под зданием и из строительных конструкций. При распаде радона образуются его короткоживущие дочерние продукты ДПР: <sup>218</sup>Po, <sup>214</sup>Pb, <sup>214</sup>Bi с периодом полураспада 3,1; 26,8; 19,7 мин соответственно. Вдыхание ДПР приводит к облучению легочной ткани человека. Доза облучения легких от ДПР определяется величиной эквивалентной равновесной объемной активности радона.

Величине коллективной дозы пропорциональны негативные последствия воздействия радона и ДПР, проявляющиеся в увеличении числа заболеваний раком легкого, неблагоприятных генетических эффектах и патологических нарушениях состояния системы кроветворения у лиц, в течение длительного времени находящихся в атмосфере с относительно высоким уровнем содержания в ней радона и продуктов его распада. За счет них в основном и формируется коллективная доза облучения населения Российской Федерации, составляющая примерно 300 000 чел-Зв в год и 1 % смертей от рака легкого [5].

Проблема защиты людей от воздействия радона имеет не только радиационно-гигиеническое, но и социальное значение. Особое внимание исследователей привлекает проблема последствий воздействия радона на детский организм. При вдыхании продуктов распада радона доза облучения в бронхах существенно зависит от возраста, понижаясь с его увеличением, а максимальная доза приходится на возраст б лет. Поэтому относительный риск развития рака легкого в результате облучения продуктами распада радона у детей в возрасте до 10 лет выше, чем у взрослых. При облучении в возрасте до 20 лет закладывается примерно половина величины риска возникновения опухолей.

К сожалению, в обществе существует недопонимание радоновой опасности или, во всяком случае, ее игнорирование как проблемы социального значения по следующим причинам:

последствия воздействия радона проявляются через многие годы после начала контакта с ним;

нет прямых органолептических показателей присутствия радона в воздухе и в воде (окраски, запаха и т.п.);

люди не хотят принимать на себя решения по снижению риска облучения от радона и ДПР в жилых домах, поскольку такое решение в ряде случаев потребует в дальнейшем некоторых экономических затрат.

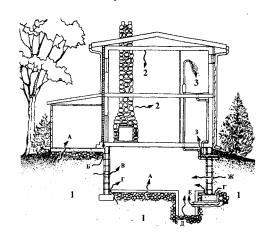
В целях эффективного предупреждения негативных последствий воздействия радона и ДПР требуется преодоление сложившегося стереотипа о том, что только радиационные аварии или утечки высокорадиоактивных отходов могут создать социально неприемлемые условия для проживания больших контингентов людей.

На дозу, обусловленную радоном, тороном и дочерними продуктами их распада, существенное влияние оказывают радиационные характеристики строительных материалов и почвы под зданием, в меньшей степени радиационные показатели используемой воды и бытового газа. В различных регионах влияние каждого фактора имеет свои особенности, которые зависят от геологического строения, концентрации радиоэлементов в породах, почвах, подземных водах, коэффициента эманирования, наличия разломов [6]. В зависимости от изменения этих характеристик меняются и индивидуальные дозы в зданиях.

Как видно из рисунка, путями проникновения радона в здание могут стать практически любые неплотности в оболочке здания, расположенные ниже уровня земли: трещины в перекрытиях, открытые участки почвы в подвальном помещении или подпольном пространстве, вводы труб и коммуникаций, стыки между плитами и блоками и т.д. Проблема обеспечения радоновой безопасности зданий должна решаться комплексно, с учетом всех факторов, обусловливающих поступление радона в помещение.

В целях защиты населения и работников от влияния природных радионуклидов должны осуществляться [8]:

выбор земельных участков для строительства зданий и сооружений с учетом уровня выделения радона из почвы и гамма-излучения;



Основные источники и пути проникновения радона в здания [1]: I — почва под зданием; 2 — строительные материалы; 3 — вода из подземных источников; A — трещины в бетонных перекрытиях; B — пространство за облицовочной стеной, установленной на неперекрытом фундаменте из полых блоков; B — поры и трещины в бетонных блоках фундамента;  $\Gamma$  — соединения между полом и стеной;  $\Pi$  — открытая почва;  $\Pi$  — швы между блоками фундамента, заполненные раствором;  $\Pi$  — плохо изолированные вводы труб и коммуникаций;  $\Pi$  — открытые торцы пустотелых блочных стен

проектирование и строительство зданий и сооружений с учетом предотвращения поступления радона в воздух этих помещений. При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних изотопов радона и торона в воздухе помещений  $\mathrm{ЭРОA_{Rn}}+4,6$ :  $\mathrm{ЭРОA_{Th}}$  не превышала  $\mathrm{100~Kc/m}^3$ , а мощность эффективной дозы

гамма-излучения не превышала мощность дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч;

производственный контроль строительных материалов, приемка зданий и сооружений в эксплуатацию осуществляются с учетом уровня содержания радона в воздухе помещений и гамма-излучения природных радионуклидов;

эксплуатация зданий и сооружений с учетом уровня содержания радона в них и гамма-излучения природных радионуклидов. В эксплуатируемых зданиях среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних изотопов радона и торона в воздухе жилых помещений не должна превышать 200 Бк/м<sup>3</sup>. При более высоких значениях объемной активности должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений. Защитные мероприятия должны проводиться также, если мощность эффективной дозы гамма-излучения в помещениях превышает мощность дозы на открытой местности более чем на 0,2 мкЗв/ч.

При невозможности выполнения нормативов путем снижения уровня содержания радона и гамма-излучения природных радионуклидов в зданиях и сооружениях должен быть изменен характер их использования.

Эффективная удельная активность  $A_{3\varphi\varphi}$ , Бк/кг, природных радионуклидов в строительных материалах (щебень, гравий, песок, бутовый камень, цементное и кирпичное сырье и пр.), добываемых на месторождениях или являющихся побочным продуктом промышленности, а также отходов промышленного производства, используемых для изготовления строительных материалов (золы, шлаки и пр.), не должна превышать [9]:

для материалов, используемых в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях (I класс):

$$A_{abb} = A_{Ra} + 1.3 A_{Th} + 0.09 A_{K} \le 370$$

где  $A_{\rm Ra}$  и  $A_{\rm Th}$  — удельные активности  $^{226}{\rm Ra}$  и  $^{232}{\rm Th}$ , находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов;  $A_{\rm K}$  — удельная активность  $^{40}{\rm K}$ , Бк/кг;

для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений (II класс):

$$A_{9\varphi\varphi} \leq 740;$$

для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (III класс):

$$A_{9\varphi\varphi} \leq 1,5.$$

При 1,5 <  $A_{3\varphi\varphi}$  < 4,0 кБк/кг (IV класс) вопрос об использовании материалов решается в каждом случае отдельно по согласованию с федеральным органом надзора.

При  $A_{9\varphi\varphi}>4,0$  кБк/кг материалы не должны использоваться в строительстве. Запрещается использовать строительные материалы и изделия, не отвечающие требованиям по обеспечению радиационной безопасности.

С целью решения задач радиационного мониторинга территорий, отведенных под застройку, минералов, строительных материалов, радиационно-экологического сопровождения строительства зданий и сооружений при Вол-

гоградском государственном архитектурно-строительном университете в 1996 г. была создана Лаборатория радиационного контроля (ЛРК). ЛРК осуществляла также подготовку кадров в области радиационного контроля в стройиндустрии [10—13].

Современная стратегия обеспечения радиационной безопасности населения, получившая свое развитие в новой редакции системы нормативноправовых актов, требует серьезного пересмотра основных практических подходов к оценке и обеспечению радиационного благополучия населения. Прежде всего, это необходимо в связи с введением в 1998 г. Федеральной программы радиационно-гигиенической паспортизации организаций и территорий России. С принятием концепции эффективной дозы как меры радиационного риска в корне изменились требования как к самой измерительной информации, так и к условиям ее получения и интерпретации. Наконец, в современных условиях, когда изменились потребительские качества товаров и услуг, в разряд их перешли жилые и производственные здания, земля и ее недра (в разной степени), в силу целого ряда причин существенно ужесточились требования к их радиационным характеристикам. Не случайно, что в последние годы сделкам на рынке недвижимости часто предшествует радиационный контроль помещений и территорий.

За это же время существенные изменения произошли в важнейшей отрасли экономики, которая в значительной мере и определяет облучение населения,— строительной индустрии. Изменились структура и качество применяемых материалов, интенсивность строительства, технологии производства строительных изделий, возведения зданий и т.д. И, самое главное, произошли качественные изменения радиационных характеристик.

В соответствии с исследованиями, проводимыми в конце 1990-х гг. на территории Волгоградской области ЛРК ВолгГАСУ, установлено, что плотности потоков радона из почв составляют  $28...107,9~\text{мБк/м}^2$  с и относятся ко 2-й, а некоторые к 3-й категории радоноопасности [10, 12], поэтому застройка на этих территориях может производиться с обязательным применением умеренных и усиленных противорадоновых средств.

Величина объемной активности радона в почвенном воздухе майкопских глин достигает 30 кБк/м $^3$ , киевских глин — 35 кБк/м $^3$  [10, 12]. Повышенное содержание радона в почвенном воздухе связано также с тектоническими нарушениями.

Принципиально пониженное содержание радона во внутреннем воздухе помещений может быть обеспечено за счет [6, 7]:

выбора для строительства участка с низкими выделениями радона из грунтов;

применения ограждающих конструкций, эффективно препятствующих проникновению радона из грунтов в здание;

удаления радона из внутреннего воздуха помещений.

На стадии предпроектных изысканий производится экспертная оценка потенциальной радоноопасности участка на основе анализа комплекса качественно и количественно определяемых факторов. К наиболее значимым факторам, которые следует учитывать при этом, относятся:

ЭРОА радона в зданиях, эксплуатируемых на рассматриваемом участке или вблизи него;

плотность потока радона на поверхности земли;

ОА радона в почвенном воздухе;

характеристики геологического строения разрезов;

удельная активность радия в слоях пород геологических разрезов;

коэффициент эманирования радона в породах геологического разреза.

Таким образом, развитие научных идей в области радиационной безопасности населения, их практическая реализация в рамках национальной системы радиационной защиты обеспечат решение проблемы ограничения облучения населения от природных источников облучения, позволят оптимизировать систему защиты населения и снизить радиационные риски.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Онищенко Г.Г., Иванов С.И. Основные итоги деятельности государственной санитарно-эпидемиологической службы по ограничению облучения населения России от природных источников ионизирующих излучений, нерешенные проблемы и задачи на предстоящий период // Актуальные проблемы ограничения облучения населения от природных источников ионизирующего излучения. Радон-2000 : материалы научно-практической конференции, 18—20 апреля 2000 г., г. Пущино Московской области. М., 2000 г. С. 3—11.
- 2. *Сидельникова О.П., Козлов Ю.Д.* Влияние активности естественных радионуклидов строительных материалов на радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1996.
- 3. *Сидельникова О.П., Крикунов Г.Н.* Оценка защиты для снижения мощности дозы в помещениях. Днепропетровск : Изд-во ДИСИ, 1993.
- 4. *Рыжакова Н.К.*, *Башкиров Н.И.*, *Титенкова Н.В.* Оценка вклада стройматериалов в радиационный фон жилых помещений г. Томска // АНРИ. 2002. № 4.
- 5. Федеральная целевая программа снижения уровня облучения населения России и производственного персонала от природных радиоактивных источников на 1994—1996 гг. (программа «Радон») // АНРИ. 1994. № 3.
- 6. Пособие к МГСН 2.02—97. Проектирование противорадоновой защиты жилых и общественных зданий. М.: Правительство Москвы, Москомархитектура, 1998.
- 7. Радоновая безопасность зданий / М.В. Жуковский, А.В. Кружалов, В.Б. Гурвич, И.В. Ярмошенко. Екатеринбург: УрОРАН, 2000.
  - 8. Федеральный закон РФ «О радиационной безопасности населения» от 1996 г. № 3-ФЗ.
- 9. Нормы радиационной безопасности (НБР-99) СП 2.6.1.758—98. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. М.: Минздрав России, 1999.
- 10. Справочник по радиационному контролю в стройиндустрии / Ю.Д. Козлов, О.П. Сидельникова, П.А. Сидякин. Волгоград : ВолгГАСА, 1999.
- 11. Высокие технологии с использованием источников ионизирующих излучений в промышленности / Ю.Д. Козлов, И.В. Стефаненко, С.В. Ермолаев, О.П. Сидельникова. М. : Энергоатомиздат, 2006.
  - 12. Сидельникова О.П. Радиационный контроль в стройиндустрии. М.: АСВ, 2002.
- 13. Худяков В.А., Чичиров К.О., Сидельникова О.П. Организация контроля и управления радиационной нагрузкой в помещениях. Пенза: Изд-во ПГУАС, 2004.

© Стефаненко И.В., 2010

Поступила в редакцию в апреле 2010 г.

ПАШИ

**Алешин Александр Викторович** Alyoshin Alexandr Viktorovich

Алешин Виктор Сергеевич Alyoshin Viktor Sergeyevich Андронов Сергей Юрьевич Andronov Sergey Yur'evich

Балакин Владимир Васильевич Balakin Vladimir Vasilievich Балычев Владимир Дмитриевич Balychev Vladimir Dmitrievich Богомолов Александр Николаевич Bogomolov Aleksandr Nikolaevich Богомолова Оксана Александровна Bogomolova Oksana Aleksandrovna Боровик Виталий Сергеевич Borovik Vitaliy Sergeyevich Воробьев Владимир Иванович Vorobiyov Vladimir Ivanovich Ганжа Ольга Александровна Ganzha Olga Aleksandrovna Голованчиков Александр Борисович Golovanchikov Aleksandr Borisovich

Гофман Дмитрий Иванович Gofman Dmitriy Ivanovich Дмитриева Ирина Владимировна Dmitrieva Irina Vladimirovna

Дулькина Наталия Александровна Dulkina Nataliya Aleksandrovna

Ефанова Ирина Александровна Yefanova Irina Aleksandrovna

Ефремов Михаил Юрьевич Efremov Michael Jurjevich

Золотозубов Дмитрий Геннадьевич Zolotozubov Dmitriy Gennadievich Качурин Яков Владимирович Касhurin Yakov Vladimirovich Ковалев Николай Сергеевич Kovalyov Nikolay Sergeevich

Косицына Эльвира Сергеевна Kositsyna Elvira Sergeevna Костров Александр Николаевич Kostrov Alexandr Nikolaevich

Кужель Владимир Николаевич Kuzhel Vladimir Nikolayevich Лебедь Евгений Васильевич Lebed Yevgeniy Vasilyevich Лескин Андрей Иванович Leskin Andrey Ivanovich Логутин Валерий Васильевич Logutin Valeriy Vasilyevich

**Масляев Александр Викторович** Maslyayev Aleksandr Viktorovich

# НАШИ АВТОРЫ

соискатель, Ростовский государственный строительный университет, зам. директора Ростовского-на-Дону строительного колледжа, 8-928-279-65-85, wwrosu@mail.ru

канд. техн. наук, проф. кафедры водоснабжения и водоотведения, Ростовский государственный строительный университет, 8-909-425-39-10, wwrgsu@mail.ru аспирант кафедры строительства дорог и организации движения, Саратовский государственный технический университет;

graduate student at department of construction of roads and traffic organization, Saratov state technical university, 8-917-217-6289, atomic08@yandex.ru канд. техн. наук, доц., доц. кафедры организации и безопасности движения ВолгГАСУ, (8442) 37-45-12, skv\_83@inbox.ru

ведущий специалист, ООО «Волга-Эколон», 8-903-373-99-99, vdbalychev@mail.ru

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных соружений, проректор по научной работе Bonrf ACV, (8442) 96-99-54, boazaritcyn@mail.ru канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики и вычислительной техники Bonrf ACV, (8442)96-99-45, boazaritcyn@mail.ru

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ, (8-8442) 96-98-39, info@vgasu.ru

канд. техн. наук, доц., проф. кафедры экологического строительства и городского хозяйства ВолгГАСУ, (8442) 96-98-46, info@vqasu.ru

канд. техн. наук, доц. кафедры экологического строительства и городского хозяйства ВолгГАСУ, (8442) 93-08-04, ganzha\_olga@mail.ru

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет; doctor of technical sciences, professor, professor of the department-faculty of the processes and the machines of the food industry, Volgograd State Technical University, (8442) 24-84-31, pahp@vstu.ru

ст. преподаватель кафедры строительства транспортных систем ВолгГАСУ,  $(8442)\ 96-98-98$ , info@vgasu.ru

соискатель кафедры строительства дорог и организации движения, Саратовский государственный технический университет, гл. специалист Казенного предприятия Саратовской области «Дирекция автомобильных дорог»; independent researcher for a doctoral degree at department of construction of roads and traffic organization, Saratov state technical university, main expert, State enterprise Saratov region "Management of highways", (8452)27-71-82, ivdmitr@mail.ru канд. техн. наук, доц., доц. кафедры процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет; cand. of technical science, an associate professor of the department-faculty of the processes and the machines of the food industry, Volgograd State Technical University, (8442)24-84-31, dnataly@mail.ru

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры инженерно-педагогических дисциплин, Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт, г. Невинномысск, Ставропольский край, (886554) 6-03-02

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет; cand. of technical science, an associate professor of the department-faculty of the processes and the machines of the food industry, Volgograd State Technical University, (8442)24-84-31, m.u.efremov@ya.ru

опиченну, (оттерет однатель кафедры строительного производства, Пермский государственный технический университет, (342)244-20-91, spstf@pstu.ru аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ, (8442)96-98-87, info@vgasu.ru

канд. техн. наук, доц., профессор кафедры планировки и кадастра населенных мест, Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки, г. Воронеж, 537193, NSKovalev@mail.ru

канд. техн. наук, проф., проф. кафедры экологического строительства и городского хозяйства ВолгГАСУ, (8442) 96-98-64, kositsyna\_elvira@mail.ru аспирант, ассистент кафедры инженерной экологии и природообустройства, Астраханский государственный технический университет; the post-graduated student, assistent of sub-faculty of engineering ecology,

the post-graduated student, assistent of sub-faculty of engineering ecology, Astrahan State Technical University, 8512-61-44-98, kivragtu@rambler.ru генеральный директор, ООО «Черноморье» («Chernomorie»), г. Сочи, (8442)96-98-87, info@vgasu.ru (для А.Н. Богомолова)

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры информационных систем и математического моделирования ВолгГАСУ, 8-8442-96-98-55, info@vgasu.ru

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительства транспортных систем ВолгГАСУ, (8442)96-98-98, lai\_na@e-mail.ru

канд. техн. наук, проф., доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Ростовский государственный строительный университет; candidate of technical sciences, professor, reader of chair of engineering geology, foundations and bases of Rostov state building university, 8-8632-63-14-82, e-mail: igof-rgsu@mail.ru

канд. техн. наук, научно-исследовательская сейсмологическая лаборатория ВолгГАСУ, (8442) 97-49-64, (8442) 97-93-65, 8-927-505-50-67; maslaev@mail.ru, victor3705@mail.ru

Масюкова Любовь Васильевна Masyukova Lubov Vasil'evna

Медведева Оксана Николаевна Medvedeva Oksana Nikolaevna

**Мелихов Олег Олегович** Melihov Oleg Olegovich

Мякинин Алексей Сергеевич Myakinin Aleksey Sergeevich Новиков Михаил Георгиевич Novikov Michael Georgievich

Осипова Наталия Николаевна Osipova Natalia Nikolaevna

Пономарев Андрей Будимирович Ponomaryov Andrey Budimirovich

Пронин Сергей Александрович
Pronin Sergey Aleksandrovich
Pассказов Евгений Борисович
Rasskazov Yevgeniy Borisovich
Pоманов Сергей Иванович
Romanov Sergej Ivanovich
Саинов Дамир Ильдарович
Sainov Damir Ildarovich

**Саинова Виктория Николаевна** Sainova Viktoriya Nikolaevna

**Семенов Виктор Николаевич** Semenov Viktor Nikolayevich

Соколов Олег Леонидович Sokolov Oleg Leonidovich

Соркин Марк Борисович Sorkin Mark Borisovich

Статун Александр Сергеевич Statun Aleksandr Sergeevich Стефаненко Игорь Владимирович Stefanenko Igor Vladimirovich Таржиманов Марат Альбертович Tarzhimanov Marat Albertovich

**Терягова Александра Николаевна** Terjagova Aleksandra Nikolaevna

Ушакова Екатерина Владимировна Ushakova Ekaterina Vladimirovna

Филимонова Наталья Алексеевна Filimonova Natal'ya Alekseyevna Фомичев Валерий Тарасович Fomichov Valeriy Tarasovic Чебанова Светлана Александровна Chebanova Svetlana Aleksandrovna

вице-президент, Волгоградская торгово-промышленная палата, эксперт по сертификации работ по охране труда в организациях;

vice-president, Volgograd commercial and industrial chamber, 8-905-334-97-33, lioubov@pochta.ru

канд. техн. наук, доц., зам. директора по научно-инновационной деятельности Строительно-архитектурно-дорожного института, доц. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Саратовский государственный технический университет; Ph.D., associate professor, Deputy Director on a research and innovation of Construction and Architecture and Road Institute, Saratov State Technical University, associate professor Department of yeat and gas supply and ventilation, 8-927-126-54-65, medvedeva-on@mail.ru

аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Дорожнотранспортного института, Ростовский государственный строительный университет, (863) 263-77-76, drmixx@hotbox.ru

инженер-проектировщик специальных разделов, ООО «Планета», г. Волгоград, 8-917-848-35-45, info@vgasu.ru (для кафедры ЭСиГХ)

зам. руководителя управления, Управление Росприроднадзора по Волгоградской области;

an assistant of leader management, Rosprirodnadzor in Volgograd region, (8442) 93-16-87, urpnvolg@mail.ru

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Саратовский государственный технический университет;

cand. of technical sciences, associate professor, associate professor of heat and gas supply and ventilation department, Saratov State Technical University, Russia, Saratov, 8(8452)889993, tgs@sstu.ru

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительного производства, Пермский государственный технический университет, 614990 г. Пермь, Комсомольский пр. 29а, (342) 244-20-91, spstf@pstu.ru

канд. техн. наук, доц. кафедры строительства транспортных систем ВолгГАСУ, (8442)96-98-98, info@vgasu.ru

соискатель Ростовского государственного строительного университета, директор, санаторий «Колос», г. Кисловодск, 8-928-305-12-36, wwrgsu@mail.ru д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительства транспортных систем ВолгГАСУ, 8-917-842-71-69, rosiav@vlink.ru

канд. техн. наук, доц., доцент кафедры инженерной экологии и природообустройства, Астраханский государственный технический университет; cand. tech. sci., doc., docent of sub-faculty of engineering ecology, Astrahan State Technical University, 8-8512-61-44-98, kivragtu@rambler.ru

канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой инженерной экологии и природообустройства, Астраханский государственный технический университет; cand. tech. science, head of sub-faculty of engineering ecology, Astrahan State Technical University, 8-8512-61-44-98, kivragtu@rambler.ru

техн. наук, доц., первый проректор, зав. кафедрой городского строительства и хозяйства, Воронежский государственный архитектурностроительный университет, 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, кор. 1, ауд. 1008, (4732) 77-90-30, svn@vgasu.vrn.ru;

candidate of the technical sciences, assistant professor, scientific speciality: the manufacture organization (In building) 05.02.22, 394006, the first pro-rector, holder of the chair of cities' building and economy, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia, Voronezh, 20-years October's st., 84, 1 case, aud. 1008

д-р техн. наук, проф., науч. спец. «Строительная механика», зав. кафедрой сопротивления материалов, Вологодский государственный технический университет, 160000, Вологда, Ленина, 15

аспирант кафедры экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ; post-graduate student of the economy and road building management chair, VSUACE, (8-8442)-96-98-39, Mas99@inbox.ru;

аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ, (8442) 96-98-87, info@vgasu.ru

канд. техн. наук, ген. директор, ООО «ЛУКОЙЛ-Волгоградэнерго», (8442) 25-28-59, stefanenkoiv@gc-v.ru

ассистент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов, Ростовский государственный строительный университет, науч. спец. 05.23.02 «Основания и фундаменты, подземные сооружения»;

junior member of research staff of chair of engineering geology, foundations and bases, science speciality «The foundations and the bases, underground constructions», Rostov state building university, (8632) 63-14-82, igof-rgsu@mail.ru канд. архит., доц. кафедры градостроительства, Самарский государственный архитектурно-строительный университет;
PhD in architecture, associate professor of urban planning, Samara State Archi-

PhD in architecture, associate professor of urban planning, Samara State Architectural and Construction University, (846) 339-14-05, ter\_a\_n@list.ru инженер-эколог, ООО ПСФ «ГЕОэкспресс»;

engineer-ecologist, Design-civil engineering firm «GEOexpress»,

8-927-662-69-94, etemnik@mail.ru

ассистент кафедры общей и прикладной химии ВолгГАСУ, 8-960-884-83-19, info@vgasu.ru

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой общей и прикладной химии ВолгГАСУ, (8442) 96-98-14, info@vgasu.ru

ассистент кафедры технологии строительного производства ВолгГАСУ, 8-909-388-26-81, sveta\_nes@mail.ru

**Чернобровкин Геннадий Яковлевич** Chernobrovkin Gennadiy Yakovlevich

Якименко Игорь Владимирович Yakimenko Igor Vladimirovich канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительства и архитектуры Новочеркасского политехнического института, Южно-Российский государственный технический университет, (886352) 5 54 30, rektorat@npi-tu.ru соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ, (8442) 96-98-87, info@vgasu.ru

Примечание. С авторами статей — аспирантами, докторантами и сотрудниками ВолгГАСУ — можно связаться по e-mail: info@vgasu.ru (в теме письма указать наименование кафедры, 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 <u>Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)</u> на сайте Научной электронной библиотеки <u>www.elibrary.ru</u>.

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), 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 анкете (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 (Cyr) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для набора формул используется редактор формул Microsoft MathType 5; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, растровые — в ТІГ или ВМР, 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, илиострации обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. Подписи к рисункам выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы Arj и WinZip, WinRAR.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Cyr) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные баблиографические списки размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадрат-

ных 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 (Суг) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников.

*Библиографический список* приводится *дважды*. Во втором варианте все русскоязычные библиографические записи приводятся *на латинице*, записи на других языках просто повторяются.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав. Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. В спорных случаях 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, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректура статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с 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»

Примерные 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. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционноградостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуры. 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 <u>www.vgasu.ru</u>, в разделе *Издательская деятельность / Научные журналы / Вестник Волгоградского государственного архитектурностроительного 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: <a href="mailto:postmaster@vgasu.ru">postmaster@vgasu.ru</a> (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: gorachevaoe@mail.ru.

### Вниманию читателей и авторов!

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» временно выходит в одной серии

«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» (4 выпуска в год). Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343, на Интернет-сайте агентства «Книга-Сервис» — E85343

(по электронному каталогу можно подписаться и на текущие номера). По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-46 к отв. секретарю редсовета В.И. Воробьеву

Продолжается прием статей в очередные выпуски серий «Политематическая» и «Строительная информатика» электронного сетевого научно-технического журнала «ИНТЕРНЕТ-ВЕСТНИК ВолгГАСУ».

# Журнал включен

в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № ФС77-26286 от 17.11.06, ФГУП НТЦ «Информрегистр», свидетельство № 313 от 140.10.09 № гос. рег. 0421000065 (на 2010 г.), Международным центром ISSN, ISSN 1994-0351, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru). Подробная информация на сайте журнала www.vestnik.vgasu.ru

«Интернет-вестник ВолгГАСУ» не является электронной версией печатного журнала. Оба журнала содержат оригинальные публикации.

> По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале «СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»

обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.

Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс 29507 и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс Е 29507.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № ФС77-26286 от 17.11.06, Международным центром ISSN, ISSN 1994-0351, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru). Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: www.vgasu.ru

в разделе Издательская деятельность / Научные журналы.

# Научное издание

# ВЕСТНИК ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

Серия: Строительство и архитектура 2010. Вып. 18 (37)

Редактор О.Е. Горячева
Корректор М.Л. Песчаная
Перевод на английский язык Д.Р. Гарифуллина, Г.Н. Борисова
Компьютерная правка и верстка О.Е. Горячева, О.В. Горячева, А.Г. Чурзина
Компьютерный дизайн обложки О.Ю. Мелешин, Ю.С. Андреева
Информационно-библиографическое обслуживание выпуска Е.В. Хромова

Подписано в печать 14.05.10. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Уч.-изд. л. 13,1. Усл. печ. л. 14,35. 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, 11a