

ISSN 1815-4360



# ВЕСТНИК

ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

СЕРИЯ:

СТРОИТЕЛЬСТВО  
И АРХИТЕКТУРА

ВЫПУСК 7(26)  
2007

УДК 69+72  
ББК 38

**Учредитель:**

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-19321 от 30 декабря 2004 г.  
Выдано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства  
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

*Журнал входит в утвержденный  
ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации  
Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых  
должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации  
на соискание ученой степени кандидата наук*

**Главный редактор журнала:**

заслуженный деятель науки и техники РФ,  
доктор технических наук, профессор *В.А. Игнатъев*

**Заместитель главного редактора:**

доктор технических наук, профессор *Г.А. Наумова*

**Редакционный совет журнала:**

канд. техн. наук, доц. *В.И. Воробьев* (отв. секретарь),  
нач. РИО ВолгГАСУ *О.Е. Горячева*, д-р экон. наук, проф. *О.В. Иншаков*,  
д-р архит., проф. *И.Г. Лежава*, д-р техн. наук, проф. *Л.С. Ляхович*,  
д-р хим. наук, проф. *И.А. Новаков*, д-р экон. наук, проф. *Ю.П. Панибратов*,  
д-р техн. наук, проф. *А.П. Пшеничкин*, д-р техн. наук, проф. *В.Ф. Сидоренко*,  
д-р техн. наук, проф. *И.С. Суровцев*, д-р техн. наук, проф. *Ю.В. Чеботаревский*,  
д-р техн. наук, проф. *В.М. Шумячер*

**Редакционная коллегия серии:**

д-р техн. наук, проф. *В.Ф. Сидоренко* (отв. редактор серии),  
д-р техн. наук, проф. *А.Г. Перехоженцев*, д-р техн. наук, проф. *В.С. Боровик*,  
чл.-кор. РААСН, д-р архит., проф. *Г.В. Есаулов*, д-р техн. наук, проф. *Ю.Г. Иващенко*,  
д-р техн. наук, проф. *О.В. Игнатъев*, д-р техн. наук, проф. *И.Г. Овчинников*,  
д-р техн. наук, проф. *В.А. Пшеничкина*,  
д. чл. РААСН, д-р техн. наук, проф. *Е.М. Чернышов*

**Адрес редакции:**

400074, Волгоград, ул. Академическая, 1  
Тел. (8-442)96-98-46, (8-442)96-98-28



© Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный архитектурно-  
строительный университет», 2007

Федеральное агентство по образованию

**ВЕСТНИК  
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**Серия: Строительство и архитектура**

**Выпуск  
7(26)**

Научно-теоретический и производственно-практический  
журнал

**2007**

Выходит 4 раза в год

Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолгГАСУ

**С о д е р ж а н и е**

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

- Богомолов А.Н., Вихарева О.А., Шиян В.И.** К вопросу о минимальных значениях коэффициента бокового давления грунтов 6
- Наумова Г.А., Овчинников И.И.** Моделирование кинетики образования коррозионных трещин в железобетонных элементах конструкций в условиях хлоридной агрессии 11
- Калошина С.В., Пономарев А.Б.** Анализ существующих методов расчета осадок зданий и напряженно-деформированного состояния оснований 20
- Цветкова Е.В.** К решению проблемы обеспечения устойчивости нагруженных грунтовых откосов и склонов 23
- Михайлов В.В., Колобанов А.С., Лифинцев О.И., Лифинцев А.И.** Исследование коррозионной стойкости конструкций покрытия цехов холодного проката стали 28
- Шестаков С.А.** Оценка кинетической энергии соударения полостеобразующих элементов и оценка температуры в точке торможения при сварке взрывом сотовых конструкций 33
- Пастухов Ю.В., Сидельникова О.П.** Контроль коррозии при эксплуатации зданий и сооружений в особых условиях 41
- Муравьева Л.В., Литвинов С.А.** Основы расчета надежности трубопроводной конструкции 44
- Куц Л.Р.** Коррозия электрохимически неоднородного подземного трубопровода 51
- Зверев В.В., Мещерякова Е.В.** Исследование устойчивости тонкостенного стального U-образного профиля несимметричного сечения в составе покрытия поэлементной сборки 55

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

- Беликов Г.И., Тарасов А.А.** Неклассическая теория изгиба композитных балочных элементов конструкций 59
- Клочков Ю.В., Джабраилов А.Ш.** Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния ветвящихся оболочек вращения на основе метода конечных элементов 65
- Старов А.В.** Метод решения нелинейных задач жесткопластического изгиба круглых пластинок на основе условия пластичности Мизеса 69
- Воронкова Г.В., Рекунов С.С.** Особенности расчета пластинок по методу конечных элементов в смешанной форме 74
- Кондрашов В.В.** Анализ точности теории упругих сетчатых пластин на основе дискретной и континуальной расчетных моделях при различной густоте сетки 78

<b>Чантуридзе А.У.</b> Применение процедуры исчерпывания к решению проблемы собственных значений	83
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ</b>	
<b>Шестаков В.Н., Туякова А.К.</b> Прогнозирование организационно-технологических рисков в процессе строительства асфальтобетонных покрытий	89
<b>Боровик В.С., Васильева Л.П.</b> Обоснование выбора формы материального обеспечения на предприятиях дорожной отрасли на основе ABC-анализа	93
<b>Девятов М.М., Мокроусов С.С.</b> Аудит безопасности как метод снижения аварийности на автомобильных дорогах на стадии разработки проектной документации	96
<b>Атопов В.И., Балакин В.В.</b> Задача программно-целевой экологизации транспортной системы Волгограда	103
<b>Толстиков Н.П., Голич А.С.</b> Расчет прочности и оценка уровня надежности дорожных покрытий с учетом кривизны чаши прогиба	112
<b>Ковалев Н.С., Ромасев В.И., Князев В.А.</b> Уменьшение скользкости покрытий автомобильных дорог в зимний период времени	117
<b>Бондарев Б.А., Корнеев А.Д., Чистяков Е.Г., Пономарев А.В., Бондарев А.Б.</b> Выбор критериев, определяющих проведение ремонтных работ и устанавливающих межремонтные сроки службы конструктивных элементов городских автомобильных дорог	123
<b>ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА</b>	
<b>Богуславский Е.И., Глушко А.А., Азаров В.Н.</b> Предложения по совершенствованию метода статистического анализа травматизма в строительстве	129
<b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ</b>	
<b>Орешкин Д.В., Перфилов В.А., Попов П.В.</b> Разрушение бетонов при различных скоростях нагружения	135
<b>Полетаев Ю.А., Люпаев Б.М., Ерофеев В.Т.</b> Исследование прочности малосвязанного каркасного бетона (МКБ) на сжатие и сдвиг	139
<b>Пушенко А.С., Азаров В.Н.</b> Оценка влияния высоких температур пожара на свойства высокопрочного бетона	143
<b>Толмачев О.В., Ковалев Н.С.</b> Использование кривых Велера для прогнозирования трещиностойкости и долговечности армированного асфальтобетона	148
<b>Майорова Л.С., Акчурич Т.К.</b> Вибропрессованные мелкозернистые бетоны, модифицированные добавками органико-химических и минеральных техногенных отходов	155
<b>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ. ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА. ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ. ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ</b>	
<b>Мензелинцева Н.В., Карапузова Н.Ю., Плеханова Л.И.</b> Аппарат для высокоэффективной очистки промышленных выбросов от твердых частиц	161
<b>Фомичев В.Т., Азаров В.Н., Лукьянсков А.С.</b> Совершенствование систем вентиляции цехов анодной массы алюминиевых производств	164
<b>Лукьянсков А.С., Фомичев В.Т.</b> О расчетной модели регенерации рукавных фильтров систем вентиляции в условиях производства анодной массы	170
<b>Беломутенко С.В., Котов А.В., Голубева С.И., Лукин П.А.</b> Определяющие факторы сепарации дисперсной фазы в неоднородном закрученном потоке газа	173
<b>Голованчиков А.Б., Ефремов М.Ю., Шишлянников В.В.</b> Расчет процесса непрерывной адсорбции при действии электрического поля	178
<b>Сиволобова Н.О., Голованчиков А.Б.</b> Обеззараживание воды в постоянном электрическом поле	180
<b>Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Блажек С.И.</b> Опыт внедрения схемы двухступенчатой физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод	185
<b>ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ. АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ</b>	
<b>Охотникова Ю.В.</b> Объемно-пространственная структура дальневосточных храмов конца XIX — начала XX вв.	189
<b>Баклыская Л.Е.</b> Первые дальневосточные вокзалы как отражение специфики русской архитектуры рубежа XIX—XX вв.	196
<b>Задвернюк Л.В.</b> Гипотетическая модель долинного бохайского города	200
<b>Соловьев К.А.</b> Городской монастырь, проблемы сохранения и музеефикации памятников церковной старины на рубеже XIX—XX столетий	207

<b>Васильев Н.Ю.</b> Дизайн как прототип нового архитектурного языка 1960—1990-х гг.	212
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА. УПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ	
<b>Соколов А.И., Соколов И.И.</b> Научные проблемы организации расселения на территории Юга России	218
<b>Черняеский Ю.В., Сидоренко В.Ф.</b> Влияние инвестиционных возможностей на состояние градостроительных условий Волгоградской области	222
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА	
<b>Иванова Т.Г.</b> Композиционно-художественные свойства средств озеленения дворовых территорий в условиях сложного рельефа	228
<b>Антюфеев В.А.</b> Модели формирования объектов отдыха и туризма для условий Волго-Ахтубинского пойменно-дельтового образования	236
<b>Ганжа О.А.</b> Оценка факторов, оказывающих влияние на уровень шума в зоне городских транспортных пересечений в одном уровне	239
<b>Черняеская Т.А.</b> Теоретические основы геоэкологического подхода в территориальном проектировании Нижнего Поволжья	244
<b>Балакин В.В.</b> О роли средств организации движения транспорта в решении экологических проблем городов	251
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
<b>Столяров В.В., Шмагина Э.Ю.</b> Совершенствование методов определения расчетного расхода воды в реках с использованием теории риска	258
НАШИ АВТОРЫ	261

## C o n t e n t s

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. BASEMENTS, FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES	
<b>Bogomolov A.N., Vikhareva O.A., Shiyani V.I.</b> On the issue of minimal coefficient values of lateral earth pressure	6
<b>Naumova G.A., Ovchinnikov I.I.</b> Modeling of kinetics of corrosion crack formation in reinforced concrete structural elements under chloride aggression	11
<b>Kaloshina S.V., Ponomarev A.B.</b> Analysis of existing methods for estimation of building settlement and basement stress and strain state	20
<b>Tsvetkova Ye.V.</b> On solving the problem of providing stability for loaded scarps and slopes	23
<b>Mikhaylov V.V., Kolobanov A.S., Lifintsev O.I., Lifintsev A.I.</b> Investigation of corrosion resistance of coating structures for cold-rolled steel shops	28
<b>Shestakov S.A.</b> Measurement of kinetic energy of concussion of cavity creating elements and of temperature in breaking point during explosion welding of cell constructions	33
<b>Pastukhov Yu.V., Sidelnikova O.P.</b> Corrosion control of buildings and constructions under special conditions	41
<b>Muravyeva L.V., Litvinov S.A.</b> Principles of estimating pipeline structure reliability	44
<b>Kusch L.R.</b> Corrosion of electrochemically-heterogeneous underground pipeline	51
<b>Zverev V.V., Mescheryakova Ye.V.</b> Investigation of stability of thin-walled asymmetric U-section as part of element-wise assembling coating	55
STRUCTURAL MECHANICS	
<b>Belikov G.I., Tarasov A.A.</b> Non-classic theory of bending for composite beam constructions	59
<b>Klochkov Yu.V., Dzhabrailov A.Sh.</b> Comparative analysis of stress and strain state of branching rotational shells based on finite-element method	65
<b>Старов А.В.</b> The method of a solution of non-linear boundary value problems of plastic curving circular plates on the basis of Mises condition of plasticity	69
<b>Voronkova G.V., Rekunov S.S.</b> Characteristic features of the calculating plates with the help of the mixed form of the finite elements method	74
<b>Kondrashov V.V.</b> The analysis of accuracy of the theory of elastic mesh plates on the basis of discrete and continued settlement models at various density of the grid	78
<b>Chanturidze A.U.</b> Using the procedure of reducing the characteristic determinant's order	83

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

<b>Shestakov V.N., Tuyakova A.K.</b> Forecasting managerial and technological hazards while constructing asphaltic concrete pavements	89
<b>Borovik V.S., Vasilyeva L.P.</b> Substantiation of choice of material security type at highway enterprises based on ABC analysis	93
<b>Deviatov M.M., Mokrousov S.S.</b> Audit of traffic safety is the method of lowering the accident rate on the roads at the designing stage	96
<b>Atopov V.I., Balakin V.V.</b> Organizational suggestions for making Volgograd's traffic system more environment-friendly	103
<b>Tolstikov N.P., Golich A.S.</b> Pavement strength and durability analysis including calculation of road curving	112
<b>Kovalev N.S., Romasev V.I., Knyazev V.A.</b> Reducing road slipperiness during winter period	117
<b>Bondarev B.A., Korneyev A.D., Chistyakov Ye.G., Ponomaryov A.V., Bondarev A.B.</b> Choice of the criterion, defining undertaking the repair work and installing overhaul lifetime constructive element town car roads	123

## TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION

<b>Boguslavskiy E.I., Glushko A.A. Azarov V.N.</b> Suggestions on statistic analysis improvement for calculation of traumatism in construction process	129
--	-----

## BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

<b>Oreshkin D.V., Perfilov V.A., Popov P.V.</b> Destruction of concretes under different loading speed	135
<b>Poletaev J.A., Ljupaev B.M.</b> Researches of shift loadings not enough the connected frame concrete (PCFC)	139
<b>Pushenko A.S., Azarov V.N.</b> Impact of high temperatures of fire on properties of high-strength concrete	143
<b>Tolmachev O.V., Kovalev N.S.</b> Using Wehler curves to forecast crack resistance and durability of reinforced asphalt concrete	148
<b>Mayorova L.S., Akchurin T.K.</b> Vibrocompressed fine grain concretes modified by admixtures of organic-chemical and mineral man-made waste	155

## HEAT SUPPLY. VENTILATION, AIR CONDITIONING. GAS SUPPLY AND ILLUMINATION. WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

<b>Menzelintseva N.V., Karapuzova N.Yu., Plekhanova L.I.</b> Apparatus for highly efficient cleaning of industrial emissions from solid particles	161
<b>Fomichev V.T., Azarov V.N., Lukyanskov A.S.</b> Improving ventilation systems of anode paste plants of aluminum production	164
<b>Lukyanskov A.S., Fomichev V.T.</b> About an estimated regeneration model of ventilation system bag filters while producing anode paste	170
<b>Belomutenko S.V., Kotov A.V., Golubeva S.I., Lukin P.A.</b> Determinating factors of separation of dispersed phase in non-homogenous twisted gas flow	173
<b>Golovanchikov A.B., Yefremov M.Yu., Shishlyannikov V.V.</b> Estimation of continuous adsorption process under the action of electric field	178
<b>Sivolobova N.O., Golovanchikov A.B.</b> Water Disinfection in Electrostatic Field	180
<b>Andreyev S.Yu., Grishin B.M., Blazhko S.I.</b> Experience in implementation of a scheme of two-stage physical-and-chemical treatment of domestic sewage	185

## THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF THE HISTORIC AND ARCHITECTURAL HERITAGE. ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

<b>Okhotnikova Yu.V.</b> Volumetric-and-spatial composition of Far Eastern temples dated back to the end of XIX — beginning of XX centuries	189
<b>Baklyskaya L.E.</b> First train stations of the far east as a reflection of specificity of russian architecture of 19–20 century	196
<b>Zadvernyuk L.V.</b> Hypothesize model of Bohai valley city	200
<b>Soloviev K.A.</b> City monastery: problems of preservation of old church buildings in 19–20 century	207
<b>Vasiliev N.Yu.</b> Design as a prototype of a new language of architecture in 1960s–1990s	212

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT. CONTROL OF INVESTMENT URBAN PLANNING ACTIVITY	
<b>Sokolov A.I., Sokolov I.I.</b> Scientific problems of settlement management in the south of Russia	218
<b>Cherniavskiy Yu.V., Sidorenko V.F.</b> Influence of investment possibilities on town planning in the Volgograd region	222
ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING. LANDSCAPE ARCHITECTURE	
<b>Ivanova T.G.</b> The composition and decorative properties of means the greens by courtyard territories to dispose in difficult relief condition	228
<b>Antyufeyev V.A.</b> Modeling recreation and tourist centers for the Volgo-Akhtubinskaya flood-plain area	236
<b>Ganzha O.A.</b> Estimation of factors influencing the noise level in the junction zone of the same level	239
<b>Cherniavskaya T.A.</b> Theoretical Footings of geo-ecological approach to territory development in the Low-Volga Region	244
<b>Balakin V.V.</b> The significance of traffic management measures for addressing urban environmental issues	251
HIDROTECHNICAL CONSTRUCTION	
<b>Stolyarov V.V., Shmagina E.Yu.</b> Improving methods of design water flow using the risk theory	258
OUR AUTHORS	261

---

**Вниманию читателей и авторов!**

**Со второго полугодия 2007 г.  
«Вестник Волгоградского государственного  
архитектурно-строительного университета»  
выходит в одной серии  
«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» (4 выпуска в год).**

**Выпуск серий «Технические науки» и «Естественные науки»  
временно приостановлен.**

**Выпуск серии «Гуманитарные науки» прекращен  
в связи с основанием в ВолгГАСУ нового научно-теоретического журнала  
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»,**

в котором публикуются научные статьи и другие материалы по социальным проблемам развития города. Основные тематические рубрики:

**человек в современном городе;  
город как экономическая система;  
город и власть;  
архитектурное пространство индустриального города;  
техносфера города: город и экология.**

Готовятся к выпуску два очередных номера 2007 г. С первого полугодия 2008 г. журнал будет распространяться по подписке (каталог «Пресса России»).

По вопросам публикации и приобретения выпусков журнала за 2007 г.  
обращаться к **ответственному секретарю редколлегии А.Б. Беспалову**  
по тел. **(844-2)-96-99-25.**

Консультации по оформлению статей — нач. РИО ВолгГАСУ О.Е. Горячева,  
тел. (844-2)-96-98-28, E-mail: [gorachevaeo@mail.ru](mailto:gorachevaeo@mail.ru)

---

**Информация о подписке на журналы на с. 263**

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

УДК 624.131

А.Н. Богомолов, О.А. Вихарева, В.И. Шиян

### К ВОПРОСУ О МИНИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТОВ

Рассмотрено предельное состояние слоя однородного грунта бесконечно большой толщины. Установлена зависимость между величиной коэффициента бокового давления грунта и его углом внутреннего трения в предельном состоянии.

The paper considers the marginal state of the uniform soil layer of infinitely large depth. The dependence between the lateral pressure factor and its angle of internal friction in marginal state was established.

В [1] приведено аналитическое решение первой основной задачи теории упругости для весомой однородной и изотропной полуплоскости с криволинейной границей, основанное на использовании методов теории функций комплексного переменного (МТФКП) [2].

Функция, совершающая конформное отображение нижней полуплоскости  $ImZ < 0$  на полуплоскость с криволинейной границей, принята в виде

$$z = \omega(\zeta) = C_0 + C\zeta - \sum_{k=0}^n \frac{C_{2k+1}}{(\zeta + a - bi)^{2k+1}}, \quad (1)$$

где  $z = x + iy$ ;  $\zeta = \xi + i\eta$ ;  $C_0$ ;  $C$ ;  $C_{2k+1}$  — любые, в том числе и комплексные, коэффициенты;  $a$  и  $b$  — действительные числа,  $b > 0$ .

Если положить, что коэффициенты  $C_{2k+1}$  равны нулю, то получим отображение полуплоскости на полуплоскость.

Предположим, что материал полуплоскости обладает внутренним трением и сцеплением, тогда, очевидно, ее можно рассматривать как слой связного грунта бесконечной толщины.

Численные значения напряжений  $\sigma_z$  и  $\sigma_x$  в точках этого слоя будут зависеть от объемного веса грунта, вертикальной координаты точки  $z$  и величины коэффициента бокового давления  $\xi_0$ ,  $\tau_{zx} = 0$ .

Величины коэффициента устойчивости в каждой точке грунтового массива и глобального коэффициента устойчивости, согласно [3], определяются выражениями

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

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

где  $\sigma_z$ ;  $\sigma_x$ ;  $\tau_{xz}$  и  $\alpha$  — соответственно, безразмерные (деленные на  $\gamma H$ ) напряжения и угол наклона наиболее вероятной площадки сдвига в рассматриваемой точке грунтового массива;  $\sigma_{св} = C(\gamma H \operatorname{tg} \varphi)^{-1}$  — приведенное давление связности ( $C$ ;  $\varphi$ ;  $\gamma$  и  $H$  — соответственно, сцепление, угол внутреннего трения, удельный вес грунта и характерный геометрический размер рассматриваемой области, например, высота насыпи или толщина слоя грунта);  $F_{уд}$  и  $F_{сд}$  — удерживающие и сдвигающие силы в точках НВПВ, определяемые, соответственно, числителем и знаменателем формулы (2);  $S$  — дуговая координата точки НВПВ.

Учитывая, что толщина слоя грунта  $H \rightarrow \infty$ , то в формуле (2)

$$\sigma_{св} = 0. \quad (4)$$

Если теперь рассмотреть формулу (2), с учетом условия (4), то окажется, что величины коэффициентов устойчивости в точках бесконечно толстых слоев связного и несвязного грунта будут подсчитываться совершенно одинаково, формула (2) при этом примет вид

$$K = \frac{[(\sigma_z - \sigma_x) \cos 2\alpha + (\sigma_x - \sigma_z)] \operatorname{tg} \varphi}{(\sigma_x - \sigma_z) \sin 2\alpha}. \quad (5)$$

Разница будет состоять в том, что при вычислении напряжений надо использовать численные значения коэффициента бокового давления, которые характерны для этих категорий грунтов.

Для построения наиболее вероятной поверхности разрушения в грунтовом массиве используем методику, основанную на анализе его напряженно-деформированного состояния [3].

Все вычисления проведены при помощи пакета прикладных компьютерных программ ASV32, разработанного в ВолгГАСУ [4].

Построение наиболее вероятных (в предельном состоянии они все *одинаково вероятны*) поверхностей разрушения в вертикальной однородной весомой полуплоскости, заполненной грунтом, показало, что след этих поверхностей представляет собой прямую линию, наклоненную к вертикали под углом  $\alpha$  (рис. 1). Численные значения коэффициентов устойчивости в каждой ее точке равны между собой и равны величине глобального коэффициента устойчивости, вычисленного по формуле (3).

Формула (5) позволяет записать соотношение, связывающее  $\alpha$  и  $\varphi$  в предельном состоянии

$$\alpha = \pi/2 - \varphi. \quad (6)$$

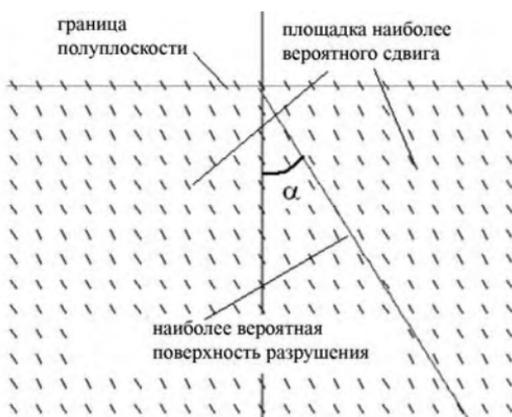


Рис. 1. Расчетная схема МТФКП для бесконечно толстого слоя грунта

Из формулы (6) следует, что для идеально связного грунта  $\alpha = 90^\circ$ , а для идеально сыпучего  $\alpha = 45^\circ$ , т.е. в бесконечно толстом слое, заполненном идеально связной средой, наиболее вероятная поверхность разрушения совпадает с поверхностью слоя, если среда идеально сыпучая, то наклонена к вертикали под углом в  $45^\circ$ .

Для грунтов, обладающих и внутренним трением и сцеплением, величина угла  $\alpha$  в зависимости от величины коэффициента бокового давления грунта может быть определена по графику, приведенному на рис. 2, или вычислена по формуле (7).

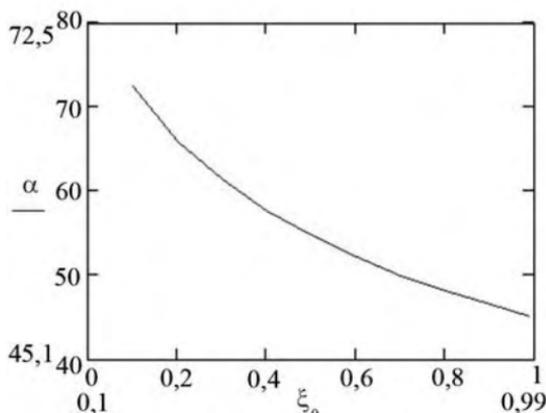


Рис. 2. График зависимости вида  $\alpha=f(\xi_0)$

$$\alpha = -12,181 \ln(\xi_0) + 45,749, \quad (7)$$

где коэффициенты имеют размерность [град].

Нами проведены вычисления численных значений коэффициентов устойчивости для слоев грунта бесконечной толщины при соблюдении условия (4). Угол внутреннего трения  $\varphi$  изменялся от  $5^\circ$  до  $45^\circ$  с шагом в  $5^\circ$ , а коэффициент бокового давления  $\xi_0$  — от 0,1 до 0,9 с шагом 0,1. После обработки результатов вычислений в среде Mathcad построены графические зависимости

вида  $K=f(\xi_0)$ , которые приведены на рис. 3. На этом же рисунке изображена прямая  $K=1$ . Очевидно, что абсциссы точек пересечения этой прямой с кривыми зависимостей вида  $K=f(\xi_0)$  определяют то минимальное значение коэффициента бокового давления  $\xi_0^{np}$ , при котором бесконечно толстый слой грунта, имеющий соответствующее значение угла внутреннего трения  $\varphi$ , переходит в предельное состояние.

Все кривые, приведенные на рис. 3, практически со 100 % точностью могут быть аппроксимированы зависимостью вида

$$K = \alpha^{(b\xi_0+c)} + d\xi_0 + f, \quad (8)$$

где все коэффициенты безразмерные.

Численные значения коэффициентов, входящих в формулу (8), определяются по табл. 1 в зависимости от угла внутреннего трения грунта.

Сопоставим полученные нами результаты с известными. Рассмотрим широко используемую формулу, приведенную в [5], по которой величина коэффициента бокового давления определяется как численное значение отношения главных напряжений  $\sigma_3/\sigma_1$  в точках массива несвязного грунта, находящегося в предельном состоянии

$$\xi_0 = \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2}\right). \quad (9)$$

Нами составлена таблица, в которую помещены результаты вычислений величины коэффициента бокового давления по формуле (9)  $\xi_0^{(9)}$ , и соответствующие значения  $\xi_0^{np}$ , определенные по графикам, приведенным на рис. 3, и построенным в среде Mathcad.

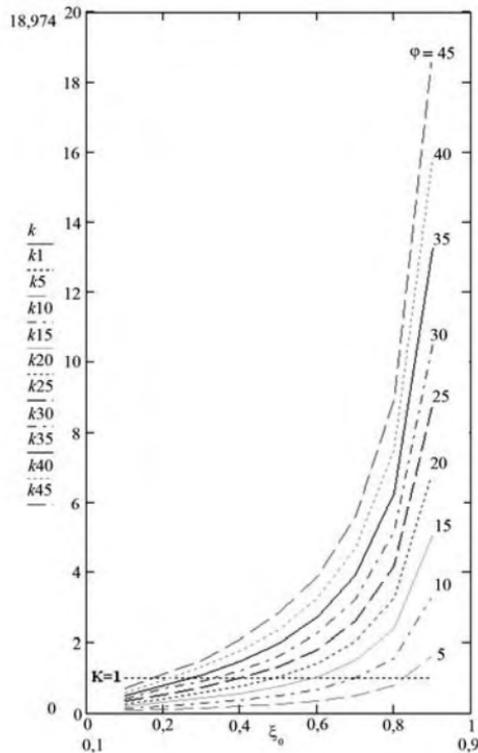


Рис. 3. Графики зависимостей вида  $K=f(\xi_0)$  для связного грунта при различных значениях угла внутреннего трения  $\varphi$

Т а б л и ц а 1

$\varphi^{\circ}$	$a$	$b$	$c$	$d$	$f$
5	0,000125	0,177	-0,196	5,945	-5,1379
10	0,00018	-1,258	1,025	0,9322	0,00009801
15	0,00001865	-1,551	1,306	3,353	-0,863
20	0,002231	-1,768	1,322	1,923	0,02
25	5,027	6,687	-4,851	2,466	0,025
30	5,908	5,736	-4,005	2,926	0,07
35	6,76	5,65	-3,886	3,402	0,038
40	6,707	5,688	-3,821	4,475	0,03
45	6,091	5,964	-3,902	5,29	0,043

$\varphi^0$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$\xi_0^{(9)}$	0,824	0,703	0,585	0,488	0,400	0,329	0,270	0,221	0,173
$\xi_0^{rp}$	0,840	0,704	0,589	0,490	0,406	0,333	0,271	0,217	0,172

С использованием численных значений  $\xi_0^{rp}$ , приведенных в табл. 2, построена графическая зависимость, которая приведена на рис. 4 и которая может быть аппроксимирована выражением (10)

$$\varphi = -24,709 \ln(\xi_0) + 2,169, \quad (10)$$

где коэффициенты имеют размерность [град].

Сопоставление соответствующих величин коэффициентов бокового давления показывает, что их численные значения отличаются друг от друга максимум на 1,9 %.

Таким образом, нами получен результат, подтверждающий правомерность использования формулы (9) для определения величины коэффициента бокового давления грунтов, находящихся в предельном состоянии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богомолов А.Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке / Пермь : ПГТУ, 1996.
2. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Наука, 1966.
3. Цветков В.К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Нижнее-Волжск. кн. изд-во, 1979.
4. Богомолов А.Н. Пакет прикладных компьютерных программ для исследования устойчивости грунтовых массивов ASV32 / А.Н. Богомолов, О.А. Вихарева, А.В. Редин // Город, экология, строительство : программа, докл. и сообщения Междунар. науч.-практ. конф.; Каир (Египет), 1999. Волгоград, 1999.
5. Флорин В.А. Основы механики грунтов. М. ; Л. : Госстройиздат, 1959. Т. 1.

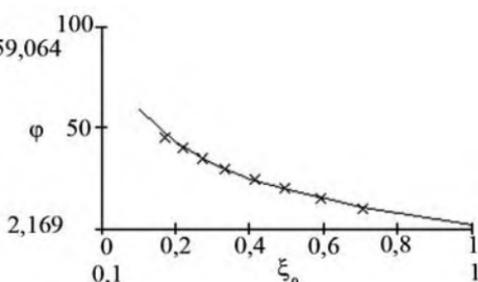


Рис. 4. График зависимости вида  $\varphi=f(\xi_0)$  для определения коэффициента бокового давления грунта в предельном состоянии

УДК 539.4

*Г.А. Наумова, И.И. Овчинников***МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОБРАЗОВАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН  
В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ  
В УСЛОВИЯХ ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИИ**

Рассматривается задача прогнозирования кинетики развития коррозионной трещины в защитном слое бетона вследствие появления и увеличения в объеме продуктов коррозии на арматурных стержнях. Учитываются нелинейные разномодульные свойства бетона, влияние поврежденности на процесс его деформирования. Получены основные соотношения, описаны алгоритм решения, проведена верификация модели путем сопоставления результатов расчета с ее помощью с отдельными данными других исследователей.

The authors consider the problem of forecasting the kinetics of corrosion crack development in concrete cover as a result of appearance and bloating of corrosion products on reinforcement bars. They take into consideration non-linear multimodular concrete properties, and impact of damage level on its deformation. They have obtained principal correlations, described a solution algorithm, and executed the model verification by comparing estimation results to separate data of other researchers

Рассматривается процесс образования и роста коррозионной трещины в защитном слое железобетонного элемента вследствие постепенного увеличения давления продуктов коррозии на арматурных стержнях под влиянием хлоридсодержащей среды.

Для упрощения задачи считается, что армированный элемент находится в первоначально ненапряженном состоянии. Используются следующие предположения, позволяющие сделать модель процесса более корректной.

1. Хлоридсодержащая среда проникает в армированный конструктивный элемент по закону активированной диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{div} D \text{grad} C, \quad (1)$$

создавая в объеме конструктивного элемента концентрационное поле  $C(r, \theta, z)$ . В уравнении (1)  $t$  — время;  $D$  — коэффициент диффузии, зависящий от концентрации среды, напряженно-деформированного состояния и уровня поврежденности в точке конструктивного элемента с координатами  $r, \theta, z$ .

2. Бетон считается нелинейно-упругим, разнсопротивляющимся, его свойства полагаются зависящими от концентрации хлоридов  $C$  в рассматриваемой точке.

Физические соотношения в предположении что  $r, \theta, z$  — главные оси, принимаются в виде

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{1}{\psi_j} [\sigma_r - \nu_j (\sigma_\theta + \sigma_z)], \\ \varepsilon_\theta &= \frac{1}{\psi_j} [\sigma_\theta - \nu_j (\sigma_r + \sigma_z)], \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{\psi_j} [\sigma_z - \nu_j (\sigma_r + \sigma_\theta)]. \end{aligned} \quad (2)$$

В этих выражениях  $\varepsilon_r, \varepsilon_\theta, \varepsilon_z$  — компоненты тензора деформаций;  $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$  — компоненты тензора напряжений;  $\psi(\varepsilon_n, \Pi, C)$  — функция интенсивности деформаций, поврежденности и концентрации среды,  $\nu_j$  — коэффициент поперечной деформации.

$$\psi_j(\varepsilon_n, \Pi, C) = \left[ \frac{\sigma_n(\varepsilon_n, \Pi, C)}{\varepsilon_n} \right], \quad (3)$$

$$\nu_j(\varepsilon_n, \Pi, C) = \frac{1}{2} - \frac{1-2\nu_0}{2E_0} \psi_j(\varepsilon_n, \Pi, C). \quad (4)$$

Здесь  $\nu_0 E_0$  — коэффициент поперечной деформации и модуль упругости при малых линейных деформациях;  $j = 1$  при растяжении и  $j = 2$  при сжатии. Зависимость между интенсивностями напряжений  $\sigma_n$  и деформаций  $\varepsilon_n$  принимается в виде [1]:

$$(\sigma_n)_j = \left[ A_j(C) \varepsilon_n^{k_j} - B_j(C) \varepsilon_n^{n_j} \right] \exp(-\lambda \Pi), \quad j = 1 \text{ при } \sigma_0 \geq 0 \quad j = 2 \text{ при } \sigma_0 < 0. \quad (5)$$

То есть принимается, что точка материала находится в растянутом состоянии, если среднее напряжение  $\sigma_0$  положительно, и в сжатом состоянии, если  $\sigma_0$  отрицательно, причем

$$\sigma_0 = (\sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z) / 3. \quad (6)$$

С учетом сделанных предположений

$$\psi_j(\varepsilon_n, \Pi, C) = \left[ A_j(C) \varepsilon_n^{k_j-1} - B_j(C) \varepsilon_n^{n_j-1} \right] \exp(-\lambda \Pi). \quad (7)$$

В выражениях (5) и (7)  $A_j(C), B_j(C), k_j, n_j$  — коэффициенты, зависящие от вида напряженного состояния ( $j = 1, 2$ ) и уровня концентрации хлоридов  $C$  в точке конструктивного элемента. Влияние поврежденности  $\Pi$  учитывается введением дополнительной функции  $\exp(-\lambda \Pi)$ .

3. На основании экспериментальных данных полагаем, что вследствие равномерного по периметру арматуры коррозионного износа на ее поверхности образуются продукты коррозии, объем которых в 3...6 раз больший, чем у прокорродировавшего материала. Эти продукты коррозии оказывают давление на окружающий арматуру бетон, вызывая в нем появление напряженного состояния и последующее растрескивание и даже отслаивание защитного слоя.

Полагая, что на поверхности контакта арматуры с бетоном существует некоторая пористая зона, рассмотрим три стадии развития коррозионной трещины (рис. 1):

а) свободное расширение продуктов коррозии до достижения ими объема  $W_0$ , который полностью заполняет пористую зону вокруг арматуры. На этой стадии процесс формирования продуктов коррозии не вызывает напряжений в бетоне;

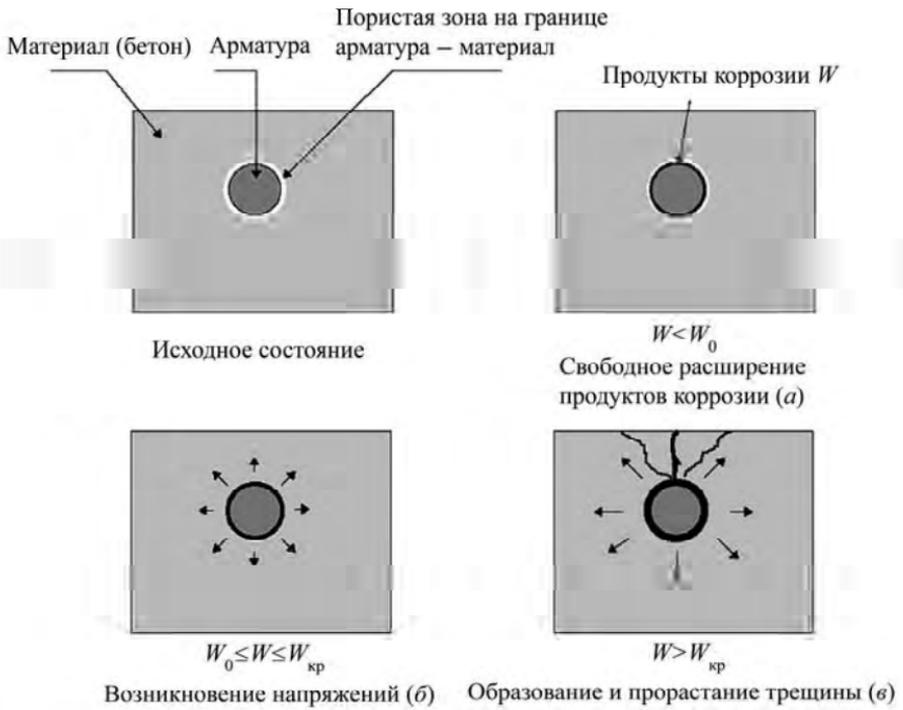


Рис. 1. Стадии образования коррозионной трещины

б) возникновение напряжений. Как только объем продуктов коррозии на поверхности арматуры превысит величину  $W_0$ , они начинают оказывать расширяющее давление на окружающий материал, создавая в нем напряженно-деформированное состояние. Причем давление, а следовательно, и напряженное состояние увеличиваются с увеличением продуктов коррозии;

в) образование и прорастание трещины. Как только общее количество продуктов коррозии арматуры  $W$  достигает критического значения  $W_{кр}$ , при котором напряжение в какой-либо точке превысит предельное напряжение для этой точки, произойдет образование трещины. По мере дальнейшего роста количества продуктов коррозии арматуры будет происходить рост трещины в защитном слое в направлении к поверхности армированного конструктивного элемента (см. рис. 1).

При этом надо иметь в виду, что одновременно происходит и деструкция бетона, приводящая к появлению наведенной неоднородности и перераспределению напряжений.

Определим взаимосвязь между величинами  $W_0$  и  $W$ . Для этого рассмотрим следующую упрощенную схему образования продуктов коррозии (рис. 2).

В процессе коррозии на первой стадии арматуры стержень увеличивает свой диаметр до величины  $(d_0 + 2t)$  за счет набухания продуктов коррозии.

Для единицы длины арматурного стержня объем  $W_0$  определяется из выражения

$$W_0 = \frac{\pi}{4} [(d_0 + 2t)^2 - d_0^2] = \pi(d_0 t + t^2). \quad (8)$$

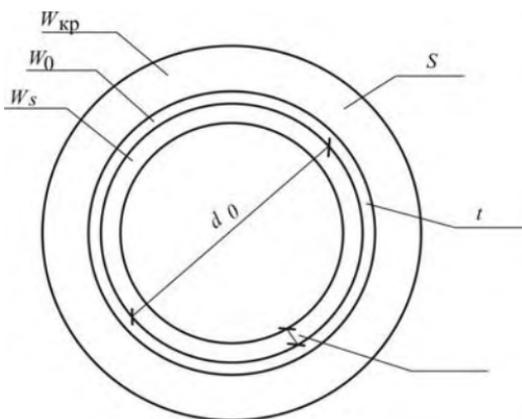


Рис. 2. Схема образования продуктов коррозии:  $d_0$  — первоначальный диаметр арматуры;  $\delta$  — глубина слоя коррозионного износа;  $t$  — толщина пористой зоны на границе арматура — материал;  $S$  — толщина слоя продуктов коррозии, которые оказывают давление на окружающий материал и приводят к появлению в нем напряжений

Объем продуктов коррозии, оказывающий дальнейшее давление на бетон определяется из выражения

$$W_s = \frac{\pi}{4} \left[ (d_0 + 2t + 2S)^2 - (d_0 + 2t)^2 \right] = \pi (d_0 S + 2tS + S^2). \quad (9)$$

Наконец, объем прородированного металла, который также занимается продуктами коррозии, определяется из выражения

$$W_\delta = \frac{\pi}{4} \left[ d_0^2 - (d_0 - 2\delta)^2 \right] = \pi (d_0 \delta - \delta^2). \quad (10)$$

Полный объем продуктов коррозии, оказывающих давление на окружающий арматуру материал, равен

$$W = W_\delta + W_0 + W_s = \pi \left[ d_0 (\delta + t + S) + 2tS + t^2 + S^2 - \delta^2 \right]. \quad (11)$$

Этот объем продуктов коррозии  $W$  может быть выражен через объем прородированного материала  $W_\delta$ :

$$W = mW_\delta, \quad (12)$$

где  $m$  — коэффициент, показывающий степень увеличения объема продуктов коррозии по отношению к прородированному материалу ( $m=3\dots6$ ).

С учетом (10) и (11) выражение (12) примет вид

$$d_0 (t + S + \delta) + 2tS + t^2 + S^2 - \delta^2 = m (d_0 \delta - \delta^2). \quad (13)$$

В случае если появление пористой зоны не учитывается, то  $t = 0$  и выражение (13) приводится к виду

$$S^2 + d_0 S - (m-1)(d_0 - \delta)\delta = 0, \quad (14)$$

которое представляет собой квадратное уравнение относительно  $S$ . Решение его имеет вид

$$S = \left[ \frac{d_0^2}{4} + (m-1)(d_0\delta - \delta^2) \right]^{1/2} - \frac{d_0}{2}. \quad (15)$$

Если имеет место соотношение  $S \ll d_0$  и  $\delta \ll d_0$ , то упрощенное выражение для  $S$  запишется:

$$S(t) = (m-1)\delta(t). \quad (16)$$

Следовательно, имея закон изменения во времени коррозионного износа  $\delta(t)$ , можно найти закон изменения положения фронта продуктов коррозии  $S(t)$ .

4. Для получения уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние в материале, окружающем арматуру, воспользуемся расчетной схемой, когда материал вокруг арматурного стержня представляется в виде толстостенной трубы, толщина которой равна толщине защитного слоя, нагруженной внутренним равномерно-распределенным давлением  $P$  от действия расширяющихся продуктов коррозии арматуры (рис. 3). Внутренний диаметр этой условной трубы равен диаметру арматуры  $d_0$ , а наружный  $d_0+2a$ , где  $a$  — толщина защитного слоя.

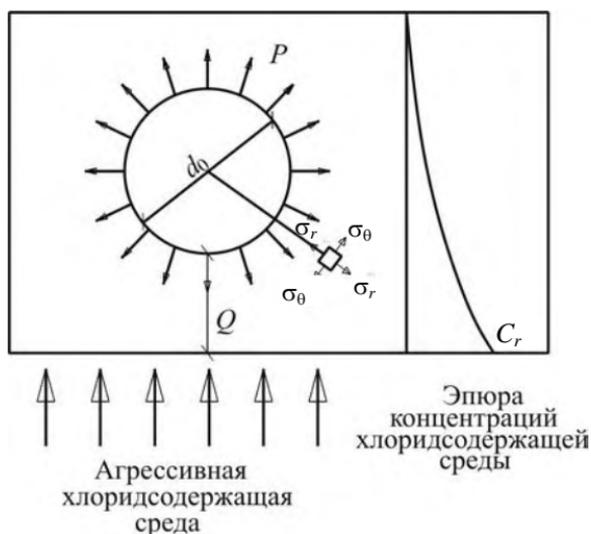


Рис. 3. Схема к расчету напряжений в материале вокруг арматуры

Тогда в каждой точке условной трубы справедливы физические соотношения (2) с учетом (3)—(7).

К этим физическим соотношениям нужно присоединить уравнения равновесия толстостенной трубы

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0. \quad (17)$$

и уравнение непрерывности

$$\frac{d\varepsilon\theta}{dr} + \frac{\varepsilon_\theta - \varepsilon_r}{r} = 0. \quad (18)$$

Определив из третьего уравнения (2) напряжение  $\sigma_z$  и подставив его в два остальных, найдем:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{1-v_j^2}{\psi_j} \left[ \sigma_r - \frac{v_j}{(1-v_j)} \sigma_\theta \right] - v_j \varepsilon_z, \\ \varepsilon_\theta &= \frac{1-v_j^2}{\psi_j} \left[ \sigma_\theta - \frac{v_j}{(1-v_j)} \sigma_r \right] - v_j \varepsilon_z, \\ \sigma_z &= v_j (\sigma_r + \sigma_\theta) + \psi_j \varepsilon_z. \end{aligned} \quad (19)$$

Подставляя первые два выражения из (19) в уравнение неразрывности и учитывая уравнение равновесия, а также переменность коэффициента поперечной деформации  $v_j$ , после некоторых преобразований получим следующее разрешающее уравнение:

$$\frac{d^2\sigma_r}{dr^2} + \xi \frac{d\sigma_r}{dr} + \eta\sigma_r = q, \quad (20)$$

где

$$\xi = \frac{3}{r} - \frac{2v_j v_j'}{(1-v_j^2)} - \frac{\psi_j'}{\psi_j}, \quad (21)$$

$$\eta = - \left[ (1+4v_j)v_j' + (1-v_j-2v_j^2) \frac{\psi_j'}{\psi_j} \right] r (1-v_j^2), \quad (22)$$

$$q = \psi_j v_j' \varepsilon_z / r (1-v_j^2). \quad (23)$$

Здесь штрих означает дифференцирование по радиусу, а индекс  $j$  означает, что соответствующая функция определяется выражением, вид которого зависит от знака среднего напряжения  $\sigma_0$  так, что  $j = 1$  при  $\sigma_0 \geq 0$  и  $j = 2$  при  $\sigma_0 < 0$ .

Для определения величины продольной деформации  $\varepsilon_z$  используется условие равновесия условной трубы в осевом направлении:

$$N = 2\pi \int_{d_0/2}^{a+d_0/2} \sigma_z r dr = 2\pi \int_{d_0/2}^{a+d_0/2} \left[ v_j (\sigma_z + \sigma_\theta) + \psi_j \varepsilon_z \right] r dr,$$

откуда

$$\varepsilon_z = \left[ \frac{N}{2\pi} - \int_{d_0/2}^{a+d_0/2} \left[ v_j (\sigma_z + \sigma_\theta) \right] r dr \right] / \int_{d_0/2}^{a+d_0/2} \psi_j r dr. \quad (24)$$

К приведенным выше уравнениям следует присоединить уравнение накопления повреждений вида

$$d\Pi/dt = m(C)\sigma^{b(C)}(1 - \Pi)^{-b(C)}, \Pi(0) = 0, \Pi(t_{\text{разруш}}) = \Pi^*.$$

Для решения уравнения (20) на этом этапе расчета можно воспользоваться следующим алгоритмом:

- 1) задаются все необходимые параметры и коэффициенты;
- 2) находится нулевое приближение из линейного решения задачи:

$$\sigma_r^0 = H + J/r^2; \quad \sigma_r^0 = H - J/r^2$$

$$H = (Pd_0^2)/4 \left[ (a + d_0/2)^2 - d_0^2/4 \right],$$

где

$$J = -P \frac{d_0^2}{4} (a + d_0/2)^2 \sqrt{\left[ (a + d_0/2)^2 - \frac{d_0^2}{4} \right]};$$

3) находятся значения  $v_j, \psi_j, \sigma_z, \sigma_\theta$  в определенном количестве точек по области решения уравнения (20) — на интервале  $[d_0/2, a+d_0/2]$ . С использованием этих значений определяется величина  $\varepsilon_z$  по формуле (24).

4) по формулам (21)—(23) находятся значения соответствующих коэффициентов  $\xi, \eta$  и правой части уравнения  $q$  в этих точках области решения уравнения (20). При этом анализируется величина среднего напряжения  $\sigma_0$  в этих точках;

5) методом прогонки решается уравнение (20) с учетом граничных условий.

Для того чтобы оценить достоверность результатов расчета напряженного состояния, получаемых с использованием приведенных выше соотношений, была разработана программа, с помощью которой был выполнен расчет напряженного состояния толстостенной бетонной оболочки наружным диаметром 100 см, внутренним диаметром 60 см под действием внешнего давления  $P = 30$  МПа. В расчетах не учитывалось влияние агрессивной среды и поврежденности, а параметры диаграммы деформирования материала принимались следующими:  $A = 3 \cdot 10^4$  МПа,  $B = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $k = 1, n = 1,5$ . Коэффициент поперечной деформации принимался равным 0,2. Для решения уравнения (20) применялся метод переменных жесткостей в сочетании с методом прогонки.

Полученные результаты сравнивались с известными, приведенными в работе [2]. На рис. 4 сплошными линиями показаны эпюры напряжений, построенные авторами статьи [2], а пунктирными линиями — эпюры, рассчитанные с помощью приведенных выше уравнений, но без учета влияния среды и поврежденности.

Сопоставление результатов расчета показывает, что эпюры  $\sigma_r$  совпадают полностью, а различие в эпюрах  $\sigma_\theta$  обусловлено тем, что в статье [2] при выводе формулы для интенсивности напряжений для обеспечения «аналитичности» решения использована гипотеза о несжимаемости материала (коэффициент поперечной деформации принят равным 0,5), хотя физические соотношения записаны для переменного коэффициента поперечной деформации и расчет выполнялся для коэффициента, равного 0,2. Если в наших соотношениях также использовать гипотезу о такой «частичной несжимаемости», то,

как показал анализ, результаты нашего расчета полностью совпадают с результатами расчета авторов [2].

Для оценки применимости приведенных выше соотношений к оценке долговечности элементов конструкций была выполнена серия расчетов долговечности толстостенной оболочки из стали 20 при разных величинах внутреннего давления. Выбор именно этого материала объяснялся тем обстоятельством, что для этого материала имелись необходимые для идентификации модели данные, а также имелись результаты натуральных испытаний по долговечности труб из него.

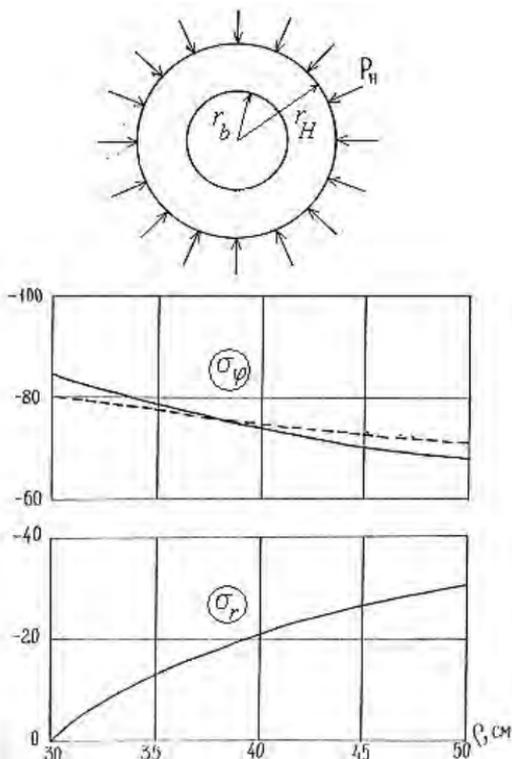


Рис. 4. Эпюры радиальных и окружных напряжений в толстостенной бетонной трубе под действием наружного давления

Значения коэффициентов модели, определенные по результатам экспериментов, взятых из работ [3, 4] следующие:

$$A = 1,3 \cdot 10^5 \text{ МПа}, B = 2,7072 \cdot 10^5 \text{ МПа}, n = 1, k = 3; \nu = 0,3;$$

$$m = 8,4504 \cdot 10^{-20} (\text{МПа})^{-k} \text{ час}^{-1}; b = 7,41; \lambda = 5,7653.$$

Результаты расчета долговечности сравнивались с экспериментальными данными по длительной прочности трубчатых образцов из работы [86]. На рис. 5 точками показаны экспериментальные данные, а сплошной линией — результаты расчета долговечности. При этом напряжения, откладываемые по оси ординат, определялись по формуле:

$$\sigma = (P_{\text{внутр}}/2)(d_{\text{наруж}} + d_{\text{внутр}})/(d_{\text{наруж}} - d_{\text{внутр}}).$$

Сравнение результатов расчета долговечности труб с экспериментом показывает удовлетворительное совпадение. Следовательно, использованные для расчета долговечности соотношения достаточно адекватны и могут использоваться для прогнозирования поведения конструкций.

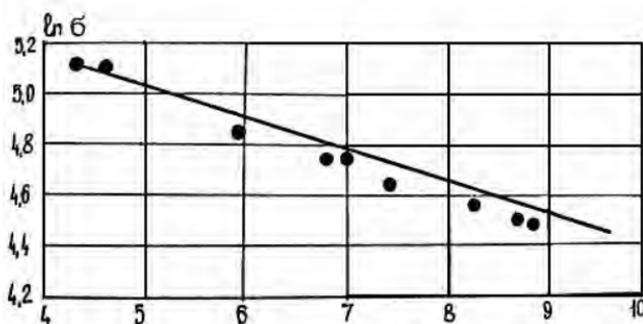


Рис. 5. Экспериментальная (точки) и теоретическая долговечность трубчатого элемента конструкции

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овчинников И.И. Накопление повреждений в стержневых и пластинчатых армированных конструкциях, взаимодействующих с агрессивными средами / И.И. Овчинников, Г.А. Наумова ; Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград : ВолгГАСУ, 2007. 272 с.
2. Андреев В.И. Расчет толстостенной трубы из нелинейно-упругого материала / В. И. Андреев, Ю. Н. Малашкин // Строительная механика и расчет сооружений. 1983. № 6. С. 70—72.
3. Кац Ш.Н. Исследование длительной прочности углеродистых сталей // Теплоэнергетика. 1955. № 11. С. 37—40.
4. Кац Ш.Н. Ползучесть и разрушение труб под действием внутреннего давления // Известия АН СССР. ОТН. 1957. № 10. С. 86—89.

© Наумова Г.А., Овчинников И.И., 2007

УДК 624.154

*С.В. Калошина, А.Б. Пономарев***АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ОСАДОК  
ЗДАНИЙ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЙ**

Приведен сравнительный анализ методов расчета осадок зданий и напряженного состояния оснований, широко используемых в практике проектирования. Отмечены достоинства и недостатки рассмотренных методик.

The comparative analysis widely used in practice of designing of methods of calculation a settlement of buildings and an stress-strain condition of the bases. Merits and demerits of the considered techniques are marked.

В случае отдельно стоящих зданий и сооружений под действием нагрузки, приложенной к основанию через фундамент, в грунте основания возникает напряженное состояние, которое вызывает развитие деформаций, приводящих к перемещению (осадке) фундамента и поверхности вокруг него [1]. При строительстве в стесненных условиях вследствие изменения напряженного состояния основания осадку получает не только возводимое здание, но и существующие здания и сооружения, попадающие в зону влияния нового строительства. Осадку от изменения напряженно-деформированного состояния основания принято называть дополнительной осадкой уплотнения, ее значение зависит от многих факторов, учесть которые достаточно сложно. Точность определения дополнительной осадки уплотнения во многом влияет на сохранность существующих зданий и сооружений, многие из которых относятся к памятникам архитектуры.

В настоящее время в практике проектирования широко применяются следующие методы определения конечных осадок фундаментов: метод послойного суммирования, уточненный метод послойного суммирования, метод линейно-деформируемого слоя, метод эквивалентного слоя Н.А. Цытовича и др. Однако приведенные даже в нормативных документах (СНиП, СП, ТСН) методы расчета осадок дают существенно различные результаты. Это связано с тем, что значения осадок в первую очередь зависят от гипотезы, заложенной в основу расчетной модели грунта, и тех допущений, которыми каждая из гипотез ограничена.

Метод послойного суммирования, основанный на законе Гука для одноосного сжатия, является на сегодняшний день основным расчетным методом СНиП по определению осадок фундаментов. Однако прогноз осадок сооружений по схеме однородного упругого полупространства не вполне отражает деформативность грунтового основания, представляющего собой дискретную, многофазную, с выраженными реологическими свойствами систему. Таким образом, метод послойного суммирования для расчета конечной осадки основан на большом числе допущений, приводящем к ошибкам. Так, например, по данным исследований, проводимых В.Н. Брониным, Н.А. Ибандильдиным, метод послойного суммирования СНиП дает неприемлемые результаты для определения осадок плитных фундаментов [2].

Уточненный метод послойного суммирования, предложенный В.Н. Брониным (1983), позволяет учитывать дополнительные горизонтальные нормальные напряжения, возникающие при деформации грунтового массива, но данный метод также основан на законе Гука.

Метод расчета осадки линейно деформируемого (упругого) слоя, разработанный К.Е. Егоровым (1958), не позволяет определять осадку с учетом загрузки соседних фундаментов [3].

Метод эквивалентного слоя Н.А. Цытовича (1983) рассматривает деформации грунтов в пределах бесконечного полупространства, что приводит к завышенному значению осадки [3].

Метод ограниченной сжимаемой толщи, предложенный Б.И. Далматовым (1968) и в последствии усовершенствованный А.А. Собениным (1974), позволяет с помощью кольцевых графиков учесть влияние одновременно возводимых фундаментов на осадку основания в любой заданной точке, расположенной на удалении от них. Однако необходимо отметить, что определение напряженно-деформированного состояния грунтов основания при помощи графических зависимостей изначально вносит погрешность в результаты расчетов [4].

Общим недостатком перечисленных выше методов расчета осадок фундаментов является постоянство значения модуля деформации или коэффициента относительной сжимаемости в пределах отдельного слоя. Фактически модуль деформации в значительной степени зависит от напряженного состояния грунта [1]. В связи с этим были предложены следующие модели грунтового основания: с линейно возрастающим по глубине модулем деформации (Г.И. Покровский), с искусственно увеличенным модулем (М.И. Горбунов-Посадов), модель однородного слоя с жестким подстиланием (К.Е. Егоров), билинейная модель (В.Н. Широков, В.Г. Федоровский) [5].

Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций зданий и сооружений совместно с грунтовыми основаниями в последнее время выполняется с использованием численных методов, в частности метода конечных элементов (МКЭ), который является основой многих компьютерных программ. Все компьютерные программы расчета включают в себя физические уравнения или модели материала, которые определяют поведение конструкции в процессе ее нагружения [6].

По данным исследований, опубликованным в [7], наилучшие результаты дает упругопластическая модель грунта. В принятой модели грунт представляет упругую идеально пластическую среду, подчиняющуюся ассоциированному закону пластического течения, то есть в допредельном состоянии при давлениях, не превышающих расчетное сопротивление основания, грунт рассматривается как сплошная линейно-деформируемая среда, переходящая с дальнейшим нагружением в предельное (пластическое) состояние в соответствии с применяемыми критериями текучести (прочности). В качестве критерия текучести предусмотрено использование условий Кулона — Мора, Генниева, Мизеса — Шлейхера — Боткина. Целесообразность использования в расчетах оснований нелинейных методов подтверждается возможностью одновременного учета прочностных ( $c$ ,  $\varphi$ ) и деформационных ( $E$ ,  $n$ ) характеристик грунта, формы подошвы фундамента, его жесткости и заглубления, а

также характера приложения нагрузок при давлениях, превышающих расчетное сопротивление грунтов [8].

Таким образом, решение смешанных упругопластических задач позволяет наиболее точно определить напряженно-деформированное состояние грунтового основания, а также осадку как отдельно стоящих зданий, так и дополнительную осадку уплотнения существующих при новом строительстве.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. 2-е изд. перераб. и доп. СПб : Стройиздат, 1988. 415 с.
2. Сравнительный анализ результатов наблюдения за осадками оснований плитных фундаментов и результатов расчета осадок различными методами. Реконструкция : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конференции / В.Н. Бронин, Н.А. Ибадильдин, Г.В. Левинтов, Н.В. Котов. Санкт-Петербург, 2005.
3. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений : учеб. пособие / под ред. Б.И. Далматова. 3-е изд. М. : Изд-во АСВ ; СПб. : СПбГАСУ, 2006. 428 с.
4. Четвериков А.Л. Взаимное влияние оснований и фундаментов зданий и сооружений в условиях городской застройки (на примере города Ростова-на-Дону) : дис. ...канд. техн. наук. Ростова-на-Дону, 2003.
5. Сборник научных трудов. М. : ЭСТ, 2006. 224 с.
6. Болдырев Г.Г. Определение параметров моделей грунтов / Г.Г. Болдырев, И.Х. Идрисов, Д.Н. Валеев. ОФМГ 2006. № 3.
7. Ильичев В.А. Прогноз деформаций зданий вблизи котлованов в условиях плотной городской застройки Москвы / В.А. Ильичев, П.А. Коновалов, Н.С. Никифорова // ОФМГ. 2004.. № 4. С. 17—21.
8. Пилягин А.В. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений : учебное пособие. М. : Изд-во АСВ, 2005. 248 с.

© Калошина С.В., Пономарев А.Б., 2007

УДК 624.131

*Е.В. Цветкова***К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ  
НАГРУЖЕННЫХ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ**

На основе анализа напряженного состояния нагруженных грунтовых откосов и склонов предлагается аналитическое определение их рациональных параметров.

Based on the analysis of stress state of loaded scarps and slopes the authors suggest analytical definition of their rational parameters.

В настоящее время задачи оценки и прогноза устойчивости откосов и склонов приобретают все большее значение. Основными причинами этого являются постоянно расширяющееся освоение оползневых территорий под строительство, вызванное дефицитом свободных земельных площадей, а также активизация имеющихся и появление новых оползней, обусловленных вмешательством человека в геологическую среду.

Аналитические решения, связанные с расчетом устойчивости нагруженных грунтовых откосов различных инженерных сооружений и естественных склонов, в основном базируются на предположении о возможности сдвига призмы обрушения как твердого тела по круглоцилиндрической поверхности. При этом не учитывается влияние физико-механических прочностных характеристик грунтов на форму и расположение в приоткосной зоне поверхности разрушения, а значит и на устойчивость откосов и склонов. Вместо трех составляющих напряжений (при решении плоской задачи) приближенно учитывается только вертикальная составляющая, принимаемая равной весу столба вышележащих пород и соответствующей части поверхностной нагрузки.

Настоящая работа содержит решение задачи расчета устойчивости однородных откосов на основе анализа напряженно-деформированного состояния приоткосных зон с учетом внешней равномерно распределенной нагрузки. Такой подход исключает вышеуказанные и другие недостатки, учитывает все основные факторы, влияющие на устойчивость, и повышает достоверность результатов исследований.

В работе для угла откоса  $\beta = 60^\circ$  устанавливаются зависимости между геометрией откосов и физико-механическими характеристиками грунтов, а также шириной, расположением и интенсивностью внешней нагрузки, имитирующей воздействие различных инженерных сооружений на величины коэффициентов устойчивости  $K$ .

Построение наиболее вероятных поверхностей разрушения, вдоль которых  $K = K_{\min}$ , вычисление коэффициентов устойчивости проводится по методике [1] с использованием МКЭ и программы для ПК, разработанной в ВолгГАСУ [2].

Математико-механическая модель представлена на рис. 1. Расчетная схема разбита на 17600 треугольных элементов и содержит 9001 узел.

Граничные условия заданы следующим образом: вдоль вертикальных границ расчетной схемы отсутствуют перемещения в горизонтальном на-

правления; вдоль нижней горизонтальной границы отсутствуют вертикальные перемещения; на перемещения других точек ограничения не наложены.

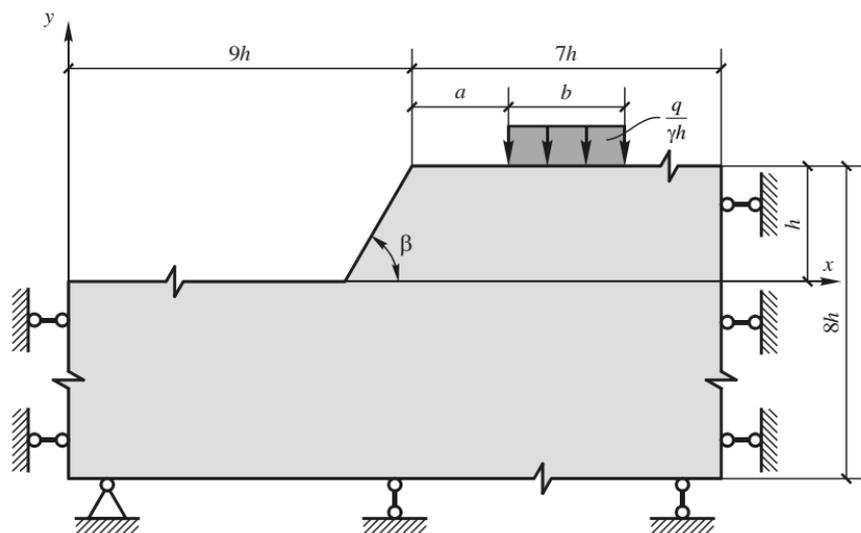


Рис. 1. Расчетная схема

Исходные данные для решения рассматриваемой задачи содержат свойства элементов (плотность, коэффициент бокового распора, сцепление и угол внутреннего трения грунта), поверхностную равномерно распределенную нагрузку (интенсивность, ширину и расположение на откосе), геометрию откоса (угол и высоту) и граничные условия.

При расчетах ширина нагрузки  $b$  принята равной  $h$ , так как при  $b/h \geq 1$  коэффициент устойчивости откоса практически не изменяется.

Расчеты выполнялись для откоса с параметром устойчивости

$$\lambda = \frac{2c}{\gamma h \operatorname{tg} \varphi}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  — плотность;  $c$  — сцепление;  $\varphi$  — угол внутреннего трения грунта.

Вычисления проводились при среднем значении коэффициента бокового распора  $\mu = 3/4$  [3].

В процессе решения задачи получены графоаналитические зависимости коэффициента устойчивости нагруженного откоса от величин  $a/h$  и  $q/\gamma h$  при трех значениях параметра устойчивости:  $\lambda_1 = 1,37$ ;  $\lambda_2 = 2,74$ ;  $\lambda_3 = 5,48$ .

Анализ графиков, приведенных на рис. 2, 3 показал, что зона влияния нагрузки, определяемая величиной  $a$ , при которой коэффициенты устойчивости нагруженного и ненагруженного откосов практически одинаковы, зависит от  $q$  и  $\lambda$  и увеличивается с их увеличением. Например, при  $q = 4\gamma h$  для  $\lambda_1$  и  $\lambda_3$  соответственно имеем  $a/h = 3,75$ ;  $4,70$ . При  $q = 10\gamma h$   $a/h = 5,6$ ;  $6,9$ .

Исследования показали, что величина  $K/\operatorname{tg} \varphi$  при различных углах  $\beta$  линейно зависит от параметра устойчивости и эта зависимость имеет вид

$$K = \frac{1}{3}(4K_1 - K_3) + 0,243\lambda(K_3 - K_1), \quad (2)$$

где  $K_1$  и  $K_3$  при различных значениях  $a/h$ ,  $q/\gamma h$  и  $\varphi$  определяются графиками рис. 2, 3, а  $\lambda$  — формулой (1). Подставляя в формулу (2) значение параметра  $\lambda$ , получим выражение для определения высоты откоса при  $K \geq 1$ .

$$h = \frac{1,458c(K_3 - K_1)}{\gamma \text{tg}\varphi(3K - 4K_1 + K_3)}. \quad (3)$$

При  $K = 1$  эта формула определяет предельную высоту откоса.

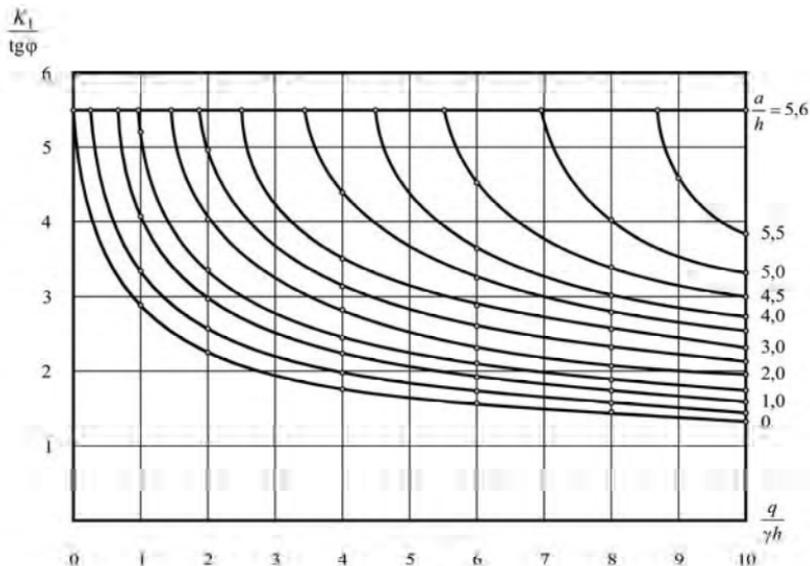


Рис. 2. График зависимости коэффициента устойчивости откоса от отношений  $a/h$  и  $q/\gamma h$  при  $\lambda = \lambda_1$

К настоящему времени аналогичные исследования выполнены для углов откосов  $\beta = 15, 30, 45^\circ$  [4, 5], что позволяет решать различные задачи, связанные с оценкой устойчивости различных откосов и склонов.

Рассмотрим пример. Пусть  $\beta = 60^\circ$ ,  $a = b = h = 30$  м,  $q = 60 \cdot 10^4$  Па. Характеристики грунта:  $c = 5 \cdot 10^4$  Па;  $\gamma = 2 \cdot 10^4$  Н/м<sup>3</sup>;  $\varphi = 17^\circ$ . Определим коэффициенты устойчивости нагруженного и ненагруженного откоса.

По формуле (1)  $\lambda = 0,5452$ ;  $a/h = 1$ ;  $q/\gamma h = 1$ .

Из графиков рис. 2, 3 при заданных значениях величин  $a/h$ ,  $q/\gamma h$  и  $\varphi$  находим  $K_1 = 1,1922$  и  $K_3 = 3,1640$ , т.е. на основании формулы (2)  $K_q = 0,8$ .

При  $q = 0$   $K_1 = 1,6814$ ,  $K_3 = 4,9523$ , т.е.  $K = 1,02$ .

Предельную высоту нагруженного откоса определяем по формуле (3), полагая  $K = 1$ , т.е.  $h_{np} = 16,9$  м. Аналогичная высота ненагруженного откоса составляет 31,8 м. Следовательно, рассматриваемая нагрузка уменьшает коэффициент устойчивости откоса на 22 %, а предельную высоту — на 47 %.

На рис. 4 для исходных данных, приведенных в примере, построены графики зависимости величин  $K_q$  и  $K$  от угла откоса при  $15^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$  (для  $\beta = 15, 30, 45^\circ$  используются соответствующие графики, представленные в [4, 5]).

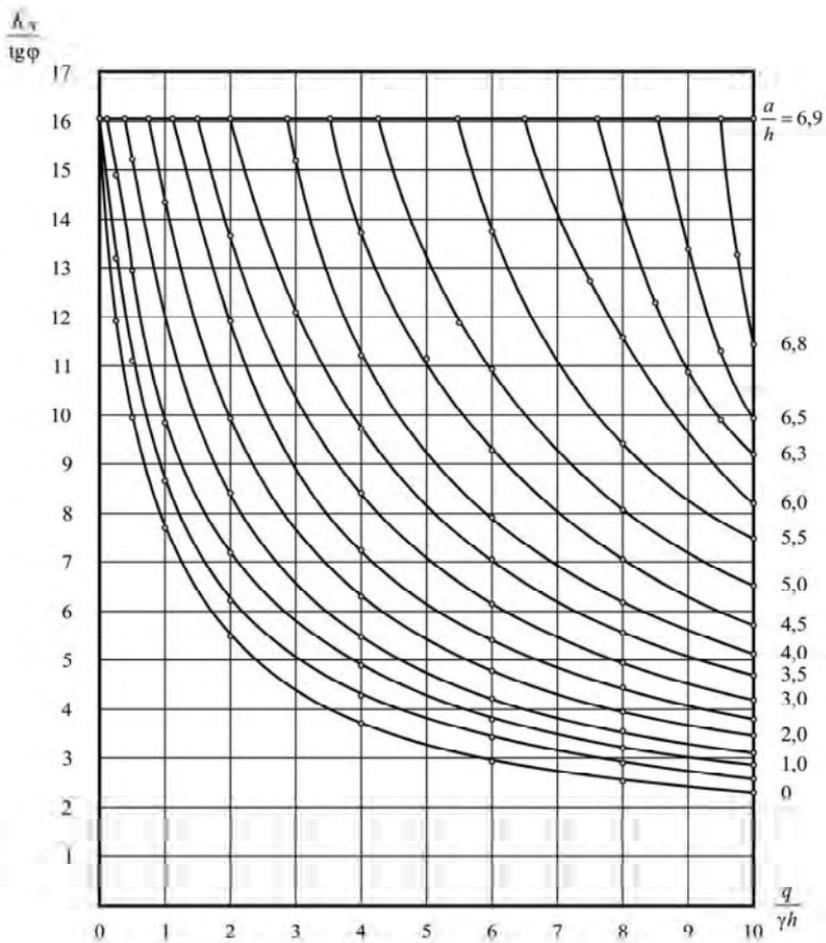


Рис. 3. График зависимости коэффициента устойчивости откоса от отношений  $a/h$  и  $q/\gamma h$  при  $\lambda = \lambda_3$

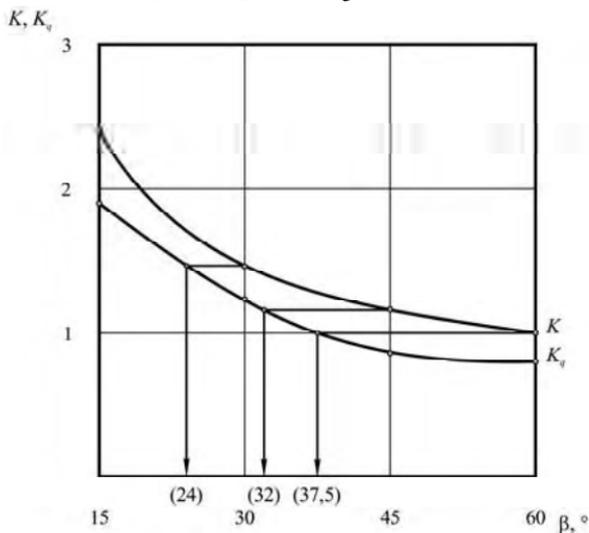


Рис. 4. Зависимость коэффициента устойчивости нагруженного и ненагруженного откоса от его угла наклона

Из рис. 4 следует, что в отличие от ненагруженного откоса, с увеличением угла  $\beta$  от  $45^\circ$  до  $60^\circ$  коэффициент устойчивости нагруженного откоса изменяется незначительно, т.е. в этом случае доминирующим фактором является не крутизна склона, а приложенная к нему нагрузка. Эти графики также позволяют ответить на вопрос: как следует изменить угол откоса, чтобы его коэффициент устойчивости не изменился после нагружения? Из графиков видим, что, например, при  $\beta = 60^\circ$  искомый угол должен быть равен  $37,5^\circ$ ; при  $\beta = 45^\circ$  —  $32^\circ$ ; при  $\beta = 30^\circ$  —  $24^\circ$ . То есть угол откоса следует уменьшить соответственно на  $22,5$ ,  $13$  и  $6^\circ$ .

Таким образом, если учесть, что при расчетах устойчивости грунтовых массивов имеются погрешности, связанные, в частности, с определением физико-механических характеристик грунтовых массивов, то использование приема выполаживания откосов, который позволяет сохранить неизменным коэффициент устойчивости рассматриваемого откоса после его нагружения, значительно повысит надежность расчетов при оценке и прогнозе устойчивости нагруженных откосов и склонов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Цветков В.К.* Расчет рациональных параметров горных выработок : спр. пособие. М. : Недра, 1993. 251 с.
2. *Богомолов А.Н.* Программа «Устойчивость» для ПЭВМ / А.Н. Богомолов, А.Н. Ушаков, А.В. Редин // Информационный листок о научно-техническом достижении № 312-96. Волгоград : ЦНТИ, 1996.
3. *Булин Н.К.* Современные напряжения в горных породах по данным измерений в подземных выработках СССР // Геология и геофизика. 1972. № 8. С. 56—66.
4. *Цветкова Е.В.* Исследование влияния поверхностной нагрузки на устойчивость грунтовых откосов и склонов // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов : материалы IV Междунар. науч.-техн. конференции. Волгоград, 2005. С. 148—151.
5. *Цветкова Е.В.* Влияние равномерно распределенной нагрузки на устойчивость грунтовых откосов // Геомеханика, геотехника, геоэкология, гидротехника. Баку, 2006. С. 23—26.

УДК 624.014

*В.В. Михайлов, А.С. Колобанов, О.И. Лифинцев, А.И. Лифинцев*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ ЦЕХОВ ХОЛОДНОГО ПРОКАТА СТАЛИ**

Проанализирована атмосфера цеха производства холодного проката и покрытий, осуществлено зонирование цехового пространства по содержанию коррозионно-агрессивных компонентов. Выбрана математическая модель скорости коррозии и осуществлен ее расчет для металла цинкового покрытия.

The authors have analyzed the atmosphere of a cold-rolled steel shop and coatings, realized the zoning of shop space based on corrosive components' content. They have also chosen a mathematical model of corrosion speed and estimated it for zinc coating metal.

Одной из актуальнейших проблем современных металлургических цехов холодного проката стали является защита металлоконструкций от коррозионного разрушения, приводящего к их преждевременному износу. Отличительными особенностями этих цехов являются процессы травления и отжига металла, нанесение различных покрытий связаны с использованием коррозионно-агрессивных компонентов и могут приводить к коррозионному разрушению строительных конструкций металлургических производств. Причиной этого является содержание коррозионно-агрессивных примесей в составе производственной атмосферы, которые растворяются в адсорбционных пленках влаги и стимулируют развитие процесса электрохимической коррозии [1, 2]. В литературе [2, 3] достаточно подробно представлены особенности проектирования металлоконструкций и методов их защиты, позволяющие снижать скорость коррозионного процесса. Однако даже правильно выбранный материал покрытия подвержен коррозионному разрушению вследствие адсорбционной или фазовой пленки влаги, исходя из малой толщины которой на поверхности металла, коррозионный процесс следует классифицировать, как процесс атмосферной коррозии [4].

В настоящее время установлено [5—7], что наибольшей коррозионной агрессивностью обладают такие компоненты атмосферы, как газообразный хлороводород ( $\text{HCl}$ ) и сернистый газ ( $\text{SO}_2$ ). Описаны [8—10] различные математические модели развития коррозии в атмосферных условиях, позволяющие рассчитать величину потерь металла, однако, характеристики атмосферы цехов холодного проката могут изменяться в силу их технологического процесса. Так, например, концентрация хлороводорода в разные промежутки времени различная и зависит от многих факторов таких, как технологический и сезонный факторы. В период ремонтных работ травильные ванны открыты, что отражается на концентрации хлороводорода в атмосфере. Кроме того, следует отметить и недостаточную естественную вентиляцию цеха, приводящую к перепадам концентрации  $\text{HCl}$  на различных участках цеха в различные климатические периоды. Поэтому использование литературных данных о скорости коррозии металла в атмосфере различных прокатных производств [11] может приводить к значительным ошибкам, поскольку количественно учесть влияние названных факторов на скорость коррозии не

представляется возможным. Для защиты строительных конструкций прокатных производств, в частности, металлических конструкций покрытия, в настоящее время используют металл с цинковыми и лакокрасочными защитными покрытиями. Однако, выбор оптимального покрытия должен базироваться на результатах систематических измерений скорости коррозии в конкретных условиях на различных участках прокатных производств.

Оценка коррозионной стойкости металлоконструкций с различным покрытием на разных участках цеха, то есть его зонирование, актуальна практически и экономически для данного производства, что позволяет рассчитывать скорость коррозионного разрушения металла и спрогнозировать долговечность его срока службы, что и является целью настоящей работы.

*Объект и методика исследования.* Объектом исследования является цех ПХПП (производство холодного проката и покрытий) листопрокатного производства ОАО «НЛМК», некоторые участки которого представлены в таблице. Процесс холодной прокатки включает операцию травления металлической полосы в растворе соляной кислоты в ваннах непрерывно-травильных агрегатов (НТА), что приводит к появлению газообразного хлороводорода в атмосфере цеха. В соответствии с [8] скорость атмосферной коррозии металла связана с концентрациями  $\text{HCl}$  и  $\text{SO}_2$  уравнением:

$$K_0 = (K_{a,\phi}^0 + c \cdot [\text{SO}_2] + d \cdot [\text{Cl}^-]) \cdot t_{a,\phi},$$

где  $K_0$  — скорость коррозии металла, мм/год,  $K_{a,\phi}^0$  — скорость коррозии металла под слоем конденсата без примесей;  $c$ ,  $d$  — коэффициенты;  $t_{a,\phi}$  — продолжительность нахождения пленки конденсата на поверхности металла. Классифицируя тип атмосферы цеха в соответствии с [12, 13] как умеренно-влажный, принимаем, что величина  $t_{a,\phi}$  составляет не менее 2000 часов. По данным [14] для стали и цинка коэффициенты  $c$  и  $d$  составляют  $5,677 \cdot 10^{-4}$  и  $4,931 \cdot 10^{-3}$ , а коэффициент  $K_{a,\phi}^0$  —  $74,275 \cdot 10^{-3}$  и  $1,353 \cdot 10^{-3}$  соответственно.

Исходя из этого, для предварительного расчета скорости коррозии необходимо определить величины реальных концентраций хлороводорода и сернистого газа в производственной атмосфере.

Коррозионная агрессивность атмосферы цеха ПХПП. Отбор проб воздуха производили по стандартной методике на уровне конструкций покрытия. Результаты показали, что содержание хлороводорода на уровне конструкций покрытия цеха значительно (на порядок) превышает таковое внизу. Результаты сведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Содержание газообразного хлороводорода, мг/м<sup>3</sup>, в атмосфере цеха ПХПП на различных участках*

Участок производства	Результаты каждого отдельного измерения			Среднее содержание $\text{HCl}$ , мг/м <sup>3</sup>
	1	2	3	
Склад рулонов	0,13	0,16	0,16	0,2
НТА (внизу)	0,65	0,64	0,66	0,65
НТА, вход в травильное отделение (наверху)	0,62	0,74	0,68	0,68
НТА, выход из травильного отделения (наверху)	11,1	11,8	12,3	11,73
Середина травильной ванны (данные цеха)	5,4	4,2	4,7	4,77

Таким образом, в коррозионном отношении по концентрации хлороводорода наиболее опасным является участок выхода из травильного отделения ( $11,73 \text{ мг/м}^3$ ) и середина травильной ванны ( $4,77 \text{ мг/м}^3$ ).

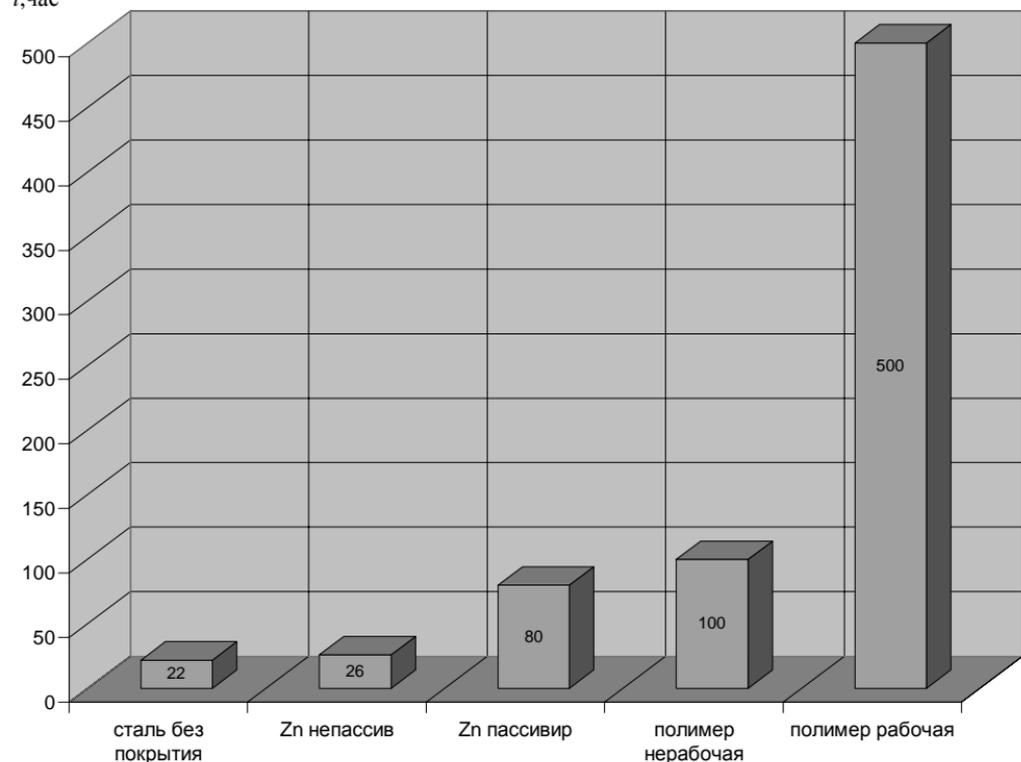
*Сравнительная коррозионная стойкость металла с различным покрытием.* Для предварительной оценки коррозионной стойкости материала профлиста проведены испытания в соответствии с ИСО 7253-96, которые осуществляли в камере солевого тумана GASSER-ISO-3 при температуре  $35^\circ\text{C}$  и концентрации хлорида натрия  $50 \text{ г/дм}^3$ . Результаты сведены в табл. 2 и представлены на рисунке.

Т а б л и ц а 2

*Результаты испытания металла с различным покрытием и без него*

Вид и размер образца	Показатель коррозии, ч	Вид поражения, коррозия
<i>Zn-покрытие неактивированное</i>		
Сталь без покрытия, $50 \times 50 \text{ мм}$	22	Равномерная
Zn-покрытия, $50 \times 50 \text{ мм}$	26	Участками
Zn-покрытия, уголок	26	Сплошная
Полимер-покрытие, уголок	100	Отслоение покрытия
<i>Zn-покрытие является активированное</i>		
Сталь без покрытия, $50 \times 50 \text{ мм}$	24	Равномерная
Zn-покрытия, $50 \times 50 \text{ мм}$	80	Участками
Полимер-покрытие, $50 \times 50 \text{ мм}$	80	Отслоение покрытия
Полимер-покрытие, $100 \times 100 \text{ мм}$	500	без нарушений

$t, \text{ час}$



Результаты испытания металла без покрытия и с различным покрытием в камере солевого тумана

Результаты показали, что стойкость полимерного покрытия примерно в 5 раз выше, чем стали без покрытия, что позволяет использовать полимерные материалы для защиты металлических конструкций в данных условиях.

*Теоретический расчет скорости коррозии стали Ст3 и цинка в атмосферных условиях травильного отделения цеха ПХПП.* Для оценки скорости коррозии металла в реальных условиях и дальнейшего сопоставления этих данных с результатами промышленных испытаний нами осуществлен теоретический расчет скорости коррозии стали и цинка в наиболее агрессивных условиях, соответствующих участку выхода металла из травильного отделения (табл. 1). По ГОСТ 9.039-74 принято, что по суммарному времени сохранения фазовой пленки на поверхности металла атмосферу можно отнести к типу умеренно-влажной (время сохранения пленки составляет 2000 ч/год). С использованием значений коэффициентов математической модели коррозии для стали Ст3, а также с учетом того, что концентрация хлороводорода изменяется от минимального значения ( $0,65 \text{ мг/м}^3$  на входе травильного отделения) до максимального ( $11,73 \text{ мг/м}^3$  на выходе из травильного отделения), рассчитана ожидаемая коррозионная потеря массы цинка,  $\text{мг/м}^2\text{год}$ . Полученное значение в соответствии с [8] пересчитывали в отрицательный показатель потери массы  $K_{\text{теор}}^-$ ,  $\text{мг/м}^2\text{год}$  (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

*Отрицательный показатель изменения массы стали и цинка в цехе ПХПП на различных участках*

Место отбора пробы	Среднее содержание $\text{HCl}$ , $\text{мг/м}^3$	Показатель потери массы $K_{\text{теор}}^-$ , $\text{мг/м}^2\text{год}$	
		стали Ст3	цинка
Склад рулонов	0,2	150,46	4,68
НТА (внизу)	0,65	154,9	9,12
НТА, вход в травильное отделение (наверху)	0,68	155,2	9,41
НТА, выход из травильного отделения (наверху)	11,73	264,17	118,39
Середина травильной ванны (данные цеха)	4,77	195,53	49,75

Из полученных результатов видно, что в данных условиях показатель потери массы оцинкованной стали значительно ниже, чем незащищенной стали. С ростом концентрации это различие увеличивается.

*Выводы.* На основании полученных результатов количественно оценено распределение концентрации паров коррозионно-агрессивного хлороводорода в атмосфере по участкам цеха. Видно, что повышенным содержанием  $\text{HCl}$  характеризуются: выход из непрерывно-травильного агрегата, склад холоднокатаных рулонов металла и пятиклетевой стан (табл. 1). Концентрация сернистого газа на большинстве участков цеха не превышает фонового значения, равного  $0,08 \text{ мг/м}^3$ , и не оказывает влияния на скорость коррозионного процесса. Следует, однако, отметить, что использованная для расчета мате-

математическая модель имеет существенные физико-химические и технологические ограничения, поскольку, во-первых, не учитывает изменения температуры и влажности во времени, во-вторых, естественная и искусственная вентиляции приводят к смещению паров хлороводорода и к изменению расположения агрессивных зон в пространстве цеха. В силу этого результаты проведенных расчетов носят оценочный характер. Результаты свидетельствуют, что коррозионная стойкость стали с защитным покрытием на порядок выше, чем незащищенной стали Ст3 и использование ее на выявленных коррозионно-агрессивных участках цеха для конструкций покрытия представляется наиболее эффективным.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жук Н.П. Курс коррозии и защиты металлов.
2. Розенфельд И.Л. Атмосферная коррозия металлов. М. : Изд. АН СССР, 1960. 372 с.
3. Михайловский Ю.Н. Атмосферная коррозия металлов и методы их защиты. М. : Металлургия, 1989. 103 с.
4. ГОСТ 16350-80
5. Михайловский Ю.Н. Новые представления о механизме стимулирующего действия сернистого газа на атмосферную коррозию металлов / Ю.Н. Михайловский, Н.А. Соколов // Защита металлов. 1985. Т. 21. № 2. С. 214—220.
6. Атмосферная коррозия в промышленном и гражданском строительстве : // сб. докл. / под ред. Ф. Гримма. М. : Металлургия, 1981. 192 с.
7. Колотыркин Я.М. Влияние природы анионов на кинетику и механизм коррозии металлов в растворах электролитов // тр. III Междунар. конгресса по коррозии металлов. М. : Мир, 1968. Т. 1. С. 74—88.
8. Стрекалов П.В. Математическая модель и расчет вероятной скорости атмосферной коррозии металлов в тропическом и умеренном климате / П.В. Стрекалов, Ву Динь Вуй // Защита металлов. 1985. Т. 21. № 4. С. 525—534.
9. Беруктитис Г.С. Коррозионная устойчивость металлов и металлических покрытий в атмосферных условиях / Г.С. Беруктитис, Г.Б. Кларк. М. : Наука, 1971. 159 с.
10. Михайловский Ю.Н. Начальные стадии коррозии и пассивации цинка при адсорбции молекул кислорода и воды / Ю.Н. Михайловский, П.В. Стрекалов, В.В. Агафонов // Защита металлов. 1980. Т. 16. № 4. С. 396.
11. Защита от коррозии конструкций и оборудования металлургических цехов / В.П. Фишман, И.А. Фрисман, В.А. Сержантов, В.В. Монахов. Киев : Техника, 1983. 216 с.
12. ГОСТ 9.039—74. Коррозионная агрессивность атмосферы.
13. ГОСТ 16350—80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.
14. Михайловский Ю.Н. Рекомендуемые справочные данные о скорости атмосферной коррозии металлов в различных климатических районах СССР / Ю.Н. Михайловский, Н.А. Соколов, Ю.М. Панченко // Защита металлов. 1985. Т. 21. № 5. С. 675—681.

© Михайлов В.В., Колобанов А.С., Лифинцев О.И., Лифинцев А.И., 2007

УДК 621.791.76:621.044.2

**С.А. Шестаков****ОЦЕНКА КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ  
СОУДАРЕНИЯ ПОЛОСТЕОБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТО И ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ  
В ТОЧКЕ ТОРМОЖЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

На основании опытных данных и разработанных ранее моделей процесса соударения полостеобразующих элементов в точках торможения, были предложены расчеты кинетической энергии соударения трех и четырех трубок. Экспериментально установлено, что в так называемых точках торможения вся кинетическая энергия соударения переходит в тепло с образованием участков расплавленного металла. На основании этого был произведен расчет количества выделяемого тепла в точках торможения. При расчете сделано предположение, что источник действия тепла линейный, мгновенный, что характерно для сварки взрывом. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными металлографических исследований.

Based on the experimental data and earlier developed models for the collision of cavity-producing elements at the deceleration points, the analysis of the kinetic collision energy was suggested for three and four pipes. It was experimentally established that all the kinetic energy at the so-called deceleration points is transferred to heat resulting in the smelt formation areas. Based on this fact, the analysis of the separating heat quantity was done at the deceleration points. An assumption was made that the source of the heat action is linear, instantaneous which is typical of the explosion welding. The acquired results fit with the experimental data of metallographic research.

Было установлено, что при сварке взрывом сотово-армированных конструкций в точках торможения (соударения) полостеобразующих элементов наблюдается действие движущегося пересжатого воздуха в виде кумулятивной струи, а также кинетической энергии соударения трубок, переходящей в точках торможения в тепло.

С целью изучения возможности управления количеством оплавленного металла произведем оценку второго фактора — кинетической энергии двигающихся от центра, расширяющихся под действием продуктов детонации ВВ трубок.

В [1] рассмотрено влияние пластического сопротивления цилиндра на величину его скорости при внутренней раздаче продуктами детонации ВВ. Приведенное в этой работе соотношения дает возможность оценить скорость движения оболочки для заряда, расположенного в длинном цилиндре, открытым с концов:

$$U = V_t = \sqrt{D^2 \frac{\beta}{4(2+\beta)} \left[ 1 - \left( \frac{r_0}{r} \right) \right] - \frac{S_0 \times A \times \sigma_{sd}}{r_0 \times M} \times \ln \frac{r}{r_0}}, \quad (1)$$

где  $r_0$  — начальный радиус оболочки;  $r$  — текущий радиус;  $A = (2r+h)h = (2r_0+h_0)h_0$ ;  $h$  — толщина оболочки  $h = \sqrt{r^2 + A} - r$ ;  $S_0$  — начальная боковая поверхность оболочки трубы.

Если  $h \ll 2r$ , то  $h = A/2r \cdot P_s = A \times \sigma_{sd} / (2r^2)$ ,  $\beta = m/M$ ;  $m$  — масса ВВ;  $M$  — масса оболочки.

В нашем случае  $r = 1,154r_0$  — предельное значение  $r$  при гексагональной укладке трубок без зазора;  $r = r_0\sqrt{2}$  — предельное значение  $r$  при укладке трубок по квадрату.

Приведем пример расчета скорости соударения трубок в точке торможения, а также величины кинетической энергии для случая 3 и 4 трубок.

Исходные данные для расчета (опытные данные):

трубка из сплава АМГ-6М,  $r_0 = 0,6$  см;

толщина стенки  $h_0 = 0,1$  см;

динамический предел текучести для АМГ-6М  $\sigma_{sd} = 3 \times 10^7$  кгс/м<sup>2</sup>;

предельный радиус расширения трубок (расстояние от оси трубки до точки торможения):

а) для случая гексагонального расположения трубок

$$r = 2/3r\sqrt{3} = 0,693 \text{ см}; \quad (2)$$

б) для случая укладки трубок по квадрату:  $r = r_0 l/2 = 0,707$  см; (3)

вес и масса трубки длиной 1 м:

$$P = \frac{\pi \times \rho \times l}{4} \left[ d_0^2 - (d_0^2 - 2h_0)^2 \right] = 89,85, \quad M = 9,16 \times 10^{-3} \text{ кг}; \quad (4)$$

вес ВВ в детонирующем шнуре длиной 1 м равен 12 г;

относительная масса  $\beta = m/M = 0,133$ ;

скорость детонации ВВ (ТЭНа)  $D = 6500$  м/с.

Подставляя исходные данные в формулу (1), получим:

а) при гексагональной упаковке трубок при  $r = 0,693$  см,  $V_T = U = 492$  м/с, а для трех трубок в точке соударения,  $V_{TT} = 1476$  м/с;

б) при упаковке трубок по квадрату при  $r = 0,7071$  см

$V_T = U = 515$  м/с, а для четырех трубок  $V_{T.T.} = 2060$  м/с.

Кинетическую энергию соударения трех и четырех трубок в точке торможения можно оценить исходя из схемы, изображенной на рис. 1 и 2.

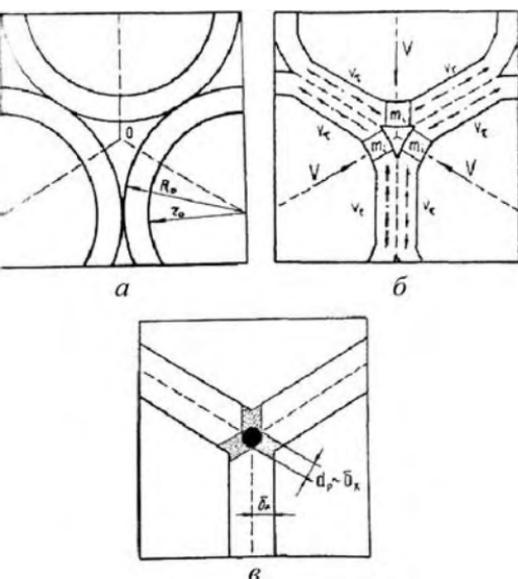


Рис. 1. Схема процесса образования сварного соединения при одновременном соударении трех трубок: а — исходное расположение трубок; б — промежуточное расположение трубок; в — конечное положение трубок в точке торможения после соударения

Из рис. 1 видно, что под действием давления продуктов детонации ВВ трубки одновременно приходят в движение, соударяясь между собой по биссектрисам угла, образованного внешними их поверхностями. При этом трубки испытывают не только радиальную деформацию, но и тангенциальную, т. е. материал трубок как бы течет к точке торможения.

Величина расплава  $\delta_x$  примерно равна  $3/2$  от конечной толщины стенки трубки (из опытных данных).

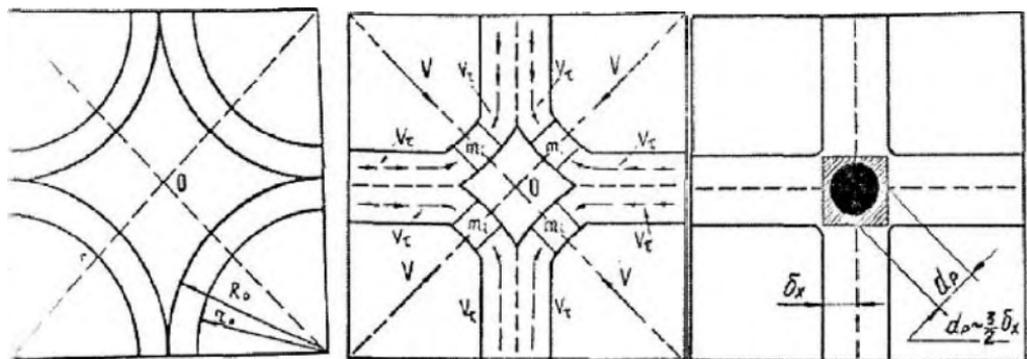


Рис. 2. Схема процесса образования сварного соединения при одновременном соударении четырех трубок

Предположим, что тангенциальное течение материала со скоростью  $V_t$  во всех точках трубок — равномерное, при этом при их раздаче толщина стенки меняется по формулам, приведенным в [2]:

а) для шестигранных сот

$$\delta_x = \sqrt{R^2 - 0,907(R+r)}\delta; \quad (5)$$

б) для четырехгранных сот

$$\delta_x = \sqrt{R^2 - \frac{\pi}{4}(R+r)}\delta. \quad (6)$$

Для расчета кинетической энергии в точке торможения О примем, что в процессе соударения участвует определенная масса материала трубки, а именно та масса, которая определена объемом конечной толщины трубки в квадрате, умноженной на единицу линейной длины трубки и на плотность материала трубки.

В случае гексагонального расположения трубок вес одной трубки, участвовавшей в соударении, определится как

$$P_i = \delta_x^2 \times l \times \gamma = 2,1773 \times 10^{-3} \text{ кг, где } \delta_x = 8,98 \times 10^{-4} \text{ м.} \quad (7)$$

Кинетическая энергия соударения трех трубок в точке торможения определится по формуле

$$W = \frac{3m_i \times V^2}{2} = 790,5 \text{ Дж.} \quad (8)$$

В случае расположения трубок по квадрату вес одной трубки определится по формуле

$$P_i = \delta_x^2 \times l \times \gamma = 1,6 \times 10^{-3} \text{ кг, где } \delta_x = 7,7 \times 10^{-4} \text{ м.} \quad (9)$$

Кинетическая энергия соударения четырех трубок в точке торможения определится по формуле

$$W = \frac{4m_i \times V_2^2}{2} = 848 \text{ Дж.} \quad (10)$$

Зная величины кинетической энергии, можно рассчитать температуру, до которой нагревается металл в точках торможения.

В процессе сварки взрывом сотовых конструкций точка торможения перемещается в направлении детонации ВВ (вдоль оси трубок) со скоростью детонации, поэтому мы вправе считать, что совокупность точек торможения образует линейный источник тепла. Бесконечно быстрое перемещение источника (точки торможения) приводит к возникновению теплосодержащего линейного следа, что можно представить как превращение точечного источника в линейный с равномерно распределенной мощностью по длине траектории перемещения. В этом случае процесс распространения тепла, как указывается в [3], приобретает плоский характер, т.е. тепло распространяется в плоскости, перпендикулярной оси перемещения источника.

Если источник движется вдоль линии сварки (оси  $x$ ), то  $dt/dx \rightarrow 0$ , вследствие чего поток вдоль оси  $ox$ , толщиной  $dx$ , получаем время действия источника на плоский слой, равное  $dt = dx/v$  (в нашем случае  $v=D$ ), т.е. скорость движения источника равна скорости детонации ВВ.

Так как время действия источника на плоский слой бесконечно мало, то можно его рассматривать как мгновенное.

Процесс распространения тепла от мгновенного линейного источника для случая неограниченного теплопроводящего тела с температурой  $T_0$  описывается выражением (11):

$$T(r,t) = (Q/c\gamma 4\pi at) e^{-r^2/4at}, \quad (11)$$

где  $Q$  — количество тепла, приходящегося на единицу длины линейного источника.

Эта формула была бы справедлива для нашего случая, если бы стенки полостеобразующих элементов были бы очень толстыми, и все кинетическая энергия их движения сосредоточилась бы в точках торможения. В реальных случаях мы имеем две схемы для описания распространения тепла: случай соударения четырех трубок (рис. 3) и случай соударения трех трубок (рис. 4).

В первом случае мы имеем две взаимоперпендикулярные пластины толщиной  $2\delta_x$ . В предыдущих исследованиях при расчете кинетической энергии соударения мы допустили, что при соударении трубок в точках торможения участвует только часть их массы, а именно:

$$m_i = \delta_x^2 \cdot l \cdot y = 2,1773 \cdot 10^{-3} \text{ — для случая соударения 3 трубок;} \quad (12)$$

$$m_i = \delta_x^2 \cdot l \cdot y = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ — для случая соударения 4 трубок.} \quad (13)$$

Для оценки температуры в окрестности точки соударения воспользуемся выражением для мгновенного плоского источника, действующего в нашем случае в плоскостях, проходящих через линии  $b-d$  и  $f-d$  для первого случая и в плоскостях, проходящих через линии  $b-o-d$  и  $b-o-k$  во втором случае.

Очевидно, что при рассмотрении этой задачи можно воспользоваться принципом суперпозиции, т.е. независимого действия мгновенных плоских источников от вышеприведенных плоскостей.

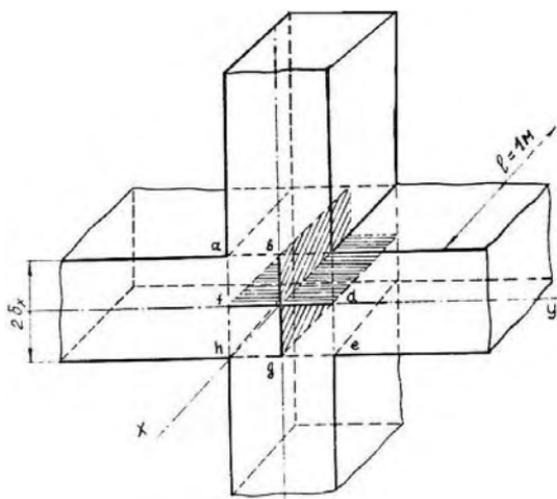


Рис. 3. Расчетная схема для случая соударения в точке торможения четырех полостеобразующих элементов (трубок): заштрихованные области — плоские мгновенные источники тепла

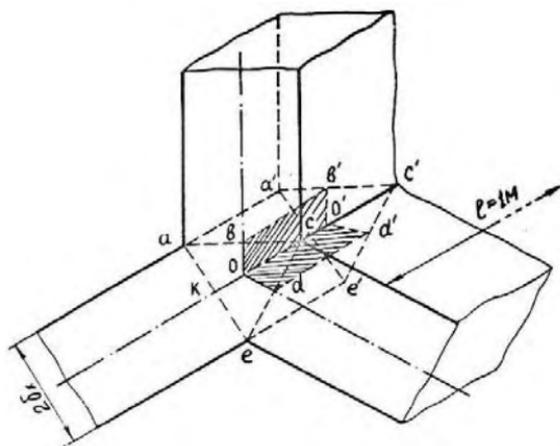


Рис. 4. Расчетная схема для случая соударения в точке торможения трех полостеобразующих элементов (трубок): заштрихованные плоскости — плоские мгновенные источники тепла

Рассмотрим случай, представленный на рис. 3. От мгновенного плоского источника, ограниченного толщиной пластины  $2\delta_x$  (линия  $b-d$ ), тепло распространяется влево и вправо по оси  $Y$ , а вдоль оси  $Z$  тепло распространяется

от линии  $f - d$  (на схеме вверх и вниз). В сумме у нас получается некий крестообразный источник, образованный взаимоперпендикулярными плоскостями шириной  $2\delta_x$  и длиной  $l$  ( $l = 1$  м — единичная длина источника).

Распределение температуры от воздействия мгновенного полосового источника тепла  $qdt$ , сосредоточенного в плоскости с поверхностной активностью  $Q = qdt/\delta$  Дж/см<sup>2</sup> описывается выражением (11).

$$T(y, t) = (q / c\gamma\delta(4\pi at)^{1/2}) e^{-r^2/4at}. \quad (14)$$

При этом считаем, что теплоотдача от стенок не происходит, т.е. граница адиабатическая. Это утверждение верно при сварке взрывом, так как скорость источника велика, а время его действие очень мало.

Определим интенсивность теплового источника  $q$ . Из проведенных ранее экспериментов мы установили, что участки расплавов в точках торможения имеют геометрию, близкую к окружности. Замер диаметра пятен расплавов для случая соударения четырех трубок дал среднюю величину расплава  $d_p = 1,5...2,0$  мм. Площадь цилиндра, образованного окружностью диаметра  $d_p = 1,7$  мм и единичной длины  $l = 1$  м, определится как

$$S = \pi d_p l = 5,34 \cdot 10^{-3}. \quad (15)$$

Зная площадь цилиндра, ограничивающего расплав, мы можем ввести допущение, что именно эта площадь и будет той площадью, на которой сосредоточивается тепло, равное  $Q = 845$  Дж (подсчитанная раньше энергия соударения четырех трубок в точке торможения).

Отсюда интенсивность теплового источника определится как

$$q = Q/S = 158,24 \text{ КДж/м}^2. \quad (16)$$

Так как тепло в нашем случае распространяется от источника по четырем направлениям, то мы можем применить такую схему расчета, которая была бы эквивалентна реальной схеме. Для этого представим себе, что у нас не четыре пластины, сходящиеся торцами в тепловой источник, а одна, но толщиной, равной  $\Delta = 8\delta_x$ , т.е.  $\Delta = 6,16 \cdot 10^{-3}$  м, в которой расположен тепловой источник интенсивностью  $q = 158,24$  КДж/м<sup>2</sup>.

Для расчета значения температуры в точке торможения в зависимости от времени необходимо задаться начальным временем отсчета.

Выше было показано, что в точках торможения, вследствие перехода кинетической энергии в тепло, образуются участки расплавленного металла, анализ которых позволяет предположить, что температура в этих областях может достигать не только температуры плавления, но и кипения металла соударяющихся элементов. Поэтому для расчета температуры в точке торможения за начальное время отсчета примем время, через которое температура в точке торможения достигнет температуры кипения металла, в данном случае — алюминия  $T_k = 2723$  К.

Решая уравнение (14) относительно времени  $t$  при данной температуре, получим

$$t = (q/Tc\gamma\Delta)^2 / 4\pi\alpha = 0,0139 \text{ с}. \quad (7)$$

Итак, за начальное время отсчета примем время, равное 0,0139 с.

Приведем конкретные входные данные из опыта для расчета температуры в точке торможения для случая соударения четырех трубок:

1)  $q = 158,24 \text{ Кдж/м}^2$ ;

2)  $t = 0,0139 \text{ с}$ ;

3)  $\Delta = 6,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  — приведенная толщина стенки пластины;

4)  $a = 0,87 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  — коэффициент температуропроводности для алюминия;

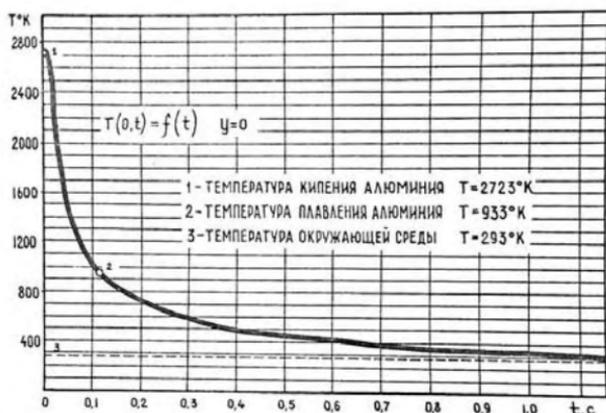
5)  $c = 896 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  — теплоемкость алюминия;

6)  $\gamma = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  — удельный вес алюминия;

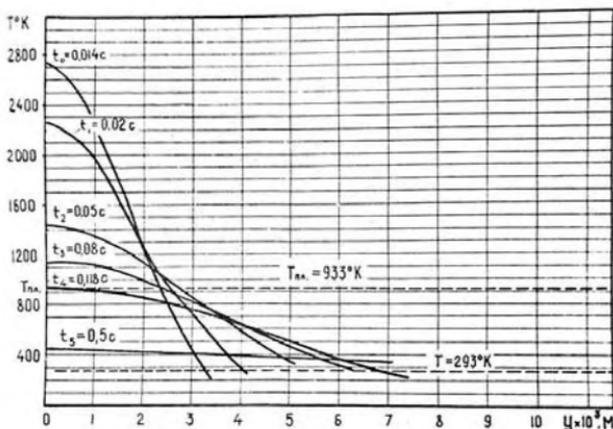
$T_0 = 293 \text{ К}$  — начальная температура окружающей среды.

Подставляя исходные данные при  $Y = 0$  через заданные промежутки времени в формулу (14), получим значения температур в точке торможения в зависимости от времени  $t$ .

Результаты расчетов представлены на графике, изображенном на рис. 5. Из графиков видно, что кривые выравнивания температуры при времени, равном 0,02...0,5 с, пересекают линию температуры плавления алюминия  $T = 933 \text{ К}$  в окрестности точки торможения на расстоянии  $Y = 2,5...2,7 \text{ мм}$ , что примерно соответствует реальному очагу расплава, радиус которого равен 1,5...2,1 мм, для случая соударения четырех трубок.



а



б

Рис. 5. Характер изменения температуры в точке торможения в зависимости от времени (а) и процесс распространения тепла от мгновенного линейного источника, действующего в точке торможения (б)

Таким образом, проведенные эксперименты по сварке взрывом изделий с внутренними полостями, а также оценочный расчет температуры по предложенным в работе приближенным моделям, показал, что в точках торможения полостеобразующих элементов образуется плоский мгновенный источник тепла, который не только вызывает разогрев прилегающего к точке торможения металла, но и его оплавление, с образованием дефектов типа усадочных раковин, пор и горячих трещин. В таких конструкциях, как трехслойные панели и теплообменники, подобные дефекты недопустимы, поэтому необходимо процесс сварки взрывом вести на таких режимах, при которых дефекты становились бы несущественными.

Как показали исследования, это можно достигнуть предварительной установкой между полостеобразующими элементами армирующих элементов в виде проволок, прутков, пластин и др., а также снижением скорости детонации используемого для сварки взрывом ВВ и снижением его относительной массы.

На практике подбор диаметра армирующих элементов можно производить приблизительно по формуле (14), построив соответствующие кривые в координатах  $T = f(t, y)$ , а также из эксперимента по определению радиусов оплавленного металла. При этом диаметр армирующих элементов находится, как показали опыты, в пределах от 0,6 до 1,0 от диаметра расплава.

В силовых сотовых конструкциях работающих на изгиб, растяжение и т.п. в качестве армирующих элементов можно использовать биметаллическую проволоку с навитым на нее плакирующим слоем в виде проволочной спирали [2]. При этом, как показали проведенные ранее исследования, прочность связи в зоне контакта «волокно — матрица» в 1,5...2 раза выше по сравнению с простой проволокой без плакирующего слоя.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баум, Ф.А. Физика взрыва / Ф.А. Баум, К.П. Станюкович, Б.И. Шехтер. М. : Физматгиз, 1975. 704 с.
2. Шестаков С. А. Разработка технологии сварки взрывом сотово-армированных материалов и конструкций : дис. ...канд. техн. наук / С.А. Шестаков. Волгоград, 1988. 259 с.
3. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке : в 2-х т. М. : Металлургия, 1968. Т. 1. 629 с.

УДК 620.193.21:69.03

*Ю.В. Пастухов, О.П. Сидельникова***КОНТРОЛЬ КОРРОЗИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ  
В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ**

Рассмотрен метод коррозионного мониторинга, основанный на измерении образцов-свидетелей, содержащих изотопную метку, изготовленных из материала, аналогичного материалу контролируемого агрегата (сооружения) и устанавливаемых в коррозионно опасных местах.

The article considers a method of corrosion monitoring based on measuring of samples-witnesses with isotope marking. The samples are made from a material close to the material of the construction and are disposed in place with high level of corrosion.

Обеспечение эксплуатационной надежности агрегатов, устройств и сооружений от коррозии, особенно в условиях агрессивных воздействий почвы, температурных режимов и механической нагрузки, имеет огромное значение, которое опасно недооценить [1]. В ряде случаев эксплуатационная надежность зависит от содержания токсичных и коррозионных веществ, находящихся в постоянном контакте с этими сооружениями (подземные водные коммуникации, канализационные трубопроводы и др.).

Как показал многолетний опыт, скорость коррозии технологического оборудования значительно превышает расчетные значения.

В различных производствах в ходе технологического процесса возникают ситуации, вызывающие высокие скорости коррозии (от 3 до 100 мм в год). Даже незначительные, но постоянные утечки технологической среды (чаще всего вызванные коррозионным воздействием) насыщают окружающую среду коррозионно-активными веществами, которые вызывают разрушение зданий, сооружений, строительных конструкций и технологического оборудования, подвергающегося коррозии не только с внутренней, но и с внешней стороны. Например, в 1980-е гг. в объединении «Каустик» колонные аппараты подверглись коррозии с внешней стороны. В результате конденсации на их внешних поверхностях влаги, насыщенной хлором и хлористым водородом, толщина их стенок с наружной стороны настолько уменьшилась, что они потеряли конструкционную прочность, и 15-метровые колонные аппараты разрушились.

Чтобы удержать коррозионные потери в заданных пределах, необходимо оперативно проводить ее измерения и выявлять состояние. Как показал опыт коррозионных испытаний, в технологических установках по разным причинам наблюдаются «залповые» скорости коррозии, длительность которых может составлять от часа до суток. Оперативный контроль скорости коррозии позволяет принимать меры для ее уменьшения [2, 3] (см. например рис. 1 и 2).

Рассматриваемый метод коррозионного мониторинга прошел ранее продолжительные испытания на различных заводах химической и нефтеперерабатывающей промышленности [3].

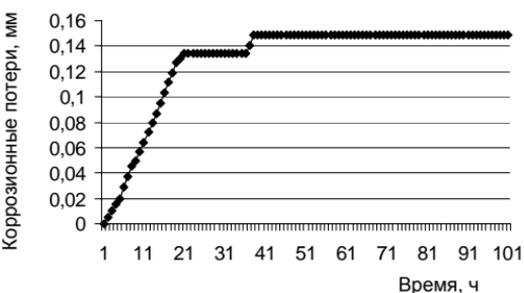


Рис. 1. Коррозия образца-свидетеля

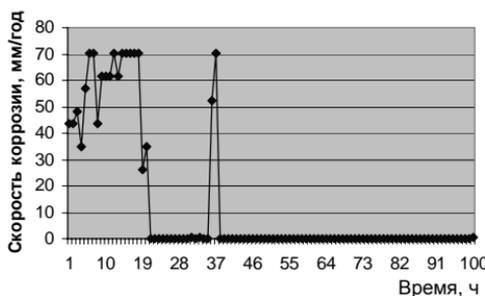


Рис. 2. Скорость коррозии образца-свидетеля

Метод коррозионного мониторинга основан на измерении образцов-свидетелей, содержащих изотопную метку, изготовленных из материала, аналогичного материалу контролируемого агрегата (сооружения) и устанавливаемых в коррозионно опасных местах. Метод является прямым, не зависящим от факторов коррозии и механизма ее протекания. Информация о коррозии представляется непосредственно в виде потерь толщины образцом-свидетелем и может иметь любую удобную форму: например, отражаться на диаграммной ленте или на дисплее.

Образцы-свидетели, изготовленные из материала, аналогичного по составу материалу проверяемого агрегата (сооружения), с предварительно введенной изотопной меткой (кобальт-60 или цезий-137) помещают в коррозионную среду на штоках (при такой установке образцы-свидетели корродируют с двух сторон (рис. 3)) или вплавляют в стенку контролируемого сооружения (агрегата), как показано на рис. 4. Метка устанавливается площадью от 3 до 5 см<sup>2</sup>.

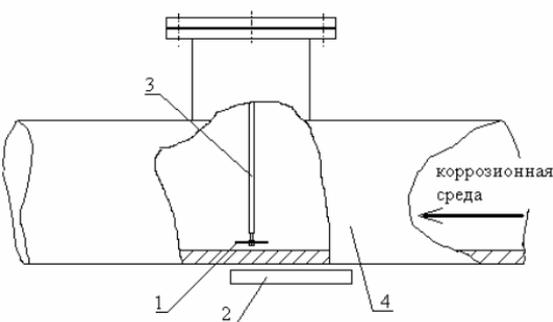


Рис. 3. Установка образца-свидетеля (с радионуклидной меткой) в трубопроводе: 1 — образец-свидетель с радионуклидной меткой; 2 — детектор  $\gamma$ -излучения; 3 — шток для крепления образца-свидетеля; 4 — технологический трубопровод



Рис. 4. Образец-свидетель, вплавленный в стенку технологического аппарата: 1 — образец-свидетель с радионуклидной меткой; 2 — детектор  $\gamma$ -излучения; 3 — стенка технологического аппарата (сооружения)

Уровни гамма-излучения образцов-свидетелей, пропорциональные их остаточной толщине, измеряют высокочувствительным детектором, закреп-

ленным с наружной стороны стенки контролируемого агрегата. Непосредственный контакт с образцом-свидетелем не требуется. Чем выше коррозионная активность среды и чем менее защищены стенки (и образец-свидетель в том числе) агрегата от коррозии, тем быстрее корродирует (растворяется вместе с материалом стенок агрегата) образец-свидетель. Уменьшение толщины образца-свидетеля приводит к снижению интенсивности его излучения, что непрерывно регистрируется детектором.

Сигналы от всех детекторов (различных точек контроля) обрабатываются по заданной программе, а информация о коррозии образцов-свидетелей представляется в удобной для анализа форме. Проведение коррозионного мониторинга возможно до полной коррозии образцов-свидетелей.

Рассматриваемый метод является прямым, так как с его помощью контролируется непосредственно толщина образца-свидетеля и не требуется прямого контакта с ним. Толщина образца-свидетеля определяется с погрешностью не более 1 %. Контролируемый диапазон скоростей коррозии — от 0,01 до 100 мм/год, что вполне обеспечивает эксплуатационную надежность сооружений в особых условиях его эксплуатации [2].

Используемое обычно число образцов-свидетелей (точек контроля), измеряемых одновременно, составляет до 20. Габариты применяемых детекторов для регистрации гамма-излучения от образцов-свидетелей: длина — не более 400 мм; диаметр — не более 80 мм. Детекторы устанавливаются на специальных крепежных устройствах, приваренных к стенкам контролируемого сооружения или объекта. Длина кабеля от точек контроля до места размещения вторичной аппаратуры не должна превышать 200 м. Это вполне достаточно для испытания коррозии трубопроводов, канализационных колодцев и прочих сооружений и агрегатов в строительной индустрии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Козлов Ю.Д.* Высокие технологии с использованием источников ионизирующих излучений в промышленности : учебное пособие / Ю.Д. Козлов и др. М. : Энергоатомиздат, 2006. 715 с.
2. *Пастухов Ю.В.* Оценка скорости коррозии в промышленных условиях // *Химическая промышленность*. 1992. № 10 (625).
3. *Пастухов Ю.В.* Применение метода радиоактивных индикаторов в контроле коррозии / Ю.В. Пастухов, А.М. Гуревич, В.Ф. Кириш. Росинг, 2007. № 3 (051). С. 7.

© Пастухов Ю.В., Сидельникова О.П., 2007

УДК 539.3:539.4

**Л.В. Муравьева, С.А. Литвинов****ОСНОВЫ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Освещена проблема надежности магистрального трубопровода, охватывающая очень широкий круг вопросов: анализ условий возникновения повреждений и разработку конструктивных мероприятий по их предотвращению; статистический анализ надежности и методы расчета показателей надежности сложных объектов.

The problem of reliability of the main pipeline covers very much the broad audience of the questions including the analysis of conditions of occurrence of damages and development of constructive actions for their prevention; statistic analysis of reliability and methods of calculation of parameters of reliability of complex objects.

По технологическим газопроводным коридорам транспортируется до 250 млрд м<sup>3</sup> газа в год, а на отдельных участках суммарная производительность достигает 340 млрд м<sup>3</sup> в год. Такая повышенная концентрация создает повышенную зону риска. Стремление повысить производительность трубопроводов привело к увеличению диаметра труб и давления в них, но оно имеет и свои теневые стороны. Так, аварии на таких трубопроводах, безусловно, приводят к более тяжелым последствиям (возможные взрывы и пожары, загрязнение окружающей среды) и требуют больших затрат на ремонтно-восстановительные работы.

Все это свидетельствует о важности и ответственности надежного и безопасного функционирования трубопроводных систем природного газа.

Любой несущий элемент конструкции проектируется с таким расчетом, чтобы он не разрушался под действием нагрузок, возникающих в процессе его работы. Это свойство элемента конструкции сохранять работоспособность в определенных условиях эксплуатации обычно и называют его «надежностью», способностью сохранять прочность, жесткость или заданную форму в течение установленного времени непрерывного функционирования. В узком смысле это безотказность.

Сформулируем задачи расчета надежности магистрального трубопровода. Жизненный цикл магистрального трубопровода, как и любого другого технического устройства, включает в себя несколько этапов, основными из которых являются проектирование, строительство и эксплуатация с включением в нее возможных этапов поэлементного ремонта.

На разных этапах этого цикла возникают свои специфические задачи надежности магистрального трубопровода как системы.

Так, на стадии проектирования и конструирования показатели надежности трактуют как характеристики вероятностных или полувероятностных расчетных моделей создаваемых объектов. Соответствующие значения показателей называют *расчетными*. Аналогичные оценки по данным эксплуатации называют *эксплуатационными*.

Вопросам разработки теории надежности и вероятностных методов расчета посвящены работы В.В. Болотина [1] и А.Р. Ржаницына, где впервые

были обобщены вопросы теории надежности и статистической динамики строительных конструкций и в которых аппарат теории случайных функций был применен для решения многих практических задач строительной механики. Оценка надежности всей газопроводной системы подразумевает выделение однородных групп элементов системы (компрессорные станции, линейные части магистральных газопроводов и т.д.) с последующим анализом отказов подсистем. Здесь применяется методология системной теории надежности, которая применительно к магистральным газопроводам подразумевает несколько уровней разукрупнения системы [2]. Уровень, для которого объектом исследования является линейная часть магистрального газопровода состоит из следующих подсистем: 1) группа А — основной металл (трубы) со сварными соединениями (сварные швы) и конструктивными особенностями типа ветвлений, отводов и т.п.; 2) группа В — элементы конструктивной основы, включающей средства электрохимзащиты, прокладки (свайное основание, способ грунтовой засыпки), антикоррозионные покрытия. Надежность всей системы в целом (на данном уровне разукрупнения) зависит от надежности составляющих ее компонентов (выделенных подсистем).

С другой стороны, при рассмотрении конструктивной схемы конкретной газопроводной системы необходимо провести структурный анализ, при котором газопровод рассматривается как протяженная механическая система, состоящая из однородных по способу прокладки, грунтово-геологическим, климатическим и эксплуатационным условиям участков. Выделение однородных участков осуществляется в соответствии с принципом равной надежности. Для выделенных участков характерны отказы, имеющие одинаковую природу (причина отказа описывается одним и тем же критерием наступления предельного состояния).

Формулирование задач расчета надежности для отдельных элементов конструкции должно начинаться с анализа физической картины их нагружения, изучения с помощью детерминированных методов прочностного расчета напряженно-деформированного состояния элементов и установления на этой основе возможных предельных состояний конструкции и введения в расчет по их числу параметров состояния.

При наличии возможных предельных состояний в общем случае параметры состояния можно рассматривать как компоненты вектора  $\bar{Z}$  состояния конструкции.

Если выбрать систему координат в  $n$ -мерном фазовом пространстве состояний так, что началу координат будет соответствовать полное отсутствие нагрузок и начальных повреждений, то исчерпанию несущей способности будет отвечать поверхность предельных состояний, охватывающая область  $\Theta$ . Пересечение этой поверхности вектором  $\bar{Z}$ , проведенным из начала координат в точку, отвечающую состоянию элемента в данный момент времени в определенных условиях, означает отказ. В такой постановке вероятность разрушения есть вероятность нахождения вектора  $\bar{Z}$  в области  $\Theta$ .

Многообразие процессов приближения состояния конструкции к отказу можно свести к двум схемам: мгновенному разрушению и накоплению повреждений.

В первом случае отказ наступает вследствие мгновенного пересечения вектором состояния конструкции  $\bar{Z}$  граничной поверхности, т.е. мгновенного перехода его в область разрушения. Причем близость состояния конструкции к предельным изменяется не монотонно: состояние конструкции во времени может то приближаться к тому или иному предельному состоянию, то удаляться от него до тех пор, пока однажды не достигнет какого-либо из предельных состояний. Иными словами, схема мгновенных повреждений описывает отказы, вызванные «пиковой» нагрузкой.

Во втором случае изменение параметров состояния имеет необратимый характер. Конструкция монотонно приближается к предельному состоянию. Отказ наступает как следствие накопления повреждений, каждое из которых в отдельности неопасно. Такой моделью описываются усталостное разрушение, накопление деформаций и т.д.

Из-за различия характера процессов приближения к отказам различны и параметры состояния.

Если отказ наступает вследствие мгновенного разрушения, под предельным состоянием обычно понимают такое, при котором действующая на элемент нагрузка  $F$  становится равной разрушающей нагрузке  $F_{cr}$  (или несущей способности конструкции  $R$ ), то есть соответствующей исчерпанию несущей способности.

Таким образом, условие  $F < F_{cr}$  характеризует область безотказных состояний, а условие  $F \leq F_{cr}$  определяет область отказов.

Как уже подчеркивалось выше, вероятность неразрушения элемента конструкции зависит одновременно от двух групп возмущающих параметров, одна из которых обуславливает стохастическую природу действующих нагрузок (давление газа или жидкости в трубопроводе, воздействие на трубопровод осевых сил и т.п.), а вторая — несущей способности конструкции (разброс физико-механических характеристик материала, отклонений в толщине труб и т.д.). Особняком стоит температурное воздействие на конструкцию, которое одновременно является возмущающим параметром и нагрузки, и несущей способности, так как, с одной стороны, вызывает в конструкции появление температурных напряжений (т.е. проявляет себя как своеобразная, но нагрузка), а с другой стороны, вызывает снижение прочностных характеристик материала, влияя, таким образом, на несущую способность конструкции.

В общем случае нагружения параметры состояния в каждой точке представляют собой случайные функции времени, таким образом, мы имеем дело еще и с бесконечной последовательностью случайных величин-сечений соответствующих случайных процессов в фиксированные моменты времени. Более того, для каждой точки конструкции в каждый момент времени необходимо вводить в расчет столько параметров состояния, сколько предельных состояний конструкции возможно. В итоге, в такой самой общей постановке (без каких-либо упрощений сформулированная задача определения надежности элементов конструкции становится практически неразрешимой, ибо для доведения ее до конца пришлось бы определить функцию плотности совместного распределения бесконечного числа параметров и интегрировать ее бесконечное число раз).

Существуют два пути упрощения и две постановки задачи.

Первый путь состоит в том, что законы распределения возмущений, а следовательно, нагрузки, несущей способности и параметров состояния предполагаются известными.

Чаще всего, ввиду хорошего математического обеспечения и возможности пользоваться только числовыми характеристиками распределений, принимается нормальный закон. Так, если считается, что распределение нагрузки  $F(t)$  как случайной функции времени в каждом сечении  $F(t - t_j)$  случайного процесса  $F(t)$  подчиняется нормальному закону, то для ее описания достаточно знать математическое ожидание  $m_F(t)$  и корреляционную функцию  $k_F(t_j, t_i)$ . Получение таких числовых характеристик позволяет далее найти методами теории выбросов случайных функций вероятность неразрушения как вероятность того, что ни одна из действующих нагрузок, ни в одной точке конструкции, ни в один момент времени функционирования не превысит соответствующую несущую способность. Рассмотренную постановку задачи можно назвать функциональной, или пространственно-временной, поскольку сохраняется зависимость параметров состояния конструкции от времени и координат, т.е. параметры состояния представляются как случайные функции.

Сущность второго пути заключается в том, что рассматривается состояние конструкции лишь в наиболее опасных точках и в расчетном случае, представляющем собой фиксированный момент времени, в который нагружение становится наиболее опасно.

Возмущения, а следовательно, нагрузка, несущая способность и параметры состояния конструкции при таком подходе представляют собой случайные величины, в силу чего подобную постановку задачи можно назвать квазистатической, или локальной. Нахождение вероятности неразрушения сводится здесь к  $n$ -кратному интегрированию  $n$ -мерной плотности совместного распределения параметров состояния, причем  $n$  становится конечным и, более того, сравнительно малым.

При решении задачи моделирования функции надежности трубопроводной конструкции линейный участок магистрального газопровода рассматривается как стохастическая система, работа которой определяется следующими входными случайными характеристиками:  $\tilde{p}, \Delta\tilde{t}$  — случайные величины;  $\tilde{q}(x)$  — стационарная случайная функция координат.

Задача расчета деформации трубопровода при действии технологической нагрузки со случайным изменением параметра  $\tilde{p}$  (внутреннего давления) и случайным параметром температурного режима  $\Delta\tilde{t}$ , случайной функцией распределения давления грунтов засыпки  $\tilde{q}(x)$ , представляет собой стохастически нелинейную задачу.

Область безотказной работы эксплуатируемого участка газопровода определена на основании проведения вероятностных расчетов и оценки надежности. Отказ в этом случае связан с выбросом значений выходных случайных характеристик системы, описывающих поведение трубопроводной конструкции за пределы допустимой области  $\Omega_0$ .

Выходными случайными характеристиками заданной системы являются: перемещение  $\tilde{f}(x)$  и продольные усилия в сечениях трубопровода  $\tilde{N}_y(x, \Delta\tilde{t}, \tilde{p})$ , напряжения  $\tilde{\sigma}_{\text{экр}}, \tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2$  и усилия  $\tilde{M}_x, \tilde{M}_y, \tilde{M}_{xy}, \tilde{N}_x$ .

Функция надежности заданной системы при назначенном уровне надежности:

$$P_t = P \left[ N_y(\tilde{p}, \Delta\tilde{t}, \tilde{q}(x)) \in \Omega_0 \right] = 1 - \frac{1}{2} \int_{\mathbb{B}} \exp \left( -\frac{\mathbb{B}^2}{2} \right) d\mathbb{B}.$$

Для определения области безотказной работы трубопроводной конструкции, с целью выявления зависимости выходного параметра — продольного усилия  $\tilde{N}_y(x, \Delta\tilde{t}, \tilde{p})$  — от величин эксплуатационных параметров система описывается аналитически с помощью простых линейных соотношений на основании предложенной инженерной методики [3]. Расчет данной системы с использованием дискретной пространственной модели на уровне математических ожиданий производится методом конечных элементов. Вероятностный расчет системы производится методом статистического моделирования. Случайные параметры системы приняты распределенными по нормальному закону.

За основу вычисления резерва прочности по продольному усилию трубопроводной конструкции принята методика, изложенная в [3]. Для расчета математического ожидания функции резерва прочности  $\bar{S}$  и ее дисперсии использовались формулы

$$\bar{S} = \bar{R} - \bar{F}; \quad \sigma(S) = \sqrt{\sigma^2(R) + \sigma^2(F)}.$$

При расчете математического ожидания резерва прочности для отдельных сечений трубопроводной конструкции, определяем несущую способность  $\tilde{R}$ , как продольное критическое усилие, отвечающее I форме потери продольной устойчивости участка трубопровода. Где  $\tilde{F}$  расчетное значение нагрузочного эффекта — продольное усилие в расчетных сечениях участка трубопровода, выраженное через внешнюю нагрузку (т.е. определенное в результате решения задачи о напряженном состоянии конструкции при статистического моделирования случайных параметров внешних воздействий).

Были выполнены расчеты изменения вероятности безотказной работы  $P$  в зависимости от изменений характеристики безопасности  $\beta$ , где вероятность

безотказной работы  $P = \frac{1}{2} + \Phi(\beta)$  — выражена через интеграл вероятностей и характеристику безопасности.

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{F}}{\sqrt{(\sigma_R^2 + \sigma_F^2)}},$$

где  $\bar{R}$  — среднее значение величины продольного критического усилия, полученное по результатам статистического моделирования;  $\bar{F}$  — среднее значение расчетного продольного усилия  $N_y$ , МПа,  $\sigma_R$  и  $\sigma_F$  — стандартное отклонение величин  $\bar{R}$  и  $\bar{F}$  по результатам вероятностного расчета для рассматриваемых вариантов изменения параметров; приняты  $\bar{R}=61,36$  МПа ( $6136 \text{ т/м}^2$ ),  $\sigma_R=1227,2 \text{ т/м}^2$  и  $k_R=0,202$ .

На основе анализа результатов численного исследования уровень надежности (вероятность безотказной работы) рассматриваемого участка трубопровода составляет  $0,656 < P \leq 0,999$ . Так как  $P=0,5$  — значение наступления отказа, то можно сделать вывод, о неудовлетворительном состоянии устойчивости рассматриваемого участка трубопроводной конструкции.

Были предложены рекомендации с целью повышения уровня надежности на участке магистрального газопровода.

При определении значений случайного коэффициента запаса  $\bar{K}$  в расчетных сечениях участка магистрального газопровода. Вычисления проводились по формуле  $K = \bar{R} / \bar{F}$ , а коэффициенты вариации  $\tilde{R}$  и  $\tilde{F}$  соответственно представлены в виде

$$A_R = \sigma_R / \bar{R} ; A_F = \sigma_F / \bar{F} \quad (2)$$

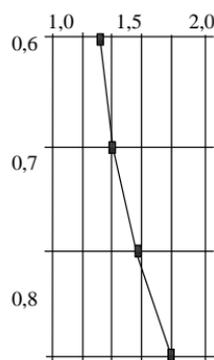
из формулы (4.20) можно определить  $k$ :

$$k = \frac{1 + \sqrt{\beta^2 A_R^2 + \beta^2 A_F^2 - \beta^4 A_R^2 A_F^2}}{1 - \beta^2 A_R^2} \quad (3)$$

По определенным для примера коэффициентам запаса для оценки эксплуатационной надежности участка трубопровода следует, что на подземном участке и участке изменения геометрии он изменяется от 1,032 до 1,391, а на всплывшем участке 2,386...3,051 соответственно. Здесь важно показать не значение показателя надежности, а реальный уровень надежности трубопроводной конструкции, определяемый наличием повреждения, которые могут существенно снижать показатели надежности трубопровода и повышать риск возникновения отказов и аварий. Снижение коэффициента запаса приводит к повышению уровня риска безопасной эксплуатации.

Из рисунка следует, что уменьшение значения коэффициента надежности до 1,5 приводит к снижению надежности до 0,7.

Значения принятых по отечественным и зарубежным нормам коэффициентов запаса прочности для магистральных газопроводов диаметром 1420 мм (материал труб:  $R_1^H = 600$  МПа,  $R_2^H = 470$  МПа,  $p = 7,5$  МПа (76 кгс/см<sup>2</sup>) для категории трубопровода I, приведены в таблице.



Зависимость показателя надежности  $P$  от коэффициента запаса  $K$

Страна	Категория или класс участка трубопровода	Коэффициент условий работы	Коэффициент запаса прочности	Допускаемое напряжение, МПа	Толщина стенки, мм
Россия	I	0,75	2,1	286	18,7
США, Канада	I	0,72	1,77	339	15,8
Великобритания	I	0,72	1,86	323	16,6
Германия	I	1,6	2,15	279	19,1

Для получения возможности сравнения норм разных стран по степени нагруженности магистральных трубопроводов (внутренним давлением — табл.) было использовано традиционное понятие коэффициента запаса проч-

ности, которое принимается равным отношению нормативного значения предела прочности (временного сопротивления —  $\sigma_u$ ) к допускаемому напряжению, применяемому при определении толщины стенки,  $[\sigma]$ :

$$K_u = \frac{\sigma_u}{[\sigma]}.$$

Некоторая сложность сравнения коэффициентов запаса прочности состоит в том, что в различных нормах применяются отличающиеся критерии прочности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Болотин В.В.* Методы теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений. М. : Стройиздат. 1982. 351 с.
2. Методические рекомендации по расчетам конструктивной надежности магистральных газопроводов. РД 51-4.2.-003-97 М.: ВНИИгаз. 1997. 126 с.
3. *Муравьева Л.В.* Оценка надежности трубопроводной конструкции с эксплуатационными повреждениями / Л.В. Муравьева, И.Г. Овчинников, В.А. Пшеничкина. Саратов : 2004. 256 с.

© *Муравьева Л.В., Литвинов С.А., 2007*

УДК 620. 193.01

Л.Р. Куш

## КОРРОЗИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНОГО ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА

Исследовано поле токов коррозии одиночного электрохимически неоднородного подземного трубопровода при наличии на нем поврежденных различного характера, показана связь скорости коррозии металла трубопровода с параметрами коррозионных макропар.

The author has investigated corrosion current field of a single electrochemically heterogeneous underground pipeline provided that it's damaged in different ways. They have also showed the link between corrosion speed of pipeline metal and corrosion macrocells' parameters.

Подземные трубопроводы в большинстве случаев защищены изолирующими покрытиями, однако в процессе эксплуатации в изоляции возникают дефекты. В таких дефектах на поверхности металла протекают коррозионные электрохимические процессы, причем, находясь на различных участках трубы, дефекты образуют гальванические макроэлементы, интенсивно разрушающие металл.

Важнейшим способом продления безотказной работы трубопроводов является электрохимическая защита, которая достигается снижением скорости активного растворения металла путем подавления токов коррозии.

Для анализа распределения токов коррозии в трубопроводных сетях применен метод компьютерного моделирования проф. В.Н. Ткаченко, реализованный в комплексе программ АРМ-ЭХЗ-8П [1, 2]. Метод рассматривает трубопровод как множество отрезков дискретизации с заданными постоянными параметрами в пределах каждого отрезка и описывает связи между ними. Расчет распределения тока и потенциала представляет собой решение системы уравнений, число которых соответствует числу узлов дискретизации.

Согласно методу дискретизации распределение плотности тока коррозии вдоль трубопровода описывается системой алгебраических уравнений  $N$ -го порядка, где  $N$  — число исследуемых точек (узлов дискретизации). При учете только токов коррозии такая система в матричной форме получит вид

$$(BA - E) j_T = -B\varphi_{ст}; \quad (1)$$

$$R_{из} j_T + \varphi_{ст} = U_T,$$

где  $A$ ,  $B$  — квадратные матрицы  $N$ -го порядка, учитывающие наличие взаимных влияний между отрезками дискретизации, их связи и сопротивления между узлами дискретизации;  $E$  — единичная матрица;  $j_T$  — искомый вектор средней плотности тока коррозии для узлов дискретизации;  $\varphi_{ст}$  — столбец электрохимических потенциалов стали в грунте для узлов дискретизации, отсчитываемый обычно относительно медносульфатного электрода сравнения (МЭС);  $R_{из}$  — столбец приведенных значений удельного электрического сопротивления изоляции трубопровода;  $U_T$  — искомая разность потенциалов между телом трубы и точкой земли на поверхности изоляции трубопровода.

Поместим одиночный трубопровод в трехмерную систему координат. Координатную плоскость  $xoy$  расположим на дневной поверхности земли, ось  $ox$  направим вдоль трубопровода, ось  $oz$  — вглубь земли. Пусть трубопровод диаметром  $d = 0,4$  м с удовлетворительной изоляцией  $R_{из} = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$ , длиной 2000 м уложен на глубине  $h_T = 1,5$  м в однородном грунте с удельным электрическим сопротивлением  $\rho = 30 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . В центре трубопровода имеется участок  $L_A$ , длину которого будем варьировать, с полностью разрушенной изоляцией, где можно принять  $R_{из,повр.} = 0,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$ . Полагаем, что этот участок является анодом гальванической пары, в то время как остальная часть трубопровода — катодом.

Начало координат установим в точке на поверхности земли над центром трубопровода, т.е. над поврежденным участком. Тогда участок в координатах  $L_A/2 < x < L_A/2$ ,  $y = 0$ ,  $z = h_T$  будет функционировать как анод. Примем электрохимический потенциал анода равным  $\varphi_{ст.А} = -0,7$  В, катода  $\varphi_{ст.К} = -0,5$  В (по медносульфатному электроду сравнения, МЭС).

Как показал расчет при принятых выше исходных данных, плотность тока по поверхности анода распределяется неравномерно с весьма заметным максимумом на границе с катодом (рис. 1, кривая 1). На этой границе также заметно резкое изменение разности потенциалов  $U_T$  (рис. 1, кривая 2), что позволяет надеяться на возможность отыскания анода при полевых исследованиях.

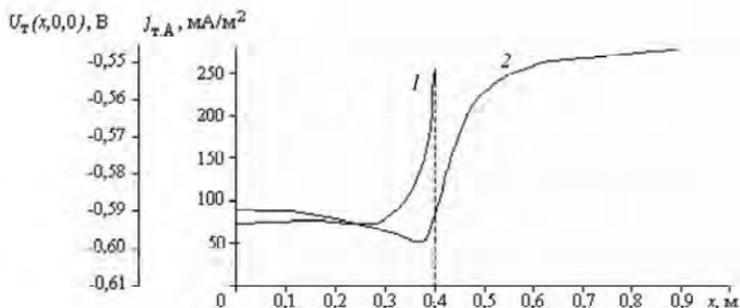


Рис. 1. Распределение плотности анодного тока (1) и разности потенциалов труба-земля (2) вдоль трубопровода при  $L_A/2 = 0,4$  м

При изменении размера анода, например, увеличении длины  $L_A$ , плотность анодного тока уменьшается, следовательно, опасность коррозии снижается (табл. 1). Как следует из табл. 1, для узких зон характерен точечный вид коррозии (например, для  $L_A = 0,4$  м при полностью разрушенной изоляции скорость коррозии равна 0,06 мм/год). Очевидно, что с ростом  $L_A$  скорость достигнет значений, меньших 0,05 мм/год, соответствующих равномерной коррозии.

Таблица 1

$L_A$ , м	$j_t(0)$ , мА/м <sup>2</sup>	$v$ , мм/год
0,1	143,34	0,17
0,2	61,677	0,073
0,3	52,396	0,062
0,4	50,465	0,06
2	26,943	0,032

Если рассматривать повреждения, где сопротивление изоляции анода  $5 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$  и более, то можно говорить только о равномерной коррозии при всех значениях  $L_A$  (табл. 2). Результаты расчета табл. 2 приведены для принятых выше исходных данных с  $L_A = 0,1 \text{ м}$  при различной степени повреждения изоляционного покрова трубопровода.

Т а б л и ц а 2

$R_{\text{из.повр.}}, \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$	$j_T(0), \text{ мА/м}^2$	$v, \text{ мм/год}$
0,1	143,34	0,17
1	86,964	0,1
5	31,634	0,037
10	17,638	0,02

Программы АРМ-ЭХЗ-8П дают возможность рассчитать работу коррозионных макропар при любых иных исходных данных. Пусть, например, на трубопроводе действует не один, а несколько анодов с шагом 1,5 м. Как следует из рис. 2, характер изменения плотности тока в зоне повреждения сохраняется — в центре анода плотность тока меньше, чем на границе. Катодный ток незаметен, поскольку протяженность катода много больше длины анода.

Подобно рис. 1 выглядит распределение разности потенциалов труба — земля  $U_T$  (рис. 2).

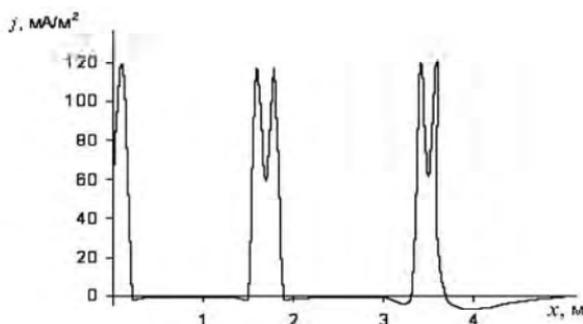


Рис. 2. Распределение плотности тока вдоль трубопровода при наличии трех анодных зон с  $L_A = 0,4 \text{ м}$ , длиной макропары  $L_M = 1,6 \text{ м}$

Изменение длины макропары  $L_M$ , т.е. соотношения  $S_K/S_A$ , приводит к изменению плотности тока, а значит и скорости коррозии. В табл. 3 представлены расчеты плотности тока и скорости коррозии  $v$  на границе анодной и катодной зон при различных соотношениях  $S_K/S_A$ . Расчеты выполнены для  $\rho = 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $R_{\text{из.повр.}} = 0,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$  и  $L_A = 0,2 \text{ м}$ .

Т а б л и ц а 3

$L_M, \text{ м}$	$S_K/S_A$	$j_T, \text{ мА/м}^2$	$v, \text{ мм/год}$
0,5	1,5	89,783	0,106
0,8	3	103,377	0,121
1,6	7	117,508	0,139
3,2	13,5	125,326	0,148
5,2	23,5	131,512	0,155
10,2	48,5	134,79	0,159
20,2	98,5	136,749	0,161

Значения скорости коррозии для  $S_K/S_A > 1$  превышают величину, характеризующую равномерный вид коррозии, и чем больше отношение  $S_K/S_A$ , чем уже зона повреждения, тем она опаснее. Сплошную коррозию следует ожидать при  $S_K/S_A < 1$ , когда размеры анодных и катодных участков соизмеримы.

Вместе с тем, равномерная коррозия наблюдается у протяженных анодов для  $S_K/S_A > 1$ . В табл. 4 приведены коррозионные параметры при  $L_A = 4$  м.

Т а б л и ц а 4

$L_m$ , м	$S_K/S_A$	$j_t$ , мА/м <sup>2</sup>	$v$ , мм/год
5	0,25	24,195	0,029
6	0,5	25,212	0,03
8	1	25,889	0,031
20	4	33,448	0,04

При изменении удельного электрического сопротивления грунта плотность тока значительно меняется (рис. 3). В высокоагрессивных грунтах величина  $j_t$  примерно в 7 раз выше, чем в слабоагрессивных, независимо от соотношения  $S_K/S_A$ . Следовательно, скорость коррозии при малых  $\rho$  будет во столько же раз превосходить скорость коррозии при больших значениях  $\rho$ ; равномерная коррозия присуща слабоагрессивным грунтам при любых соотношениях  $S_K/S_A$ .

Расчеты показали, что скорость коррозии определяется несколькими факторами, в т.ч. соотношением площадей анода и катода, размерами анода, параметрами грунта. Узкие зоны повреждения, высокая коррозионная активность грунта характерны для язвенного типа коррозии, который является наиболее опасным с точки зрения скорости разрушения металла трубопровода.

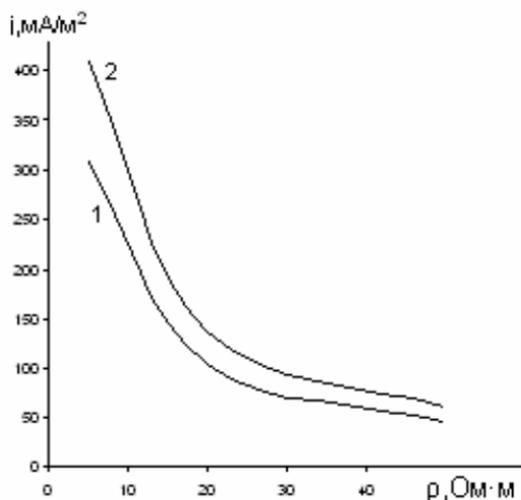


Рис. 3. Зависимости плотности тока от удельного сопротивления грунта: 1 —  $S_K/S_A = 3$ ; 2 —  $S_K/S_A = 98,5$

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ткаченко В.Н. Расчет поля токов при электрохимической защите трубопроводных сетей произвольной структуры // Электромеханика. 1989. № 4. С. 13—19.
2. Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии, РД 153-39.4-091-01. М. : АКХ им. К. Д. Памфилова, 2002. С. 202.

УДК 624.014

**В.В. Зверев, Е.В. Мещерякова****ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННОГО СТАЛЬНОГО U-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО СЕЧЕНИЯ В СОСТАВЕ ПОКРЫТИЯ ПОЭЛЕМЕНТНОЙ СБОРКИ**

На основе теоретических и экспериментальных исследований устойчивости стенки тонкостенного профиля несимметричного сечения определена теоретическая модель расчета, наиболее точно соответствующая действительной работе профиля при изгибе в составе покрытия поэлементной сборки.

On the base of theoretical and experimental research into thin-section profile side firmness of an asymmetrical section there has been defined a theoretical calculation model more exactly conforming to the actual work of the profile under curve in the composition of side-by-side assembly cover.

В настоящее время существует два вида многослойных покрытий, которые различаются между собой способом изготовления. Это панели полной заводской готовности и панели поэлементной сборки, изготавливаемые на строительной площадке. Последние конструкции наиболее эффективны при строительстве модульных зданий и реконструкции существующих.

Традиционная практика проектирования ограждающих металлических конструкций предполагает применение панелей полной заводской готовности, так как их внедрению предшествовали обширные теоретические и экспериментальные исследования. Внедрение прогрессивных технологий, позволяющих создавать традиционные конструктивные формы новыми простыми и экономичными способами, привело к распространению многослойных покрытий, изготовленных непосредственно на строительной площадке.

Покрытие состоит из тонкостенных холодноформованных элементов. Соединение несущего и ограждающего слоя выполняется на самонарезающих винтах. Несущий слой состоит из профилей U-образного несимметричного сечения, которые соединяются между собой при помощи фальца.

При проектировании многослойного покрытия, состоящего из тонкостенных холодноформованных профилей, большое значение имеет обеспечение местной устойчивости стенки несущего профиля. В таких конструкциях вертикальная грань профиля работает на сжатие с изгибом.

В конструкции покрытия поэлементной сборки для достижения необходимых теплотехнических требований в ряде случаев предусматривается устройство обрешетки, состоящей из отдельных профилей, которые передают вертикальную нагрузку в виде сосредоточенных сил. Под действием этой нагрузки потеря устойчивости стенки происходит по синусоидальному закону. В качестве расчетной модели можно рассмотреть тонкую пластинку с размерами  $a$  (длина)  $\times$   $b$  (ширина). Длина пластинки равна шагу поперечной обрешетки. Таким образом, боковые стороны пластинки можно принять шарнирно опертыми. Нижний пояс шириной 304 мм подкрепляет стенку, и такое закрепление можно рассматривать как шарнирное опирание.

Верхний отгиб шириной 25 мм создает дополнительную жесткость по кромке пластинки, и такое сопряжение можно считать как шарнирным, так и

свободным. В этом случае критическое напряжение в пластинке, работающей на сжатие с изгибом, можно определять с учетом опирания как по четырем, так и по трем сторонам. Известна расчетная модель, предусматривающая шарнирное опирание по четырем сторонам [1].

Рассмотрим расчетную модель пластинки, показанной на рис. 1.

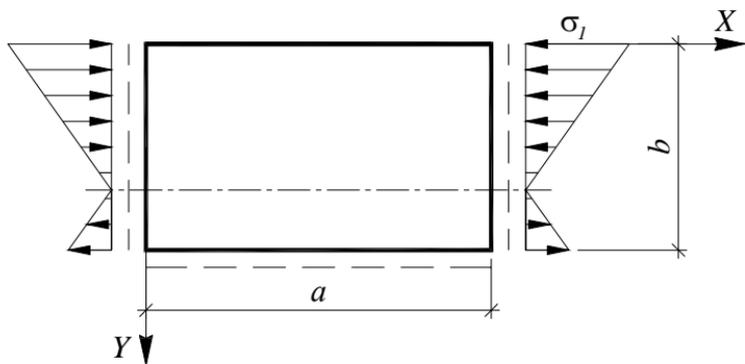


Рис. 1. Расчетная модель пластинки, работающей на сжатие с изгибом:  $\sigma_1$  — максимальное напряжение от действия изгибающего момента; ----- — шарнирное опирание стороны

Рассматриваемая пластинка имеет толщину  $2t$  и жесткость на изгиб, равную  $D$  [2].

$$D = \frac{2Et^3}{3(1-\mu^2)}, \quad (1)$$

где  $\mu$  — коэффициент поперечной деформации.

Внутренние усилия в срединной плоскости пластинки:

$$T_1 = \int_{-t}^{+t} \sigma_x dz, \quad T_2 = \int_{-t}^{+t} \sigma_y dz, \quad S = \int_{-t}^{+t} \tau_{xy} dz. \quad (2)$$

Дифференциальное уравнение равновесия выпущенной пластинки:

$$D \left( \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} \right) - T_1 \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - T_2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} - 2S \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} = 0. \quad (3)$$

В случае, когда пластинка шарнирно опирается по трем сторонам:

$$\omega = \sin \frac{m \cdot \pi \cdot x}{a} \cdot (A \cdot \operatorname{sh} \alpha y + C \cdot \sin \beta y), \quad (4)$$

где  $\alpha = \sqrt{\frac{m^2 \cdot \pi^2}{a^2} + \sqrt{\frac{2 \cdot t \sigma_x}{D} \cdot \frac{m^2 \cdot \pi^2}{a^2}}}$ ;  $\beta = \sqrt{-\frac{m^2 \cdot \pi^2}{a^2} + \sqrt{\frac{2 \cdot t \sigma_x}{D} \cdot \frac{m^2 \cdot \pi^2}{a^2}}}$ ;  $m$  —

число полуволн, соответствующее различным формам потери устойчивости.

Наименьшая величина сжимающей силы соответствует случаю выпучивания по одной полуволне, при  $m=1$ .

При действии на пластинку сжатия с изгибом, распределение напряжений по краям можно представить в виде уравнения:

$$\sigma_x = -\sigma_1 \cdot \left(1 - \frac{y}{\xi \cdot b}\right), \quad (5)$$

где  $\xi$  — коэффициент, зависящий от положения нейтральной оси;  $\sigma_1$  — наибольшее сжимающее напряжение.

Дифференциальное уравнение (3) соответствует условию потери устойчивости для пластинки, шарнирно опертой по четырем сторонам. При введении граничного условия свободного опирания одного края пластинки получим:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \mu \cdot \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = 0 \\ \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \mu \cdot \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right) + 2(1-\mu) \cdot \frac{\partial^3 \omega}{\partial y \partial x^2} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Решая систему уравнения (6) с учетом ограничения по длине пластинки, получим:

$$\sigma_1 = \frac{\pi^2 \cdot D}{2 \cdot t \cdot b^2} \cdot \frac{b^2 + \frac{4,5}{\pi^2}}{1 - \frac{1}{2 \cdot \xi}} = \sigma_e \cdot k, \quad (7)$$

где  $k = \frac{b^2 + \frac{4,5}{\pi^2}}{1 - \frac{1}{2 \cdot \xi}}$  — коэффициент, зависящий от отношения длины к ширине

пластинки и положения нейтральной оси.

В связи с тем что в реальных условиях по верхней кромке стенки имеют-ся отгибы (верхний пояс), которые могут влиять на устойчивость пластинки, в формулу (7) для определения критических напряжений следует ввести некоторый поправочный коэффициент  $k'$ , который может быть получен эмпирически. На кафедре металлических конструкций Липецкого государственного технического университета проведена серия испытаний покрытий, позволяющая построить график зависимости критического напряжения от отношения размеров пластинки.

На рис. 2 приведено сравнение теоретической несущей способности пластинки, опертой по трем и четырем сторонам с результатами испытаний. Из рис. 2 следует, что рассмотренная расчетная модель пластинки, работающей на сжатие с изгибом и опертой по трем сторонам наиболее приближена к действительной работе тонкостенного профиля в составе покрытия.

Критические напряжения из условия обеспечения устойчивости стенки следует определять по формуле (7).

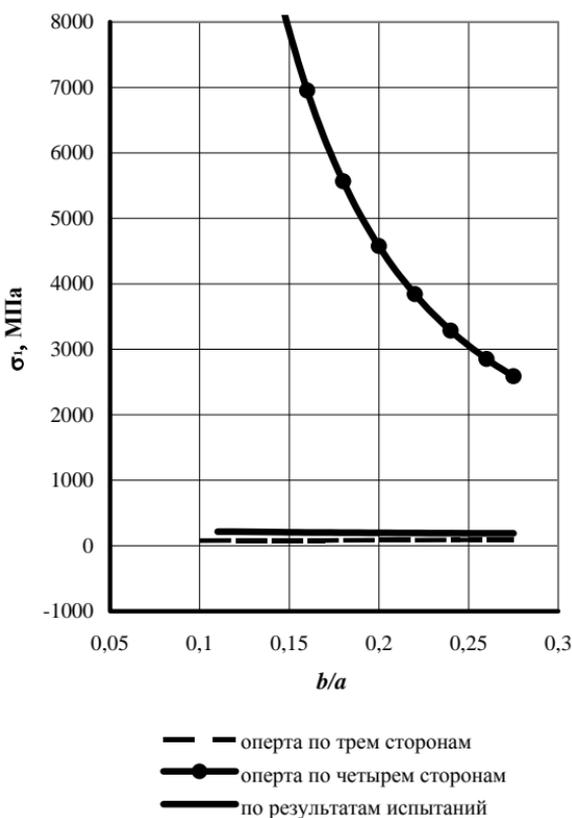


Рис. 2. Критические напряжения в сжато-изгибаемой пластинке

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прочность, устойчивость, колебания [Текст] : справ. : в 3-х т. Т. 3 / под ред. И.А. Биргера. М. : Машиностроение, 1968. 567 с.
2. Тимошенко, С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек [Текст] / С.П. Тимошенко. М. : Наука, 1971. 808 с.

## **СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА**

УДК 624. 072. 2. / 7: 539. 413

**Г.И. Беликов, А.А. Тарасов**

### **НЕКЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИЗГИБА КОМПОЗИТНЫХ БАЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ**

Более строго по сравнению с классической технической теорией изгиба Бернулли и Эйлера, теорией С.П. Тимошенко и ее различными модификациями, учитывающими влияние деформаций, связанных с поперечными силами, представлена теория изгибного поведения балочных элементов конструкций в линейной постановке.

Теоретически обоснованно учитываются поперечная деформация сдвига, неклассическое осевое напряжение и поперечное нормальное напряжение. Показано, что учет вышеназванных факторов, имеющих один порядок, важен при исследовании напряжений и деформаций композитных балочных элементов конструкций под действием распределенных нагрузок.

The article presents a stricter (comparing to classic technical theory of bending by Bernoulli and Euler and the theory by S.P. Timoshenko) theory of bending behavior of beam elements in linear formulation.

The theory takes into consideration shift lateral deformation, non-classic axial stress and transversal normal stress. It is shown that considering all the above mentioned factors is important for studying composite beam elements stress and deformation under distributed load.

*Основы уточненной теории на базе плоского напряженного состояния.*  
Теория применяется к прямолинейным стержням с тонким прямоугольным сечением. В работе описаны некоторые особенности изгибного поведения стержней, дается точное решение, отличное от теории упругости для изотропных материалов, проводится анализ полученных результатов.

Общая теория строится на основе исходных уравнений, соотношений (9)—(16) и следующих допущений:

продольный модуль упругости намного больше модуля упругости в поперечном направлении и модуля сдвига;

продольные нормальные напряжения зависят от координат  $x$  и  $z$ ;

нормальным напряжением на площадках, параллельных срединной поверхности балки пренебрегать нельзя, и оно определяется из уравнения Навье; касательные напряжения описываются по теории Бернулли.

Балочный элемент с положительными направлениями продольных усилий, поперечных сил и изгибающих моментов показан на рис. 1.

Срединная поверхность балки отнесена к системе ортогональных координат  $x, z$ .

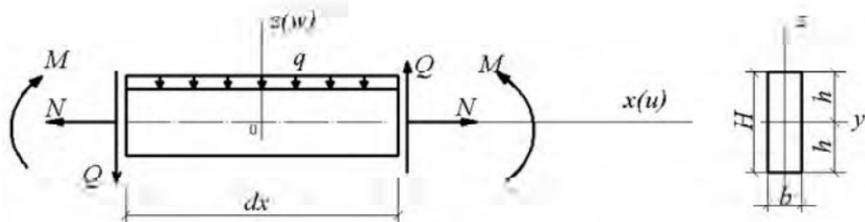


Рис. 1

Уравнения статического равновесия имеют вид:

$$\frac{\partial N}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial Q}{\partial x} = q; \quad \frac{\partial M}{\partial x} = -Q. \quad (1)$$

Согласно теории поперечного изгиба напряженное состояние стержня определяется напряжениями:

$$\sigma_{xx} = N/A - M \cdot z/J; \quad (2)$$

$$\tau_{zx} = Q \cdot (h^2 - z^2)/2J; \quad (3)$$

$$\sigma_{zz} = \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{1}{2J} \cdot \left( \frac{z^3}{3} - h^2 z + \frac{2}{3} h^3 \right), \quad (4)$$

где  $A = b \cdot 2h$  — площадь поперечного сечения;  $J = b \cdot (2h)^3/12$  — главный момент инерции сечения.

При тонком прямоугольном поперечном сечении  $b = 1$  и  $J = 2h^3/3$ .

Таким образом, бесконечно малый элемент в плоскости  $xoz$  в случае поперечного изгиба находится в условиях двухосного напряженного состояния (рис. 2).

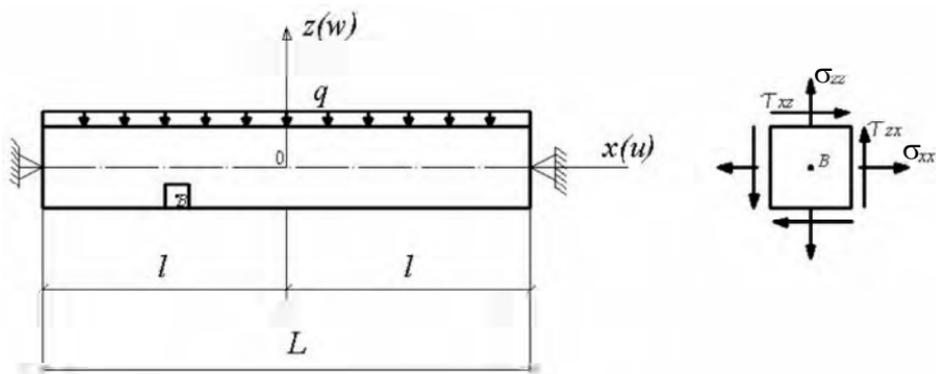


Рис. 2

Из условий статической эквивалентности получим следующие формулы

$$N = b \int_{-h}^h \sigma_{xx} dx; \quad (5)$$

$$M = -b \int_{-h}^h \sigma_{xx} \cdot z \cdot dz; \quad (6)$$

$$Q = b \int_{-h}^h \tau_{zx} dx. \quad (7)$$

В отличие от чистого изгиба при плоском напряженном состоянии сечения балки не остаются плоскими, на участках, где действует распределенная нагрузка и в местах приложения сосредоточенных сил, возникают нормальные напряжения  $\sigma_{zz}$ , действующие в продольных сечениях.

Влияние искажений поперечных сечений на величину нормальных напряжений согласно классической теории незначительно, если  $H/L \leq 1/5$ ; где  $L = 2l$  — общая длина балки и  $H = 2h$  — высота поперечного сечения.

Классическая теория Бернулли — Эйлера пренебрегает поперечным нормальным напряжением  $\sigma_{zz}$  и поперечной деформацией сдвига. Теория С.П. Тимошенко учитывает поперечные деформации сдвига, но не учитывает поперечное нормальное напряжение  $\sigma_{zz}$ .

В рассматриваемом подходе развитие теории выполняется путем полного отказа от гипотез Бернулли — Эйлера.

Приведем полную систему уравнений теории упругости в декартовой системе координат для плоского напряженного состояния.

*Уравнения равновесия Навье без учета объемных сил:*

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} = 0; \quad (8)$$

$$\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial x} = 0. \quad (9)$$

*Соотношения Коши:*

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad (10)$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z}; \quad (11)$$

$$\gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}. \quad (12)$$

*Закон Гука.* Для ортотропной балки тонкого прямоугольного сечения закон Гука для плоского напряженного состояния имеет вид:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{1}{E_{11}} (\sigma_{xx} - \nu_{13} \sigma_{zz}); \quad (13)$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\sigma_{zz}}{E_{33}} - \frac{\nu_{13}}{E_{13}} \sigma_{xx}; \quad (14)$$

$$\gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G_{13}}. \quad (15)$$

Поле перемещений определим по точным напряжениям, которые в классической теории игнорируются.

Получим выражение поперечного компонента перемещения, используя уравнения (2), (4), (11) и (14).

$$w(x, z) = W(x) - \frac{\nu_{13}}{E_{11}} \left( \frac{N}{A} z - \frac{M}{J} z^2 \right) + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{1}{2E_{33}J} \cdot \left( \frac{z^4}{12} - \frac{h^2 z^2}{2} + \frac{2}{3} \cdot h^3 z \right), \quad (16)$$

где  $W(x)$  — функция прогиба балки ( $z = 0$ ), аналитическое выражение которого будет определено.

Используя уравнения (3), (15), (12), выразим осевую компоненту перемещения.

$$u(x, z) = U(x) - z \cdot W'(x) + \frac{Q}{G_{13}2J} \left( h^2 z - \frac{z^3}{3} \right) + \frac{\nu_{13}Q}{E_{11}J} \cdot \frac{z^3}{6} \cdot Q - \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \cdot \frac{1}{2E_{33}J} \cdot \left( \frac{z^5}{60} - \frac{h^2 z^3}{5} + \frac{h^3 \cdot z^2}{3} \right) + \frac{\nu_{13} \cdot z^2}{2EA} \cdot \frac{\partial N}{\partial x}, \quad (17)$$

где  $U(x, 0)$  — функция осевого перемещения балки ( $z = 0$ ), аналитическое уравнение которой будет определено,  $W'(x, 0) = \frac{\partial W}{\partial x}$ .

При малой интенсивности изменения распределенной нагрузки  $q$  производными высшего порядка поперечной силы можно пренебречь.

Далее, используя уравнения (2), (14) и (16), получим уточненное выражение самого большого осевого напряжения.

$$\sigma_{xx} = E_{11} \frac{\partial u}{\partial x} + \nu_{13} \cdot \sigma_{zz} = E_{11} \left[ \frac{\partial U}{\partial x} - z \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{1}{E_{11}J} \cdot \frac{z^3}{6} \right] + \frac{\nu_{13}}{2J} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} \left( \frac{z^3}{3} - h^2 z + \frac{2}{3} h^3 \right). \quad (18)$$

Используя (5), (6) и (18), получим выражения для продольного усилия и изгибающего момента:

$$N = \left( E_{11} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\nu_{13} \cdot h^3}{3 \cdot J} \frac{\partial Q}{\partial x} \right) A; \quad (19)$$

$$M = E_{11} J \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - \left[ \frac{4}{5} \left( \frac{E_{11}}{2G_{13}} - \nu_{13} \right) + \frac{\nu_{13}}{2} \right] h^2 \frac{\partial Q}{\partial x}. \quad (20)$$

Выражение (18) можно упростить до вида

$$\sigma_{xx} = \frac{N}{A} - \frac{M}{J} z + \frac{1}{3J} \left( \frac{E_{11}}{2G_{13}} - \nu_{13} \right) \cdot \left( \frac{3h^2 z}{5} - z^3 \right) \frac{\partial Q}{\partial x}. \quad (21)$$

Здесь подчеркнутая часть — неклассический вклад осевого напряжения.

В процессе решения задач можно оценить индивидуальные вклады компонентов напряженно-деформированного состояния и дать оценку теориям Бернулли — Эйлера и Тимошенко. Следует отметить, что если в уравнениях (16) и (17) принять  $v_{13} \rightarrow 0$ ,  $E_{33} \rightarrow \infty$  и  $G_{13} \rightarrow \infty$ , то получим выражение для перемещений по гипотезе Бернулли — Эйлера. Можно получить теорию, основанную на учете поперечного сдвига, если принять в уравнениях  $v_{13} \rightarrow 0$ ,  $E_{33} \rightarrow \infty$ .

*Резюме.* Получена полная система уравнений, описывающая напряженно-деформированное состояние композитных балочных элементов конструкций (8), (9), (16), (17) и (20), (21). Данная система уравнений позволяет решать задачи на растяжение и изгиб отдельно.

*Моделирование граничных условий.* Для постановки граничных условий введем угол поворота поперечного сечения в двух вариантах.

1. Угол поворота поперечного сечения по оси балки ( $z = 0$ ).

$$\varphi_1 = \frac{\partial u(x, 0)}{\partial z} = \frac{Qh^2}{2G_{13}J} - \frac{\partial W}{\partial x}. \quad (22)$$

2. Средний угол поворота поперечного сечения

$$\varphi_2 = \frac{1}{2h} \int_{-h}^{+h} u'_z dz = \frac{Qh^2}{3JE_{11}} \left( \frac{E_{11}}{G_{13}} + \frac{v_{13}}{2} \right) - \frac{\partial W}{\partial x}. \quad (23)$$

*Расчет композитных балочных элементов конструкций.* Ниже представлены решения статически определимой балки на изгиб (см. рис.2) при действии распределенной нагрузки постоянной интенсивности  $q$ , приложенной к верхней поверхности.

Решения получены для трансверсально-изотропной однослойной балки, когда в каждой точке ее плоскость изотропии параллельно срединной поверхности. Коэффициент Пуассона везде принимался равным 0,3, а отношение типа  $E_{11}/G_{13} = 30$ , что типично для современного композита.

Следует отметить, что распределение уточненных нормальных напряжений по высоте сечения нелинейно.

$$\sigma_{xx} = \underbrace{v \frac{h^3}{3J} q - \frac{q}{2J} (l^2 - x^2) z + \frac{q}{2J} \left( \frac{E_{11}}{2G_{13}} - v_{13} \right) \cdot \left( \frac{2h^2 z}{5} - \frac{2}{3} z^3 \right)}_{\text{неклассический вклад}}. \quad (24)$$

Подчеркнутая часть является неклассическим вкладом в нормальное напряжение.

Максимальное напряжение возникает в сечении  $x = 0$  на уровне  $z = -h$ .

Выражение для уточненного поперечного компонента перемещения  $w(x, z)$  представляется в виде:

$$w(x, z) = -\frac{5}{24} \frac{ql^4}{E_{11}J} + \frac{1}{E_{11}J} \left( \frac{ql^2}{4} x^2 - \frac{q}{24} x^4 \right) - \frac{v_{13}}{2E_{11}J} \left( \frac{q}{2} (l^2 - x^2) + \right. \\ \left. + qh^2 z \left( \frac{4}{5} \left( \frac{E_{11}}{2G_{13}} - v_{13} \right) + \frac{v_{13}}{2} \right) \right) + \frac{q}{2E_{33}J} \cdot \left( \frac{z^4}{12} - \frac{h^2 z^2}{2} + \frac{2}{3} \cdot h^3 z \right). \quad (25)$$

Максимальный прогиб определяется по формуле

$$w(x, z) = -\frac{5}{24} \frac{ql^4}{EJ} \left[ 1,36 + 0,144 \frac{h^3}{l^3} + 8,748 \frac{h^2}{l^2} \right]. \quad (26)$$

В таблице приведены отношения максимальных нормальных напряжений и максимальных прогибов в сечении  $x = 0$ , вычисленных по предлагаемой теории и по теории Бернулли. Расчеты показали, что вклад подчеркнутых компонентов в выражении (25) невелик.

$\frac{E}{G}$	$\frac{l}{h}$	$\sigma(\text{Н.Т})/\sigma(\text{Б.Т})$	$w(\text{Н.Т})/w(\text{Б.Т})$
30	6	1,79	1,12
	8	1,39	1,22
	10	1,30	1,27
	12	1,20	1,30

*Резюме.* Для плоского поперечного изгиба получена новая система уравнений, позволяющая более точно учесть поперечную деформацию, деформацию с учетом сдвига и депланацию сечения. Более строгая теория существенно уточняет теорию деформаций стержней Бернулли — Эйлера и Тимошенко и позволяет получить информацию, которую не отмечают другие технические теории

Результаты расчетов, представленных в таблице, указывают на важность учета вышеназванных факторов при исследовании композитных балочных элементов и сетчатых пластин и оболочек [3—6].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Rehfield, L.W.* and Murthy P.L.N. Toward a Engineering Theory of Bending. AFOSR Tech. Rept. number to be assigned, Jan. 1981.
2. *Rehfield, L.W.* and Murthy P.L.N. Toward a Engineering Theory of Bending : Fundamentals. AIAA Journal. Vol. 20. No. 4. 1982. P. 693—699.
3. *Pshenichnov G.I.* A theory of elastic latticed shells made of composite materials // Spat. Struct. Turn Millennium : proc. IASS Symp, Copenhagen, 2—6 Sept., 1991. Vol. 3. Copenhagen, 1991. P. 131—134.
4. Композиционные материалы : справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др. ; под общ. ред. В.В. Васильева и Ю.М. Тарнополского. М. : Машиностроение, 1990. 512 с.
5. *Беликов Г.И.* Статика, динамика и устойчивость сетчатых и подкрепленных оболочек с учетом поперечного сдвига / ВолгГАСА. Волгоград, 2003. 298 с.
6. *Беликов Г.И.* Основы нелинейной теории упругих сетчатых оболочек из композиционных материалов / Г.И. Беликов, В.В. Кондрашов, А.А. Тарасов // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов : материалы IV Междунар. науч.-техн. конференции. Волгоград : ВолгГАСУ, 2005. Ч II. С. 17—21.

УДК 539.3

Ю.В. Клочков, А.Ш. Джабраилов

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕТВЯЩИХСЯ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Приведен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния ветвящихся оболочек вращения на основе МКЭ. Рассматривается два варианта вектора узловых варьируемых параметров. Разработаны корректные кинематические и статические условия сопряжения оболочек в узле ветвления меридиана. Представлен пример расчета оболочечной конструкции, состоящей из цилиндра с двумя примыкающими к нему конусами, позволяющий сделать вывод о предпочтительности использования конечного элемента с наибольшим числом узловых неизвестных.

In article putting the comparative analysis stressedly-deformed condition of the shell with tree-like meridian. Examine two variant of vector central modify parameters. Introduction example of calculation construction consists of the cylinder and two cones.

В современной печати существует большое количество работ, посвященных применению метода конечных элементов к расчету различного рода конструкций, в том числе оболочек. Оболочки вращения широко используются во многих отраслях промышленности, машиностроения и нефтехимии. Особый интерес вызывают оболочечные конструкции с резкими изменениями геометрии, в частности, оболочки вращения с ветвящимся меридианом, которым и посвящена данная работа.

При анализе напряженно-деформированного состояния (НДС) такого рода конструкций особое внимание необходимо уделять узлу ветвления меридиана, так как в этой зоне наблюдаются значительные концентрации напряжений.

В предлагаемой работе на основе метода конечных элементов производится сравнение эффективности использования различных вариантов набора узловых варьируемых параметров в расчетах ветвящихся оболочек вращения.

В качестве элемента дискретизации использовался фрагмент оболочки с узлами  $i$  и  $j$ , ограниченный двумя параллельными плоскостями, перпендикулярными оси вращения.

Столбец узловых варьируемых параметров конечного элемента в локальной системе координат  $\eta$  ( $-1 \leq \eta \leq 1$ ) выбирался в двух вариантах, которые различались между собой количеством степеней свободы в узле

$$\left\{ U_{1y}^{\text{л}} \right\}_{1 \times 8}^T = \left\{ \left\{ u^i u^j u_{,\eta}^i u_{,\eta}^j \right\}_{1 \times 4} \left\{ w^i w^j w_{,\eta}^i w_{,\eta}^j \right\}_{1 \times 4} \right\}; \quad (1)$$

$$\left\{ U_{2y}^{\text{л}} \right\}_{1 \times 12}^T = \left\{ \left\{ u^i u^j u_{,\eta}^i u_{,\eta}^j u_{,\eta\eta}^i u_{,\eta\eta}^j \right\}_{1 \times 6} \left\{ w^i w^j w_{,\eta}^i w_{,\eta}^j w_{,\eta\eta}^i w_{,\eta\eta}^j \right\}_{1 \times 6} \right\}, \quad (2)$$

где  $u$  и  $w$  — меридиональная и нормальная компоненты вектора перемещения соответственно, а запятая обозначает операцию дифференцирования.

Глобальная координата  $S$  ( $S$  — длина дуги меридиана) выражается через локальную координату  $\eta$  следующей формулой

$$S = \frac{S^i(1-\eta)}{2} + \frac{S^j(1+\eta)}{2}. \quad (3)$$

Компоненты вектора перемещения внутренней точки конечного элемента интерполируются через свои узловые значения повариантно следующими соотношениями:

$$q_1 = \left\{ \Phi \right\}_{1 \times 4}^T \left\{ q_{1y}^n \right\}_{4 \times 1}; \quad q_2 = \left\{ \Psi \right\}_{1 \times 6}^T \left\{ q_{2y}^n \right\}_{6 \times 1}, \quad (4)$$

где под  $q$  понимается компонента вектора перемещения  $u$  или  $w$ ; цифры 1, 2 указывают на номер варианта столбца узловых неизвестных.

Входящие в (4) матрицы-строки  $\{\Phi\}^T$  и  $\{\Psi\}^T$  содержат полиномы Эрмита третьей и пятой степеней соответственно.

*Условия сопряжения  $n$  оболочек.* Для вывода условий сопряжения  $n$  оболочек столбец узловых варьируемых параметров одной из них (например,  $i$ -й) в узле соединения принимается за основной. Компоненты векторов перемещений и их производные остальных  $(n-1)$  оболочек в узле сопряжения выражаются через соответствующие компоненты основного столбца узловых неизвестных, исходя из кинематических и статических условий сопряжения.

В первом варианте для получения искомым зависимостей используются два кинематических условия сопряжения, одним из которых является инвариантность вектора перемещения узла сопряжения оболочек

$$\bar{x}^{(1)} = \bar{x}^{(2)} = \dots = \bar{x}^{(i)} = \dots = \bar{x}^{(n)}, \quad (5)$$

где верхние индексы 1, 2, ...,  $n$  обозначают номер сопрягаемой оболочки.

Вторым кинематическим условием сопряжения является предположение о том, что углы поворота нормалей в узле сопряжения в процессе деформирования остаются равными для всех оболочек

$$\frac{\partial \bar{v}^{(i)}}{\partial S^{(i)}} \cdot \bar{n}^{(i)} = - \frac{\partial \bar{v}}{\partial S_V^{(k)}} \cdot \bar{n}^{(k)}, \quad (6)$$

где  $\bar{n}^{(i)}$  и  $\bar{n}^{(k)}$  — орты нормалей к срединным поверхностям  $i$ -й и  $k$ -й оболочек в узле соединения  $n$  оболочек.

Из равенств (5) можно выразить меридиональные  $u^{(k)}$  и нормальные  $w^{(k)}$  компоненты векторов перемещений  $(n-1)$  сопрягаемых оболочек через меридиональную  $u^{(i)}$  и нормальную  $w^{(i)}$  компоненты вектора перемещения основной  $i$ -й оболочки.

Используя соотношения (6), можно получить выражения для первых производных нормальных компонент  $w_S^{(k)}$  векторов перемещения  $(n-1)$  оболочек через столбец узловых неизвестных основной  $i$ -й оболочки.

При использовании второго варианта столбца узловых варьируемых параметров дополнительно привлекается статическое условие равновесия, которое заключается в следующем: в незагруженном узле соединения  $n$  оболочек должно выполняться равенство нулю суммы моментов

$$\bar{M}^{(1)} + \bar{M}^{(2)} + \dots + \bar{M}^{(i)} + \dots + \bar{M}^{(n)} = 0. \quad (7)$$

Из соотношения (7) можно выразить вторую производную нормальной компоненты вектора перемещения  $k$ -й оболочки  $w_{SS}^{(k)}$  через столбец узловых неизвестных основной  $i$ -й оболочки и вторые производные нормальных компонент векторов перемещений остальных  $(n-2)$  сопрягаемых оболочек, которые принимаются свободно варьируемыми.

На основании вышеприведенных условий (5)—(7) сопряжения  $n$  оболочек формируется матричное соотношение

$$\left\{ U_y^{(k)} \right\} = [P_R] \left\{ U_y^s \right\}, \quad (8)$$

где  $\left\{ U_y^{(k)} \right\}$  — столбец узловых неизвестных  $k$ -й оболочки;  $\left\{ U_y^s \right\}$  — столбец узловых варьируемых параметров основной оболочки;  $[P_R]$  — матрица преобразования, размер которой зависит от варианта набора узловых неизвестных и количества сопрягаемых оболочек. Так, например, размер матрицы  $[P_R]$  в первом варианте равен  $8 \times 9$ , а во втором —  $12 \times 17$ .

При реализации конечно-элементной процедуры матрицы жесткостей и столбцы узловых нагрузок элементов оболочек, примыкающих к узлу ветвления меридиана (за исключением основной оболочки) умножаются на матрицу преобразований, в структуру которой входит матрица  $[P_R]$ .

*Пример расчета.* В качестве примера была рассчитана конструкция, состоящая из цилиндра и двух примыкающих конусов (рис.). Исходные данные имели следующие значения: внутреннее давление в цилиндре  $q = 5 \text{ МПа}$ ; в конусах  $0,5q$ ; модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ; толщина оболочки  $t = 0,01 \text{ м}$ ; длина цилиндра  $L_1 = 0,6 \text{ м}$ ; радиус цилиндра  $R_2 = 0,8 \text{ м}$ ; длина образующей внутреннего конуса  $L_2 = 1,1 \text{ м}$ ; длина образующей наружного конуса  $L_3 = 0,6 \text{ м}$ ; углы между образующими наружного и внутреннего конуса и осью симметрии соответственно  $\beta = 30^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$ .

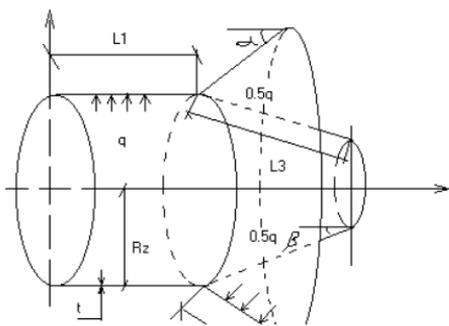


Рис. 1

Расчеты были выполнены в двух вариантах: в первом варианте в качестве элемента дискретизации использовался конечный элемент с набором узловых варьируемых параметров (1); а во втором варианте столбец узловых неизвестных выбирался в виде (2).

Результаты расчета представлены в табл. 1 и 2, в которых при различном числе элементов дискретизации  $n$ , каждой из трех сопрягаемых оболочек

приведены значения меридиональных напряжений на срединной поверхности,

а также во внутренних и во внешних волокнах оболочки в узле ветвления меридиана. Из условия равновесия было вычислено точное значение меридионального напряжения на срединной поверхности цилиндра в узле сопряжения оболочек  $\sigma_M^u = 10,86$  МПа. Сравнение результатов повариантного расчета показало, что во II варианте (со вторыми производными компонент вектора перемещения) значение  $\sigma_M^u$  приближается к точному решению уже при количестве конечных элементов, равном 8, тогда как в I варианте расчета — только при 32 элементах.

Т а б л и ц а 1

Напряжения в узле ветвления меридиана в первом варианте

Значение параметра	Число элементов дискретизации $n_z$				
	4	8	16	32	64
$\sigma^{внутр}$ , МПа	862,8	1232,2	1379,9	1421,4	1432,1
$\sigma^{внеш}$ , МПа	-795,1	-1197,9	-1355,8	-1389,4	-1410,4
$\sigma^{ср}$ , МПа	33,8	17,1	12,0	11,04	10,8

Т а б л и ц а 2

Напряжения в узле ветвления меридиана во втором варианте

Значение параметра	Число элементов дискретизации $n_z$		
	4	8	16
$\sigma^{внутр}$ , МПа	1421,3	1438,1	1436,5
$\sigma^{внеш}$ , МПа	-13975,6	-14164,2	-1414,8
$\sigma^{ср}$ , МПа	11,9	10,8	10,8

В табл. 3 приведены значения изгибающих моментов в узле сопряжения оболочек со стороны цилиндра и со стороны внутреннего и внешнего конусов при втором варианте вектора узловых неизвестных. Анализ данных результатов говорит о выполнении условия статики, то есть равенстве нулю суммы моментов в узле ветвления меридиана.

Т а б л и ц а 3

*Изгибающие моменты в узле сопряжения оболочек*

Значение параметра	Количество элементов дискретизации $n_z$		
	4	8	16
$M_{пр}^u$ , кН	-23,4	-23,7	-23,7
$M_{обр}^{внутр.кон}$ , кН	-10,8	-11,3	-11,3
$M_{обр}^{внеш.кон}$ , кН	-12,6	-12,4	-12,4

На основании выполненных исследований можно сделать вывод о том, что при анализе напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций в зоне ветвления меридиана наиболее предпочтительным следует считать использование конечного элемента с набором узловых варьируемых параметров в виде (2), включающим компоненты вектора перемещения, а также их первые и вторые производные. Данный тип элементов значительно повышает точность конечно-элементных решений по сравнению с элементом, столбец узловых варьируемых параметров которого содержит компоненты вектора перемещения и только их первые производные по локальной координате.

УДК 624.072.2:539.214

А.В. Старов

## МЕТОД РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ ЖЕСТКОПЛАСТИЧЕСКОГО ИЗГИБА КРУГЛЫХ ПЛАСТИНОК НА ОСНОВЕ УСЛОВИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ МИЗЕСА

Предложен метод решения нелинейных краевых задач пластического изгиба круглых пластинок с шарнирным опиранием и жестким защемлением края в геометрически линейной постановке на основе условия пластичности Мизеса.

The method of a solution of non-linear boundary value problems of plastic curving circular plates with hinged support and rigid pinching of edge in geometrically linear statement on the basis of a condition of plasticity Mises is offered.

Уравнения равновесия круглых пластинок в безразмерных координатах и переменных имеют вид

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{d}{d\rho} (\rho Q) - P(\rho) = 0; \quad \rho Q = m_2 - \frac{d}{d\rho} (\rho m_1), \quad (1)$$

где  $\rho = \bar{\rho} / \rho_0$  — радиус-вектор произвольной точки срединной плоскости пластинки;  $Q = \bar{Q} \cdot \rho_0 / \sigma_S \cdot h^2$  — поперечная сила;  $\rho_0$  — радиус пластинки;  $m_i = \bar{M}_i / \sigma_S \cdot h^2$  — изгибающие моменты в радиальном и окружном направлениях;  $P = \bar{P} \cdot \rho_0^2 / \sigma_S \cdot h^2$  — параметр нагрузки;  $2h$  — толщина пластинки;  $\sigma_S$  — предел текучести материала;  $i = 1, 2$  — индексы, соответствующие радиальному и окружному направлениям. Горизонтальная черта указывает на размерность соответствующей величины.

Граничные условия:

$$m_1(0) = m_2(0) = 1, \quad Q(0) = 0;$$

$$m_1(1) = 0, \quad m_2(1) = 1 \quad \text{— для шарнирного опирания края;}$$

$$m_1(1) = -1, \quad m_2(1) = 0 \quad \text{— для жесткой заделки.}$$

Условие пластичности Мизеса [1, 2]

$$m_1^2 - m_1 \cdot m_2 + m_2^2 = 1 \quad (2)$$

и соотношение ассоциированного закона течения [1, 2]

$$\frac{d^2 \dot{W}}{d\rho^2} = \frac{2 \cdot m_1 - m_2}{2 \cdot m_2 - m_1} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d \dot{W}}{d\rho} \quad (3)$$

позволяют получить численное решение поставленной задачи, связанное с необходимостью интегрировать систему нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (1) для определения поля изгибающих моментов и предельной статической нагрузки. Для определения поля скоростей переме-

щений необходимо численно интегрировать нелинейное уравнение (3), если известно поле изгибающих моментов.

Идея получить решение задачи на основе аппроксимации изгибающих моментов алгебраическими полиномами появилась в процессе разработки метода решения подобной задачи в геометрически нелинейной подстановке.

Из уравнений (1) следует:

$$\frac{dm_1}{d\rho} = \frac{m_2 - m_1}{\rho} - \frac{1}{\rho} \int_0^\rho P(\rho) \rho d\rho; \quad (4)$$

$$\frac{d^2 m_1}{d\rho^2} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dm_2}{d\rho} - 2 \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dm_1}{d\rho} - P(\rho). \quad (5)$$

Дифференцируя соотношение (2) по пространственной координате, получим

$$\frac{dm_2}{d\rho} = \frac{dm_1}{d\rho} \cdot \frac{2 \cdot m_1 - m_2}{m_1 - 2 \cdot m_2}. \quad (6)$$

Тогда соотношение (5) примет вид

$$\frac{d^2 m_1}{d\rho^2} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dm_1}{d\rho} \left[ \frac{2 \cdot m_1 - m_2}{m_1 - 2 \cdot m_2} - 2 \right] - P(\rho). \quad (7)$$

Найдем значения производных в начале координат

$$\frac{dm_1}{d\rho}(0) = \frac{m_2 - m_1}{\rho}(0) = \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{m_2 - m_1}{\rho}.$$

Раскрывая неопределенность по правилу Лопиталья, получим:

$$\frac{dm_1}{d\rho}(0) = \frac{\frac{dm_2}{d\rho} - \frac{dm_1}{d\rho}}{1}(0) = -2 \cdot \frac{dm_1}{d\rho}(0) = 0;$$

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dm_1}{d\rho} = \frac{m_2 - m_1}{\rho^2} - \frac{1}{\rho^2} \cdot \int_0^\rho P(\rho) \rho d\rho;$$

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dm_1}{d\rho}(0) = \frac{m_2 - m_1}{\rho^2}(0) - \frac{1}{\rho^2} \cdot \int_0^\rho P(\rho) \rho d\rho(0);$$

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dm_1}{d\rho}(0) = \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{m_2 - m_1}{\rho^2} - \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{1}{\rho^2} \int_0^\rho P(\rho) \rho d\rho;$$

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dm_1}{d\rho}(0) = \frac{\frac{dm_2}{d\rho} - \frac{dm_1}{d\rho}}{2 \cdot \rho}(0) - \frac{P(0)\rho}{2 \cdot \rho} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dm_1}{d\rho}(0) - \frac{P(0)}{2},$$

или окончательно

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dm_1}{d\rho}(0) = -\frac{P(0)}{4}.$$

Из соотношений (5) получим

$$\frac{d^2 m_1}{d\rho^2}(0) = -\frac{P(0)}{4}.$$

Производные на опоре зависят от типа опорного закрепления.

1. Шарнирное опирание:

$$\frac{dm_1}{d\rho}(1) = 1 - \int_0^1 P(\rho)\rho d\rho; \quad \frac{d^2 m_1}{d\rho^2}(1) = -1,5 \cdot \frac{dm_1}{d\rho}(1) - P(1).$$

2. Заделка:

$$\frac{dm_1}{d\rho}(1) = 1 - \int_0^1 P(\rho)\rho d\rho; \quad \frac{d^2 m_1}{d\rho^2}(1) = \frac{dm_1}{d\rho}(1) \cdot (0) - P(1) = -P(1).$$

Анализ третьей и четвертой производных показывает, что в начале координат

$$\frac{d^3 m_1}{d\rho^3}(0) = 0; \quad \frac{d^4 m_1}{d\rho^4} = -3 \left\{ \frac{d^2 m_1}{d\rho^2}(0) \right\}^2.$$

Соответствующие выкладки из-за громоздкости не приводятся.

Таким образом, известна функция радиального момента, первые и вторые производные в начале и конце координат. Можно предположить, что все нечетные производные в начале координат равны нулю.

Радиальный изгибающий момент можно аппроксимировать в виде полинома по четным степеням  $\rho$ :

$$m_1 = 1 + A \cdot \rho^2 + B \cdot \rho^4 + C \cdot \rho^6 + D \cdot \rho^8; \quad (8)$$

$$\frac{dm_1}{d\rho} = 2 \cdot A \cdot \rho + 4 \cdot B \cdot \rho^3 + 6 \cdot C \cdot \rho^5 + 8 \cdot D \cdot \rho^7; \quad (9)$$

$$\frac{d^2 m_1}{d\rho^2} = 2 \cdot A + 12 \cdot B \cdot \rho^2 + 30 \cdot C \cdot \rho^4 + 56 \cdot D \cdot \rho^6. \quad (10)$$

Окружной изгибающий момент определяется из (4):

$$m_2 = m_1 + \rho \frac{dm_1}{d\rho} + \int_0^\rho P(\rho)\rho d\rho; \quad (11)$$

$$m_2 = 1 + 3 \cdot A \cdot \rho^2 + 5 \cdot B \cdot \rho^4 + 7 \cdot C \cdot \rho^6 + 9 \cdot D \cdot \rho^8 + \int_0^\rho P(\rho)\rho d\rho. \quad (12)$$

Для определения коэффициентов ряда составляем систему линейных алгебраических уравнений (8, 9, 10). Рассмотрим частный случай  $P(\rho) = \text{const} = P$ .

### 1. Шарнирное опирание края:

$$m_1(0) = 1;$$

$$m_1(1) = 0;$$

$$\frac{dm_1}{d\rho}(0) = 0;$$

$$\frac{dm_1}{d\rho}(1) = 1 - \frac{P}{2};$$

$$\frac{d^2m_1}{d\rho^2}(0) = -\frac{P}{4};$$

$$\frac{d^2m_1}{d\rho^2}(1) = -\frac{3}{2} - \frac{P}{4}.$$

Система уравнений:

$$\begin{cases} 1 + A + B + C + D = 0; \\ 2 \cdot A + 4 \cdot B + 6 \cdot C + 8 \cdot D = 1 - P/2; \\ 2 \cdot A + 12 \cdot B + 30 \cdot C + 56 \cdot D = -3/2 - P/4; \\ 2 \cdot A = -P/4. \end{cases}$$

Решение:

$$\begin{aligned} A &= -0,125 \cdot P; \\ B &= 1,15625 \cdot P - 7,8125; \\ C &= 11,125 - 1,6875 \cdot P; \\ D &= 0,65625 \cdot P - 4,3125. \end{aligned}$$

### 2. Жесткое защемление:

$$m_1(0) = 1;$$

$$m_1(1) = -1;$$

$$\frac{dm_1}{d\rho}(0) = 0;$$

$$\frac{dm_1}{d\rho}(1) = 1 - \frac{P}{2};$$

$$\frac{d^2m_1}{d\rho^2}(0) = -\frac{P}{4};$$

$$\frac{d^2m_1}{d\rho^2}(1) = -P.$$

Система уравнений:

$$\begin{cases} 1 + A + B + C + D = -1; \\ 2 \cdot A + 4 \cdot B + 6 \cdot C + 8 \cdot D = 1 - P/2; \\ 2 \cdot A + 12 \cdot B + 30 \cdot C + 56 \cdot D = -P; \\ 2 \cdot A = -P/4. \end{cases}$$

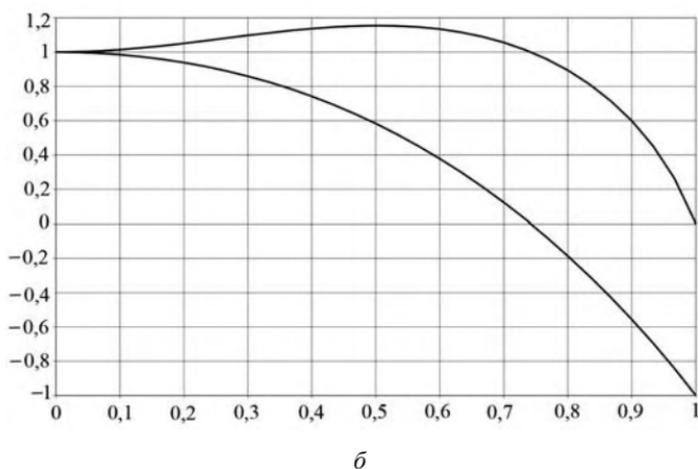
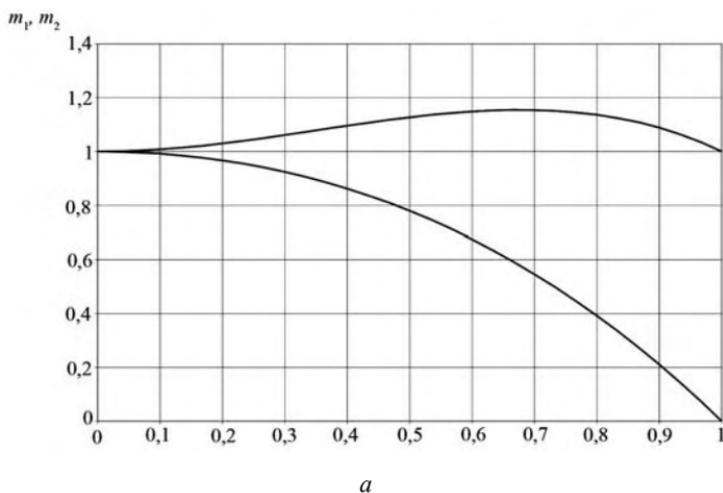
Решение:

$$\begin{aligned} A &= -0,125 \cdot P; \\ B &= 1,0625 \cdot P - 13,625; \\ C &= 18,75 - 1,5 \cdot P; \\ D &= 0,5625 \cdot P - 7,125. \end{aligned}$$

Подставляя (8) и (12) в условие пластичности (2) и табулируя значение функции  $F = m_1^2 - m_1 \cdot m_2 + m_2^2 - 1$  на отрезке  $0 \leq \rho \leq 1$  с шагом 0,01, определяем значение нагрузки  $P$ , при котором среднеквадратичное суммарное отклонение принимает минимальное значение.

Для пластинки с шарнирным опиранием края получено значение  $P = 6,51913$ , для заделки  $P = 11,8288$ .

На рисунке приведены эпюры радиального и окружного моментов  $m_1$  и  $m_2$  для пластинки с шарнирным опиранием (а) и жестким защемлением края (б).



Эпюры радиального и окружного изгибающих моментов для пластинки: *a* — с шарнирным опиранием края; *b* — с жестким защемлением края

Эпюры полностью совпадают (сливаются) с представленными в [2] и с численным решением подобных задач с учетом больших прогибов, полученным автором при  $W_0 = 0$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Качанов А.М. Основы теории пластичности. М. : Наука, 1969. 420 с.
2. Соколовский В.В. Теория пластичности. М. : Высшая школа, 1969. 608 с.

УДК 624.04

*Г.В. Воронкова, С.С. Рекунов***ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПЛАСТИНОК  
ПО МЕТОДУ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СМЕШАННОЙ ФОРМЕ**

Рассмотрен расчет пластинок по МКЭ в смешанной форме с применением нескольких видов конечных элементов. Составлены матрицы откликов для прямоугольного и треугольного (равностороннего, прямоугольного и с произвольными углами) элементов. Исследована зависимость результатов расчета от применения различных видов конечных элементов.

The authors consider the calculating plates with the help of the mixed form of the Finite Elements Method using several finite elements. Constructing the matrices of response for square and triangular elements. The authors researched the dependence of results of the calculating on the application several finite elements.

Одним из важнейших направлений развития современного проектирования в строительстве является разработка новых и совершенствование известных методов расчета конструкций и сооружений на основе математических моделей, максимально приближенных к их реальной работе. В настоящее время метод конечных элементов (МКЭ) стал доминирующим в инженерных расчетах, связанных с анализом прочности, жесткости, устойчивости и динамики строительных сооружений. Интерес к нему вызван, в первую очередь, возможностью создания на его базе различных прикладных программных комплексов. Это связано с тем, что в МКЭ заданную сложную систему можно разбить на отдельные компоненты различной геометрической конфигурации, детально исследовать их напряженно-деформированное состояние и с высокой степенью точности охарактеризовать поведение всей конструкции в целом.

Для большинства стержневых систем разработан и широко используется алгоритм расчета по МКЭ в форме метода перемещений, однако имеющиеся на сегодняшний день исследования говорят о том, что при расчете пластинок более удобной оказывается использование смешанной формы МКЭ.

Преимущества данной формы состоит в том, что при ее использовании возможно получение перемещений и усилий непосредственно из решения системы уравнений без дополнительных расчетов. Для этого в качестве основных неизвестных в каждом узле конечного элемента принимается одновременно прогиб и два изгибающих момента, действующие в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.

Рассмотрим прямоугольный элемент плиты. За неизвестные принимаем прогибы узловых точек и изгибающие моменты. Следовательно, для одного прямоугольного элемента будем иметь 12 элементов. При узловой нагрузке функцию прогибов конечного элемента  $z = w(x, y)$  примем в том же виде, что и при расчете по МКЭ в перемещениях, т.е. в виде неполного бикубического полинома с 12 произвольными параметрами:

$$z = w(x, y) = [\Phi_1(x, y)]\{\alpha\}, \quad (1)$$

где

$$[\Phi_1(x, y)] = [1 \ x \ y \ x^2 \ y^2 \ xy \ x^2y \ xy^2 \ x^3 \ y^3 \ x^3y \ xy^3],$$

$$\{\alpha\} = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \dots \ \alpha_{12}]^T.$$

Вектор кривизны срединной поверхности КЭ определяется выражением

$$\{k\} = [B]\{\alpha\}, \quad (2)$$

где  $[B] = \{\partial\}[\Phi_1(x, y)]$ .

Вектор усилий и вектор деформаций (моментов и кривизн в рассматриваемом случае) связаны зависимостью

$$\{N\} = \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = -[C]\{k\} = -[C][B]\{\alpha\}, \quad (3)$$

где  $[C]$  — матрица упругих свойств материала.

Процесс построения матрицы откликов конечного элемента остается, в принципе, таким же, как и при построении матрицы жесткости. Подробнее данный процесс рассмотрен в [1].

После вычисления матриц откликов составляем систему уравнений. Для этого реакции и углы поворота в одном узле для смежных элементов суммируются. Суммирование производится в блочной форме. При определении реакций в линейных связях распределенная нагрузка заменяется узловой.

Рассмотрим несколько типов треугольных конечных элементов: прямоугольный, равносторонний и с произвольными величинами углов. Порядок расчета для всех элементов одинаков.

Эти элементы содержат три узла, поэтому в них входят 9 неизвестных параметров.

Функцию прогибов треугольных конечных элементов принимаем в виде неполного бикубического полинома с 9 произвольными параметрами, тогда в выражении (1)

$$[\Phi_1(x, y)] = [1 \ x \ y \ x^2 \ y^2 \ x^2y \ xy^2 \ x^3 \ y^3],$$

$$\{\alpha\} = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \dots \ \alpha_9]^T.$$

Результатом расчета является матрица откликов, которая в блочной форме имеет следующий вид:

$$[D] = \begin{bmatrix} r & \bar{r} \\ \bar{\delta} & \delta \end{bmatrix}.$$

Для всех типов треугольных конечных элементов составляющие блока  $[r]$  равны нулю. Составляющие блока  $[\delta]$  находятся из выражений:

для прямоугольного треугольника

$$[\delta] = (A^{-1})^T \left[ \int_0^a \int_0^{(b-bx/a)} B^T \cdot C \cdot B \cdot dx dy \right] A^{-1};$$

для равностороннего треугольника

$$[\delta] = (A^{-1})^T \left[ \int_0^{\frac{a}{2}} \int_0^{\frac{x\sqrt{3}}{2}} B^T \cdot C \cdot B \cdot dx dy + \int_{\frac{a}{2}}^a \int_0^{\frac{\sqrt{3}}{2}(a-x)} B^T \cdot C \cdot B \cdot dx dy \right] A^{-1};$$

для треугольника с произвольными величинами углов

$$[\delta] = (A^{-1})^T \left[ \int_0^c \int_0^{\frac{bx}{c}} B^T \cdot C \cdot B \cdot dx dy + \int_c^a \int_0^{\frac{b(a-x)}{a-c}} B^T \cdot C \cdot B \cdot dx dy \right] A^{-1},$$

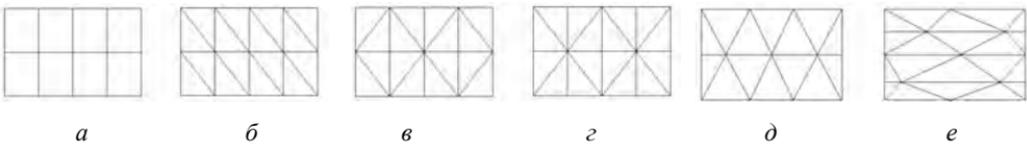
где  $a$  — длина стороны основания треугольника;  $b$  — высота треугольника к основанию;  $c$  — координата по оси  $X$  вершины треугольника.

Для получения элементов блоков  $[\bar{r}]$  и  $[\bar{\delta}]$  используем выражения

$$[\bar{r}] = \int_A [f_n]^T B^T C B A_c^{-1} dA,$$

$$[\bar{\delta}] = -[\bar{r}]^T.$$

На основе этого алгоритма была решена прямоугольная пластинка с размерами  $1,732 \times 3$  м при различной сетке разбиения (рис.). При этом материал, способ крепления и размеры пластины в рассматриваемых случаях одинаковы.



Эта же пластинка была рассчитана по формуле точного математического решения по справочнику [2]. Для прямоугольной пластинки, у которой все стороны свободно оперты и нагрузка равномерно распределена по всей площади,

$$y_{\max} = \alpha \frac{qb^4}{Eh^3}.$$

Результаты расчетов приведены в таблице.

Варианты разбиения	Рисунок						Точное решение
	а	б	в	г	д	е	
Величина прогиба, мм	378	383	368	391	393	395	416
$\Delta$ , %	9,1	7,9	11,5	6	5,5	5	—

Из таблицы видно, что наиболее близким к точному решению является разбиение треугольными конечными элементами произвольной формы (рис., *e*). Разбиение (рис., *в*) является наименее верным из-за выпадения из расчета крайних угловых конечных элементов, что приводит к изменению конфигурации пластины и, соответственно, ее приведенной жесткости.

Хотя на сегодняшний день смешанная форма метода конечных элементов является недостаточно изученной, имеющиеся полученные результаты показывают, что расчетная схема метода конечных элементов со смешанными неизвестными применима к любым типам элементов и будет носить неизменный характер на всех стадиях работы конструкции.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Игнатьев В.А.* Смешанная форма метода конечных элементов в задачах строительной механики / В.А. Игнатьев, А.В.Игнатьев ; ВолгГАСУ. Волгоград, 2005. 100 с.
2. *Варвак П.М.* Справочник по теории упругости / под редакцией П.М. Варвака и А.Ф. Рябова. Киев : Будівельник, 1971. 418 с.

© *Воронкова Г.В., Рекунов С.С., 2007*

УДК 624.072.1

**В.В. Кондрашов****АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ТЕОРИИ УПРУГИХ СЕТЧАТЫХ ПЛАСТИН  
НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОЙ И КONTИНУАЛЬНОЙ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ  
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ГУСТОТЕ СЕТКИ**

Приведен сравнительный анализ расчета плоской сетчатой регулярной структуры. В расчете принимались дискретная и континуальная расчетные модели. Использовались три подхода: метод обобщенных неизвестных, метод конечных элементов и теория сетчатых пластин на основе континуальной расчетной схемы. Сделаны выводы по результатам анализа расчетных моделей. Освещены предположения и выводы по численному эксперименту приведения распределенной поперечной нагрузки к сосредоточенной в узлы дискретной расчетной модели.

The comparative analysis of calculation of flat mesh regular structure is resulted. In calculation were accepted discrete and continued continued settlement models. Three approaches — a method of the generalized unknown persons, a method of final elements and the theory of mesh plates on the basis of continued the settlement scheme were used. Are drawn conclusions by results of the analysis of settlement models. Assumptions and conclusions on numerical experiment of reduction of the distributed cross-section loading to concentrated in units discrete are shined.

Сетчатые пластины, представляющие собой регулярные стержневые системы, т.е. системы с повторяющимися однотипными элементами, используются в различных областях современной техники и инженерной практике.

Исследования в области теории таких конструкций развиваются по одному из двух направлений: исследования, основанные на дискретной расчетной модели, и исследования, основанные на континуальной расчетной модели.

Целью данной статьи является сопоставление результатов расчета по двум указанным расчетным моделям.

В статье приводятся графики зависимостей результатов расчета шарнирно опертой пластины с прямоугольной сеткой различной густоты (рис. 1) на действие равномерно распределенной поперечной нагрузки, по трем теориям: теории регулярных стержневых систем В.А. Игнатъева [1] в форме метода обобщенных неизвестных (МОН) (дискретная расчетная схема); теории сетчатых пластин и оболочек (континуальная расчетная модель (КРМ)) Г.И. Пшеничникова [2], развитой Г.И. Беликовым в части учета поперечного сдвига [3]; по методу конечных элементов (МКЭ), т.е. с использованием модели, в которой за конечный элемент принимался стержень между узлами сетки.

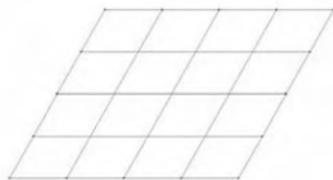


Рис. 1. Изометрическая проекция пластины с сеткой 4×4

Параметры пластины были следующими:  $q$  — нагрузка на  $1 \text{ м}^2$ ,  $\text{кН/м}^2$  (для КРМ);  $P$  — узловая нагрузка,  $\text{кН}$  (для МОН и МКЭ);  $l_1 = l_2 = l$  — расстояние между балками,  $\text{м}$ ;  $EI_1 = EI_2 = EI$  — изгибная жесткость балки,  $\text{кН} \times \text{см}^2$ ;  $GI_{p1} = GI_{p2} = 0,8 EI$  — жесткость балки на кручение,  $\text{кН} \times \text{см}^2$ .

На графиках для точки пластинки с координатами  $x = \frac{l}{2}$ ,  $y = \frac{b}{2}$  результаты вычислений безразмерных коэффициентов по определению величин из-

изгибающих моментов в стержнях  $M = P \cdot l$  и прогиба  $w = \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I}$  для МОН и МКЭ; для КРМ изгибающий момент  $M = q \cdot l^3$  и прогиб  $w = \frac{q \cdot a^5}{E \cdot I}$ .

На рис. 2 представлен график зависимости перемещений (левая шкала графика) характерной центральной точки пластины от густоты сетки. По правой шкале графика можно судить о проценте расхождения (штрихпунктирная линия на графике) между дискретными моделями МОН и МКЭ, совпадающими между собой, и КРМ.

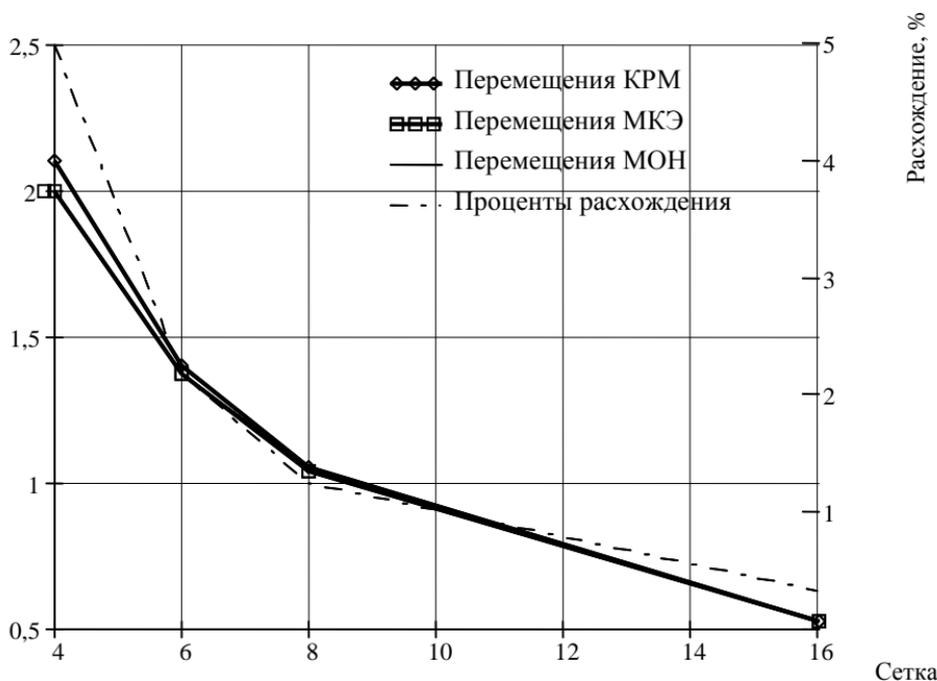


Рис. 2. График зависимости перемещений и расхождения результатов расчета, %, по дискретной и континуальной модели от густоты сетки

Пластина рассчитывалась без учета кручения стержней.

МОН и МКЭ дают одинаковые результаты, так как основаны на одних и тех же допущениях (как с учетом, так и без учета кручения).

Расчет по КРМ с учетом и без учета кручения стержней выполнен путем вычисления соответствующих характеристик эквивалентной континуальной пластинки.

На рис. 3 приведен график зависимости значений моментов в средней точке сетчатой пластины и процента расхождения между различными теориями от густоты сетки.

На рис. 4 и 5 приведены графики сходимости двух различных направлений расчета по дискретной и континуальной модели сетчатой пластины с учетом кручения стержней.

Из анализа приведенных графиков следует: *погрешность составляет не более 5 % при количестве интервалов сетчатой пластины более пяти.*

На этапе расчета регулярной сетчатой пластины с различной плотностью сетки без учета кручения стержней на воздействие равномерно распределенной нагрузки на поверхности пластины был проведен численный эксперимент по приведению распределенной нагрузки к узловой.

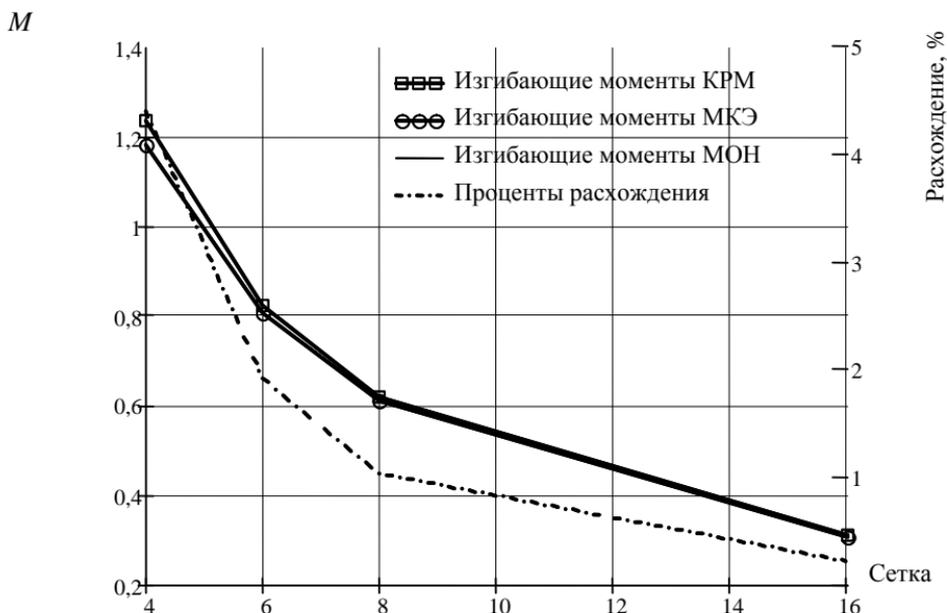


Рис. 3. График зависимости изгибающего момента и расхождения результатов расчета, %, по дискретной и континуальной модели от плотности сетки

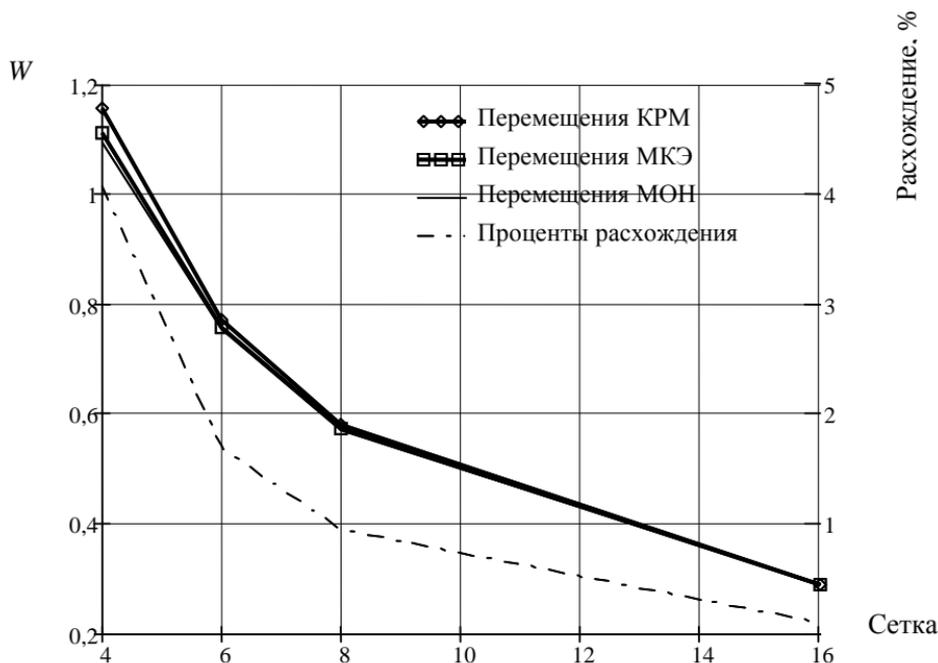


Рис. 4. График зависимости перемещений и расхождения результатов расчета, %, по дискретной и континуальной модели от плотности сетки

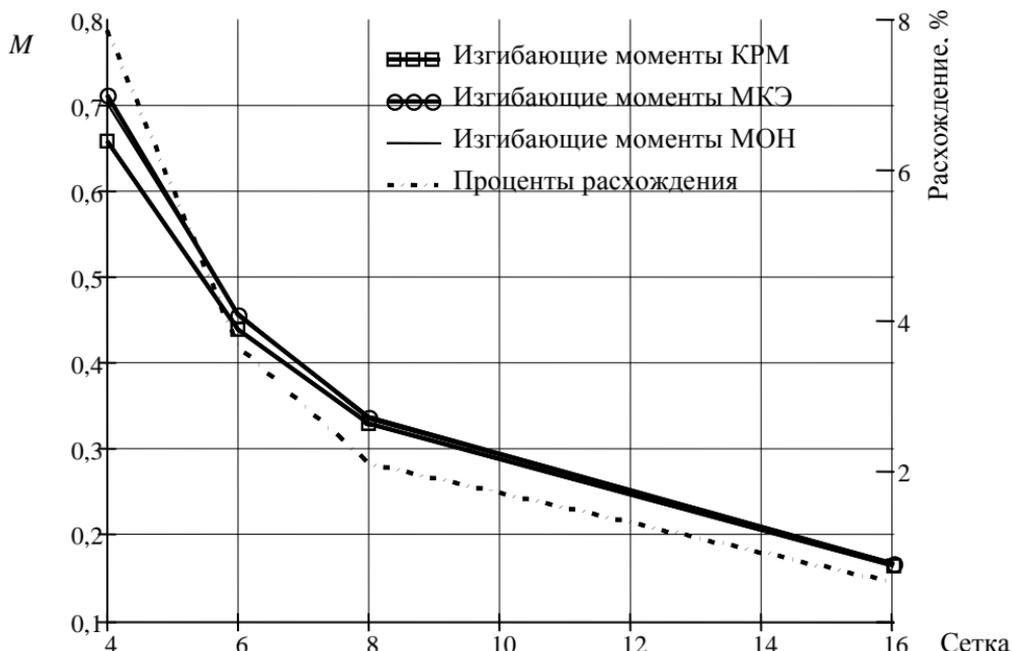


Рис. 5. График зависимости изгибающего момента и расхождения результатов расчета, %, по дискретной и континуальной модели от густоты сетки

В [1] решен ряд вопросов расчета регулярных перекрестных систем на внеузловые воздействия, в ней же имеется ссылка на [4], где исследуется погрешность при расчете перекрестных балок, вносимая переходом от равномерной нагрузки к сосредоточенным нагрузкам в узлах, по так называемым «грузовым площадям». Погрешность при таком подходе составляет не более 5 % в отношении максимальных прогибов и изгибающих моментов при числе интервалов регулярной пластины более пяти.

На основании вывода по приведенным зависимостям на рис. 2—5 и выводов в указанных работах можно предположить, что разница в результатах расчета по двум различным расчетным моделям, дискретной и континуальной, вносится именно преобразованием равномерной нагрузки к узловой, посредством «грузовых площадей».

На основе [1] и выдвинутого предположения на базе МКЭ реализован численный эксперимент приведения распределенной по площади нагрузки к сосредоточенной в узлы сетчатой пластины. Через абсолютно жесткие сплошные пластины, закрепленные в каждой ячейке регулярной сетчатой пластины, передавалась нагрузка, распределенная по площади, в узлы дискретной модели (на узлы были наложены связи, запрещающие перемещение по линии действия нагрузки).

В результате были получены реакции в наложенных связях, как в неразрезных перекрестных балках.

Далее были уточнены, с учетом реакций, полученных в связях, собранные по «грузовым площадям» нагрузки и вычислены перемещения точки пла-

стинки с координатами  $x = \frac{l}{2}$ ,  $y = \frac{b}{2}$ .

В результате, перемещение центральной точки дискретной модели сетчатой пластины совпало с эквивалентной континуальной расчетной моделью с разницей 0,3427 %.

*Вывод.* Разница между континуальной расчетной моделью и дискретной расчетной моделью регулярной сетчатой пластины будет зависеть от методики приведения равномерно распределенной нагрузки для континуальной схемы к узловой для дискретной схемы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Игнатьев В.А.* Расчет регулярных статически неопределимых стержневых систем. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1979.
2. *Пшеничников Г.И.* Теория тонких упругих сетчатых оболочек и пластинок. М. : Наука, 1982.
3. *Беликов Г.И.* Статика, динамика и устойчивость сетчатых и подкрепленных оболочек с учетом поперечного сдвига / ВолгГАСА. Волгоград, 2003.
4. *Папкович П.Ф.* Труды по строительной механике корабля. Л. : Судпромгиз, 1962. Т. 2.

© Кондрашов В.В., 2007

УДК 624.04:534.1.518

А.У. Чантуридзе

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ИСЧЕРПЫВАНИЯ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Рассматривается метод решения проблемы собственных значений и собственных векторов в механике с применением процедуры исчерпывания. Уделяется внимание варианту многократного применения процедуры исчерпывания.

The author has considered the method of solution the eigenvalue problem in mechanics which uses technique of sequential reducing of the characteristic determinant's order.

Процедура исчерпывания заключается в понижении порядка характеристического определителя путем исключения из дальнейшего рассмотрения найденных на предыдущем этапе собственных значений (СЗ) и соответствующих им собственных векторов (СВ). Процедура использует свойство ортогональности собственных векторов.

*Описание процедуры исчерпывания.* Рассмотрим процедуру исчерпывания для проблемы собственных значений в форме

$$A\mathbf{x} = \lambda\mathbf{x}, \quad (1)$$

где  $A$  — симметричная матрица.

Пусть на предыдущем этапе было найдено  $t$  СЗ и СВ:

$$\begin{array}{l} \lambda_1 \dots \lambda_t \mid \Lambda_{t \times t} \\ \mathbf{v}_1 \dots \mathbf{v}_t \mid V_{n \times t} \end{array}$$

Запишем условие ортогональности между найденными СВ и произвольным, еще не определенным, вектором:

$$V_{n \times t}^T \mathbf{x}_n = 0. \quad (2)$$

Перепишем уравнение (2) в блочном виде:

$$\begin{bmatrix} V_{t \times t} \\ V_{n-t \times t} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{x}_t \\ \mathbf{x}_{n-t} \end{Bmatrix} = 0, \quad (3)$$

или

$$V_{t \times t}^T \mathbf{x}_t + V_{n-t \times t}^T \mathbf{x}_{n-t} = 0. \quad (4)$$

Поскольку мы хотим избавиться от уравнений с 1 по  $t$ , то выразим из (4) вектор  $\mathbf{x}_t$ :

$$\mathbf{x}_t = -V_{t \times t}^{-T} V_{t \times n-t}^T \mathbf{x}_{n-t}. \quad (5)$$

Обозначим

$$T_{t \times n-t} = -V_{t \times t}^{-T} V_{t \times n-t}^T. \quad (6)$$

В блочном же виде запишем оригинальную проблему СЗ (1):

$$\left( \begin{bmatrix} A_{t \times t} & A_{t \times n-t} \\ A_{n-t \times t} & A_{n-t \times n-t} \end{bmatrix} - \lambda E \right) \begin{Bmatrix} \mathbf{x}_t \\ \mathbf{x}_{n-t} \end{Bmatrix} = 0, \quad (7)$$

или, вводя краткие обозначения для блоков матрицы  $A$ ,

$$\left( \begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ A_3 & A_4 \end{bmatrix} - \lambda E \right) \begin{Bmatrix} \mathbf{x}_t \\ \mathbf{x}_{n-t} \end{Bmatrix} = 0. \quad (8)$$

Перепишем (8) в виде системы двух уравнений:

$$\begin{cases} (A_1 - \lambda E)\mathbf{x}_t + A_2\mathbf{x}_{n-t} = 0, \\ A_3\mathbf{x}_t + (A_4 - \lambda E)\mathbf{x}_{n-t} = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Воспользовавшись вторым уравнением системы (9), получим проблему СЗ порядка  $n-t \times n-t$ , т.е. пониженного в сравнении с исходной проблемой.

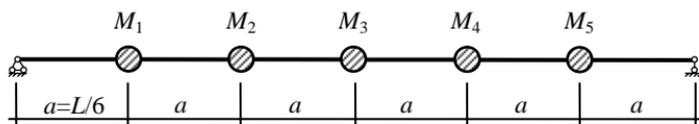
$$\begin{aligned} A_3 T_{t \times n-t} \mathbf{x}_{n-t} + (A_4 - \lambda E) \mathbf{x}_{n-t} &= 0, \\ ((A_3 T_{t \times n-t} + A_4) - \lambda E) \mathbf{x}_{n-t} &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

*Реализация в scilab.* Понижение порядка характеристического определителя реализовано в scilab функцией Depletion.

Функция принимает аргументами исходную матрицу, матрицу найденных СВ и значение, указывающее на количество исчерпываемых степеней свободы.

```
function [C, Tr] = Depletion(A, V, t)
n = size(A, 1);
V = V';
//Выделяем блоки из матрицы СВ
Vtt = V(1:t, 1:t);
Vtnt = V(1:t, t + 1:n);
//Матрица преобразования
Tr = - inv(Vtt) * Vtnt;
//Усечённая матрица
C = A(t + 1: n, 1:t) * Tr + A(t + 1: n, t + 1:n);
endfunction
```

**П р и м е р.** В качестве примера рассмотрим шарнирно-опертую балку с эквидистантно расположенными сосредоточенными массами.



Жесткость стержня примем  $EI = 5,91 \text{ Н} \times \text{м}^2$ , длину  $L = 6 \text{ м}$ , массы —  $M_1 = M_2 = \dots = M_5 = 5 \text{ Н}$ .

Использование метода сил совместно с методом максимальных инерционных сил дает следующие матрицы податливостей и масс:

$$\delta = \frac{1}{1000} \begin{bmatrix} 1,088 & 1,654 & 1,697 & 1,349 & 0,740 \\ 1,654 & 2,785 & 3,003 & 2,437 & 1,349 \\ 1,697 & 3,003 & 3,525 & 3,003 & 1,697 \\ 1,349 & 2,437 & 3,003 & 2,785 & 1,654 \\ 0,740 & 1,349 & 1,697 & 1,654 & 1,088 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$m = \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Исходная проблема СЗ записывается в следующем виде:

$$(\delta m - \lambda E) \mathbf{A} = 0, \quad (12)$$

где  $\lambda = \frac{1}{\omega^2}$ ,  $\mathbf{A}$  — вектор амплитуд колебаний узлов.

Перепишем предыдущее уравнение (12):

$$(H - \lambda E) \mathbf{A} = 0. \quad (13)$$

Мы можем вычислить СЗ и СВ такой системы:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0,0001063 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0002176 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,0006528 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,0032640 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,0521174 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$A = \begin{bmatrix} -0,2886751 & 0,5 & 0,5773503 & -0,5 & 0,2886751 \\ 0,5 & -0,5 & 0 & -0,5 & 0,5 \\ -0,5773503 & 0 & -0,5773503 & 0 & 0,5773503 \\ 0,5 & -0,5 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ -0,2886751 & 0,5 & 0,5773503 & 0,5 & 0,2886751 \end{bmatrix} \quad (15)$$

*Применение процедуры исчерпывания.* Определим СЗ и СВ системы, используя описанную процедуру исчерпывания. За шаг будем исключать одну степень свободы.

Первый исключаемый СВ, соответствующий наименьшему СЗ  $\lambda_1 = 0,0001063$ :

$$v_1 = \begin{Bmatrix} -0,2886751 \\ 0,5 \\ 0,5773503 \\ 0,5 \\ -0,2886751 \end{Bmatrix} \quad (16)$$

Выполним алгоритм исчерпывания. Характеристическая матрица  $H$  из (13) после понижения порядка будет состоять из следующих значений:

$$H_1 = 10^{-8} \cdot \begin{bmatrix} 2824821,1 & -152319,1 & 2650742,2 & -152319,08 \\ 2971309,7 & 65279,588 & 2971309,7 & 0 \\ 2386917,8 & 152319,07 & 2560996,7 & 152319,08 \\ 1315272,3 & 108799,34 & 1467591,4 & 174078,95 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Видно, что матрица потеряла свойство симметричности (это обусловлено используемыми преобразованиями исходной матрицы, не сохраняющими свойство симметрии). Последствия этого заключаются в том, что теперь мы не сможем применять эффективные алгоритмы решения проблемы СЗ, работающие на симметричных матрицах.

СЗ и СВ новой системы следующие:

$$\Lambda_1 = \begin{bmatrix} 0,0032640 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0521174 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,0002176 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,0006528 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$A1 = \begin{bmatrix} 0,5773503 & 0,5222330 & -0,5773503 & 0 \\ 0 & 0,6030227 & 0 & 0,7071068 \\ -0,5773503 & 0,5222330 & 0,5773506 & 0 \\ -0,5773503 & 0,6030227 & -0,5773503 & -0,7071068 \end{bmatrix} \quad (19)$$

На этом этапе собственные значения определены верно.

*Цепочное понижение порядка.* К сожалению, мы не можем использовать процедуру исчерпывания повторно для новой системы. Это связано с тем, что матрица, полученная в результате применения процедуры исчерпывания, не является симметричной. В то же время, процедура исчерпывания использует свойство ортогональности СВ, которое справедливо только для симметричных матриц.

*Восстановление собственных векторов усеченной системы до размерности полной системы.* После того, как будут определены несколько СЗ и СВ усеченной системы, можно восстановить усеченные СВ до размерности полной системы и затем использовать их и ранее найденные СВ для повторного понижения порядка матрицы на еще большее количество степеней свободы.

Пусть на предыдущем этапе было найдено  $k$  собственных значений  $\tilde{\Lambda}$  и соответствующих им  $k$  собственных векторов  $\tilde{V}$  пониженной размерности.

Использовать СВ  $\tilde{V}$  для очередной процедуры исчерпывания невозможно — они не совпадают по размерности с разрабатываемой матрицей.

Зная матрицу преобразования  $Tr$  (6), мы можем определить усеченные компоненты СВ  $\tilde{V}$ . Для этого достаточно воспользоваться уравнением (5)

$$\mathbf{x}_t = Tr_{t \times n-t} \mathbf{x}_{n-t},$$

или, для случая  $k$  векторов,

$$X_{t \times k} = Tr_{t \times n-t} \tilde{V}_{n-t \times k}. \quad (20)$$

Таким образом, из определяемых в усеченной системе усеченных СВ, мы можем восстанавливать СВ для полной системы.

Рассмотрим пример. Из (19) возьмем СВ, соответствующий наименьшему СЗ  $\lambda = 0,0002176$  и восстановим его до полной размерности:

$$dim = \{1,7320508 \quad -2 \quad 1,7320508 \quad -1\} \left\{ \begin{array}{c} -0,5773503 \\ 0 \\ 0,5773503 \\ -0,5773503 \end{array} \right\} = 0,5773503.$$

Полный СВ:

$$\mathbf{v} = \left\{ \begin{array}{c} 0,5773503 \\ -0,5773503 \\ 0 \\ 0,5773503 \\ -0,5773503 \end{array} \right\}.$$

Теперь можно использовать два найденных СВ для понижения порядка. И так далее.

*Уточнение собственных векторов.* Процедура понижения порядка исходной проблемы основана на использовании нескольких СВ системы. Точность достигаемого результата (получаемых СВ и СЗ редуцированной системы) зависит от точности используемых при исчерпывании матрицы СВ. Чем более точные СВ мы используем для понижения порядка матрицы, тем более точный результат получим.

Для повышения точности используемых в редуцировании СВ можно применить итерационную процедуру уточнения СВ.

Имея на руках вычисленные нулевые приближения к искомым СЗ  $\lambda^{(0)}$  и СВ  $\mathbf{a}^{(0)}$ , далее получаем

$$H\mathbf{a}^{(0)} = \mathbf{a}^{(1)}. \quad (21)$$

Уточненное СЗ  $\lambda^{(1)}$  можно рассчитать как норму (например, евклидову) уточненного вектора  $\mathbf{a}^{(1)}$  или на основе отношения Релея. Этот процесс мож-

но продолжить, получая новые и новые уточнения. В качестве критерия остановки итераций можно использовать следующее условие:

$$\frac{(\lambda^{(k+1)} - \lambda^{(k)})}{\lambda^{(k)}} \leq \varepsilon. \quad (22)$$

где  $\varepsilon$  — требуемая точность вычислений.

Заметим, что использование процедуры уточнения СВ целесообразно проводить на усеченных векторах, поскольку преобразование (20), восстанавливающее усеченные векторы до размерности полной системы, не предполагает никаких, кроме обычных, привычных вычислительных, погрешностей.

© Чантуридзе А.У., 2007

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

УДК 625.885.3

**В.Н. Шестаков, А.К. Туякова**

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

Сформулированы исходные положения и задачи прогнозирования организационно-технологических рисков, рассматриваемого технологического процесса. Разработана имитационная модель прогнозирования рисков и себестоимости работ.

Starting positions and problems of forecasting of the organizational-technological risks, considered technological process are formulated. The imitating model of forecasting of risks and cost price of works is developed.

Целью подрящика является достижение минимальной себестоимости работ в области требуемого качества и их выполнение к договорному сроку. Зачастую подрящик на стадии тендерных торгов стремится выиграть заказ на строительство без объективной оценки потенциальных организационно-технологических рисков.

Риск  $FH$  имеет место в результате возникновения опасности  $H$  (внешней  $H_1$  и внутренней  $H_2$ ), которые являются соответственно случайными состояниями: климатических условий; технологической системы (отказы машин и оборудования, недостаточная согласованность во времени и пространстве элементов производства и отклонения от технологического регламента, состояние подъездных путей).

*Организационно-технологическим риском  $P(FH)$  является вероятность воздействия внешней  $H_1$  и внутренней  $H_2$  опасностей на технологическую систему, приводящих: к браку; простоям; снижению производительности; несоблюдению договорного срока строительства; возникновению убытков, связанных с устранением незапланированных ситуаций. Игнорирование организационно-технологического риска влечет неоправданное увеличение себестоимости работ. В конечном итоге снижается планируемая прибыль подрящика.*

Сформулированные положения дополняются формулой (1) и рис. 1.

$$P(FH) = P(FH_1) + P(H_2) - P(FH_1) \cdot P(H_2), \quad (1)$$

$$P(FH_1) = P(H_1) \cdot P(F|H_1),$$

где  $P(FH_1)$  — вероятность риска для технологического процесса  $F$  от внешней опасности  $H_1$ ;  $P(F|H_1)$  — вероятность безотказного функционирования технологической системы при возникновении внешней опасности  $H_1$ .

Технологическая система процесса строительства асфальтобетонных покрытий в общем случае имеет структуру «АБЗ — автомобили самосвалы — асфальтоукладчик — катки» (АБЗ — С — АУ — К), обладающую параметрами, определяющими производительность системы и себестоимость работ.

Система АБЗ — С — АУ — К функционирует по стохастическим законам и подвержена риску как со стороны обеспечения качества работ, так и соблюдения договорного срока. В этих условиях у подрядчика возникает необходимость принятия оптимальных организационных и технологических решений, достигаемых при минимальной себестоимости.

На величину организационно-технологического риска влияют климатические условия района строительства, состояние машин, участвующих в строительстве, и технологические особенности ведения работ. Параметры этих состояний определяют температурно-технологические границы строительства асфальтобетонных слоев и область требуемого качества работ  $Kq$  (рис. 2) [2].

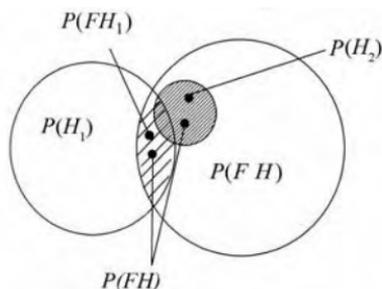


Рис. 1. Схема формирования риска  $P(FH)$  для технологического процесса  $F$  от внешней  $H_1$  и внутренней  $H_2$  опасности:  $P(H_1)$ ,  $P(H_2)$  — вероятности внешней и внутренней опасностей

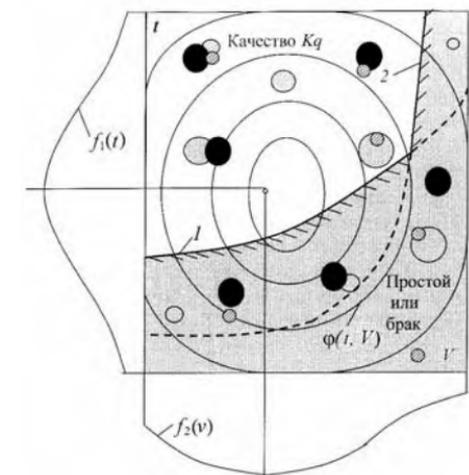


Рис. 2. Разделение календарного времени  $i$ -го месяца на критические области:  $K_q$  — обеспечения качества; простоя или брака. 1, 2 — температурно-технологические границы операций;  $\varphi(t, V)$  — двухмерная плотность распределения температуры воздуха с  $f_1(t)$  и скорости ветра  $f_2(v)$ ;  $\odot$  — выпадение осадков

Примером влияния внешней опасности на технологический процесс строительства асфальтобетонных слоев является влияние влажности минеральных заполнителей  $W$  на энергозатраты  $Q$ , МДж/т, и производительность асфальтобетонного завода  $\Pi$ , т/ч, определяющих себестоимость асфальтобетонной смеси:

$$Q = \Delta Q \cdot W + 160, \tag{2}$$

где  $\Delta Q$  — необходимое количество тепла для снижения в сушильном барабане влажности 1 т минеральных заполнителей на 1 % (составляет 31...32 МДж/т, что примерно равно 1,1 кг мазута);

$$P = 2,38 \cdot P_5 \cdot (e^{-0,33 \cdot W} + 0,52), \quad (3)$$

где  $P_5$  — производительность АБЗ при влажности минеральных заполнителей  $W=5$  %.

При содержании минеральных заполнителей 80 % от массы АБ смеси, расход топлива на приготовление 1т АБ смеси при увеличении исходной влажности на 1 % ведет к перерасходу топлива на 0,88 кг. При сменной производительности АБЗ 800 т повышение влажности заполнителей на 5 % приведет к дополнительному расходу топлива 3,52 т/смену. При стоимости мазута 3250 р./т за 8 ч «сжигается» 11440 р./смену.

Влажность минеральных заполнителей можно существенно снизить, расположив материалы под навесом и тем самым снизить риск. Такая положительная практика имела место на одном из АБЗ в Сургуте.

Включение в структуру технологической системы перегрузчика (П) АБ смеси, машины, высушивающей и прогревающей основание покрытия, использование ПАВ при приготовлении АБ смеси и т.д. приводит к увеличению затрат на производство работ. Но при этом уменьшается время простоев, снижается вероятность сбоев в работе системы АБЗ — С — П — АУ — К, что ведет к уменьшению организационно-технологического риска по причине снижения влияния внутренней опасности.

Ограниченное использование перегрузчика смеси «Шаттл Багги» при строительстве АБ покрытий объясняется его высокой стоимостью. Однако, как показывает практика, окупаемость машины наступает на 4 год после начала ее эксплуатации за счет повышения организованности системы АБЗ — С — П — АУ — К, улучшения начальной ровности покрытия, снижения расходов на содержание и ремонт.

Технологическое взаимодействие машин в процессе строительства асфальтобетонных слоев, с точки зрения теории массового обслуживания, является замкнутой двухфазной системой, где в качестве фаз обслуживания служат грузообразующие (АБЗ) и грузопоглощающие пункты (перегрузчики, асфальтоукладчики) асфальтобетонной смеси, а взаимосвязывающим элементом является подъездная дорога [2].

Разработанная вероятностно-статистическая имитационная модель процесса строительства асфальтобетонного слоя позволит на стадии проведения тендерных торгов прогнозировать технико-экономические параметры, определяющие эффективность производства работ, а именно:

- плотность распределения себестоимости;
- вероятность выполнения работ в договорные сроки.

На стадии тендерных торгов, моделируя процесс строительства асфальтобетонных слоев, варьируя параметрами технологической системы, определяющими величину организационно-технологического риска, можно назначить такую технологию работ, которая позволит в определенных климатических условиях реализовать проект с требуемым качеством, в установленные договорные сроки и с минимальной себестоимостью.

Для каждого варианта технологической системы определяем себестоимость работ  $S_{\text{свб}}$ , которая складывается из прямых затрат  $S_{\text{пз}}$ , накладных расходов  $S_{\text{н}}$  и убытков от ликвидации последствий риска  $S_{\text{уб}}$ . Последние состоят из суммы стоимости переработки выбракованной смеси  $S_{\text{аб}}$ ; штрафа за невыполнение договорного срока строительства  $S_{\text{ш}}$ ; и убытков от простоев  $S_{\text{пр}}$ .

$$S_{\text{пр}} = \sum_{m=1}^M \frac{t^{\text{пр}} B_m d_m}{T_m 100} + \frac{2}{3} \sum_{r=1}^R t^{\text{пр}} H_r + VB, \quad (3)$$

где  $t^{\text{пр}}$  — время простоя (определяем в результате моделирования), ч;  $B_m$  — стоимость приобретения машины, р.;  $d_m$  — процент амортизационных отчислений для машин, %;  $T_m$  — директивный сезонный фонд рабочего времени, ч;  $M$  — количество простаивающих машин;  $H_r$  — тарифная ставка рабочих, р.;  $R$  — количество рабочих; первое слагаемое — амортизация машин; второе слагаемое — оплата рабочим за периоды простоя;  $VB$  — упущенная выгода за периоды простоя.

В итоге расчета себестоимости вариантов составов отряда и технологии работ выбираем вариант с наименьшей удельной себестоимостью работ:

$$S_L = \frac{S_{\text{зп}} + S_{\text{уб}}}{L} \rightarrow \min, \quad L \geq L_{\text{тр}}, \quad (4)$$

где  $S_L$  — удельная себестоимость 1 км асфальтобетонного слоя, руб./км;  $L$  — протяженность построенного асфальтобетонного слоя, км;  $L_{\text{тр}}$  — требуемый (плановый) объем строительства, обеспечивающий безубыточное функционирование дорожно-строительного предприятия.

**Выводы.** Имитационное моделирование процесса строительства асфальтобетонных покрытий на стадии тендерных торгов позволит подрядчику прогнозировать сроки выполнения работ и себестоимость строительства асфальтобетонных покрытий с учетом организационно-технологического риска, возникающего в условиях воздействия внешней и внутренней опасностей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шестаков А.Н. Обоснование параметров температурно-технологического регламента строительства асфальтобетонных покрытий / А.Н. Шестаков, А.К. Туякова, В.Н. Шестаков // Качество. Инновации. Наука. Образование : материалы Межд. научн.-техн. конференции, 15—17 ноября 2005 г. Омск : Изд-во СибАДИ, 2005. Кн. 1. С. 4—11.
2. Туякова А.К. Обоснование вероятностно-статистической модели технологического процесса строительства асфальтобетонных слоев // Тр. Кыргызского государственного университета. Бишкек, 2006. Вып. 1(11). С. 140—145.

УДК 625.7

**В.С. Боровик, Л.П. Васильева****ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ФОРМЫ МАТЕРИАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ АВС-АНАЛИЗА**

Для обоснования выбора формы материального обеспечения предлагается оценить пределы возможных потерь с помощью АВС-анализа.

For a substantiation of a choice of the material maintenance form is offered to estimate limits of possible losses with the help ABC-analysis.

Обоснованность выбора формы материального обеспечения (МО) оказывает непосредственное влияние на уровень обеспеченности дорожно-строительного предприятия (ДСП) основными дорожно-строительными материалами (ОДСМ).

Уровень обеспеченности ДСП ОДСМ характеризует надежность процесса МО, влияет на величину расходов по управлению данным процессом, на размер ОДСМ и затраты, связанные с их хранением, отражаемые в себестоимости выполненных СМР, на потери от иммобилизации денежных средств в запасах, замедляющие оборачиваемость оборотных средств ДСП, прямо влияющих на величину прибыли предприятия, ритмичность выполнения производственной программы, прибыльность и конкурентоспособность в целом [1—4].

Ряд авторов предлагает оптимизировать МО на основе минимума приведенных затрат по приобретению и хранению, например в [3—6].

Однако, на наш взгляд, при принятии решения о выборе формы МО (размере запасов на складах), необходимо рассматривать в совокупности несколько составляющих, определяющих в конечном итоге результат эффективности использования ОДСМ, их влияния на прибыльность ДСП: виды потерь, в зависимости от выбранной формы МО; надежность обеспечения запасами; поквартальное прогнозирование цен на сырье; значимость материальных ресурсов по степени влияния на конечный результат с учетом минимума всех приведенных затрат по приобретению и хранению, — повышая тем самым обоснованность решения о выборе формы МО.

При выборе формы МО в [7] нами предлагалось определить среднюю величину риска в зависимости от выбранной формы снабжения материальными ресурсами, с помощью оценки потерь, на основе статистических данных. Однако, как выяснилось на практике, получение данной статистики весьма затруднительно.

Для получения статистики возможных потерь ДСП и их пределов предлагается использовать АВС-анализ.

В литературе, посвященной теории экономического анализа, отмечается, что АВС-анализ позволяет обосновать приоритеты и ключевые направления изменений в производстве, сочетая в себе использование натуральных и стоимостных характеристик производственного процесса.

Мы считаем, что данный анализ полезен в процессе управления материальными затратами на ОДСМ по элементам (транспортировка, хранение и

др.), местам возникновения и объектам калькулирования (открытые, закрытые склады, ямные хранилища закрытого типа или резервуары и др.).

*Описание механизма определения потерь и их пределов.* В качестве критерия значимости материальных ресурсов принимается степень влияния его на конечные результаты деятельности ДСП, выделяют четыре группы значимости: А, В, С и Д.

К группе А относятся материальные ресурсы (МР) высокой стоимости годового потребления и повышенной технологической значимости. К ресурсам повышенной технологической значимости относят МР, временный дефицит которых приводит к существенным сбоям ритмичности строительного производства. К группе В относятся менее дефицитные МР, к группе С — МР средней стоимости годового потребления, к группе Д — МР низкой стоимости годового потребления [5].

Т а б л и ц а 1

*Классификация материальных ресурсов по значимости*

Оценка стоимости потребления материала на 1 км	Оценка технологической значимости материала	Оценка степени дефицитности материала	Группа МР по значимости
Высокая	Высокая	Высокая	А
		Средняя	А
		Низкая	В
Средняя	Высокая	Высокая	А
	Средняя	Средняя	В
	Низкая	Низкая	С
Низкая	Высокая	Высокая	А
	Средняя	Средняя	В
	Низкая	Низкая	Д

Предположенная нами классификация позволит ДСП обоснованно сформировать размер ОДСМ, причем очевидно что, чем меньше степень дефицитности материала, тем меньше должен быть его размер.

Оценка технологической значимости определяется нами исходя из степени потерь (цены ситуации риска), учитывая последовательность укладки материалов в дело, согласно технологической карте по строительству дорожной одежды.

Степень дефицитности определяется сроком доставки материала, т.е. от одного дня до максимального количества дней, при которых наблюдалась нехватка материала, необходимого при производстве СМР.

Максимальный срок отсутствия материалов определяется на основе экспертных оценок, в результате опроса (анкетирования) руководителей ДСП.

Оценивая потери, связанные с недостатком материала, необходимо оценить их возможные пределы. Необходимость учитывать пределы возможных потерь ДСП обуславливается тем, что статистика потерь в прошлом и соответственно вероятность их возникновения, может не учитывать изменение внешней и внутренней среды в настоящем.

Возможные потери, за время отсутствия МР можно обозначить через интервал предела потерь в стоимостном выражении:

$$[P_1, P_n], \quad (1)$$

где  $P_1$  — потери от одного дня дефицита МР;  $P_n$  — максимальный размер потерь от дефицита МР.

Интервал (1) можно назвать пределом вероятных потерь ДСП.

Как правило, потери делят на следующие зоны: низкая, 0...25 % грозит потерей части прибыли; средняя, 25...50 %, область повышенного риска грозит потерей части прибыли; высокая, 50...75 % область критического риска; более 75 % — область недопустимого риска.

После оценки пределов потерь, связанных с недостатком материалов, с помощью генерации случайных чисел можно получить статистику возможных размеров потерь.

Такой подход к получению статистики обладает неоспоримым преимуществом: статистику можно собрать за короткий срок [8].

Информация о возможных потерях от дефицита МР дает возможность ДСП оптимизировать МО с точки зрения риска возможных потерь.

В целом, идея формирования запасов ОДСМ и обоснование их размеров на складах ДСП на основе ABC-анализа с помощью классификации МР по значимости заключается в том, чтобы оптимизировать размер запаса конкретного материала таким образом, чтобы поставка осуществлялась в как можно более поздние сроки, приближенные к моменту укладки материала в дело.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зеваков А.М.* Логистика материальных запасов и финансовых активов. СПб. : Питер, 2005.
2. *Радионов Р.А.* Нормирование и управление запасами и оборотными средствами предприятия в условиях рыночной экономики. // Консультант директора. 2004. № 4. С. 19—24.
3. *Исаакова Л.И.* Разработка и обоснование методов определения оптимальных запасов каменных материалов для устройства дорожной одежды : дис. ...канд. техн. наук, 05.23.14. М., 1983.
4. *Строкин И.И.* Перевозка и складирование строительных материалов (Справочник строителя). М. : Стройиздат, 1991.
5. *Нежникова Е.В.* Управление рисками для построения эффективной системы материального обеспечения строительной организации : дис. ...канд. экон. наук, 08.00.05. Новосибирск, 2003.
6. *Бегун И.А.* Методические основы создания многоуровневой системы плановых норм для определения потребности строительной организации в материальных ресурсах : дис. канд. экон. наук, 08.00.06 / МИСИ им. Куйбышева. М., 1991.
7. *Васильева Л.П.* Определение средней величины риска в зависимости от выбранной модели управления запасами основными дорожно-строительными материалами // Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных сооружений : материалы I Всерос. науч.-практ. конференции. Омск : СибАДИ, 2006.
8. *Косачев С.Ю.* Оптимизация календарного планирования в управлении строительным производством на основе теории нечетких множеств и имитационного моделирования : дис. ...канд. техн. наук, 05.13.10. Воронеж, 1999.

УДК 656.13.08

**М.М. Девятов, С.С. Мокроусов**

## **АУДИТ БЕЗОПАСНОСТИ КАК МЕТОД СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ НА СТАДИИ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

На основе анализа опыта внедрения аудита безопасности в зарубежных странах сформулированы общие принципиальные подходы к разработке и внедрению методики организации и проведения этого нового и эффективного метода повышения безопасности дорожного движения для российских условий.

In present paper the audit of traffic safety is described as the method of lowering the accident rate on the roads at the designing stage. The role of human factor by project documentation's working out is described and its positive and negative consequences affecting the project's quality are presented. The system of fundamental approaches to formalization of the traffic system's audit is given. The suggestions of audit's application to the existing system of project documentation's coordination are made.

Анализ статистики аварийности на автомобильных дорогах России показывает, что за последние 20 лет ежегодное количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на дорогах России увеличилось более чем в 1,5 раза. В результате этих происшествий погибло около 600 тысяч человек. Причем количество происшествий, связанных с неудовлетворительными дорожными условиями, возросло за это время вдвое и составило в 2005 г. около четверти всех ДТП [1, 2]. По мнению специалистов такая ситуация, в определенной степени, связана с значительным снижением качества проектов, выполняемых для дорожной отрасли [3, 4], так например, до 60...70 % проектов, которые проходят согласование в департаменте обеспечения безопасности дорожного движения МВД РФ, возвращаются на доработку из-за низкого качества [2].

С другой стороны анализ аварийности в странах Западной Европы показывает, что здесь по причине неудовлетворительных дорожных условий происходит 5-6 % [5]. Как показывает анализ исследований и нормативных документов в области безопасности движения [6, 7, 8, 9, 10, 11], определенную роль в этом сыграло введение аудита безопасности автомобильных дорог.

Наиболее характерно это для таких стран западной Европы, как Великобритания, Голландия, Дания, Германия. Так, например, в Великобритании уменьшилось количество ДТП за пятнадцать лет на 30 % благодаря введению в 1990 г. первых норм по «аудиту безопасности автомобильных дорог» [9]. В Дании в 1998 г., после реализации первых проектов по аудиту безопасности, были приняты рекомендации по проведению аудита безопасности для всех дорожных проектов без исключения [10]. В Голландии подобные нормы были внедрены в 1997 г. [11]. В Германии первый опыт проведения таких работ начался в 1997 г. и закончился в 2002 г. принятием норм по аудиту безопасности на автомобильных дорогах [7].

Анализ опыта внедрения аудита безопасности в перечисленных и некоторых других странах позволяет сформулировать общие принципиальные подходы к разработке и внедрению методики организации и проведения это-

го нового и эффективного метода повышения безопасности дорожного движения для российских условий.

Во-первых, в качестве *основной цели аудита безопасности автомобильных дорог* можно выделить снижение аварийности на автомобильных дорогах на основе повышения положительного и снижения отрицательного эффекта человеческого фактора при принятии проектных решений. Роль этого фактора чрезвычайно велика и занимает ведущее место в общей системе комплексных взаимосвязанных факторов, влияющих на качество проектных решений. Этот комплекс может быть представлен в виде определенной системы (рис. 1). Особую роль человеческий фактор играет в современных российских условиях, ухудшения качества работы проектных организаций и роста их количества без достаточного квалифицированного кадрового потенциала.

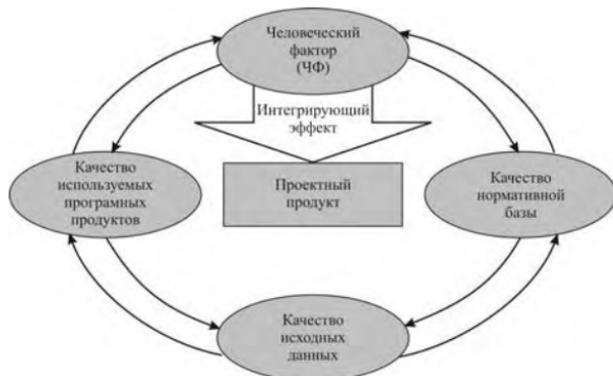


Рис. 1. Схема комплексных взаимосвязанных факторов, влияющих на качество проектов строительства, реконструкции и модернизации автомобильных дорог

Опыт европейских стран подтверждает это. Так, по данным реализованных в Германии 49 проектов по аудиту был выявлен 371 неблагоприятный фактор, влияющий на безопасность движения, причем в основном это были уже утвержденные проекты и проекты, по которым уже начались строительные работы [6]. Кроме этих исследований, в 2002—2003 гг. Транспортно-техническим институтом немецких страховщиков был проведен анализ результатов 136 отчетов проведенных аудитов безопасности в земле Бранденбург. В результате было установлено, что, на разных стадиях проектирования (от предварительного проектирования до сдачи объекта в эксплуатацию) различных типов автомобильных дорог (от автомагистралей до местных дорог в населенных пунктах) при принятии проектных решений в 75 % случаев были нарушены существующие нормы на проектирование тех или иных параметров автомобильных дорог; в 18 % решений не были учтены последние научные разработки и знания, а в 7 % случаев были приняты не до конца продуманные проектные решения в рамках существующих границ определенных значений; 81 % всех обнаруженных дефицитов привели бы в последствии к возникновению ДТП [6].

Таким образом, аудит безопасности направлен на снижение отрицательно-го эффекта человеческого фактора проектировщиков в процессе проектирования путем наложения на него положительного эффекта человеческого фактора аудиторов, воздействующего через человеческий фактор заказчиков. Он имеет

достаточно сложную систему взаимодействий между проектировщиком, заказчиком и аудитором, поэтому представим условную схему влияния человеческого фактора на качество проектирования в процессе аудита (рис. 2).

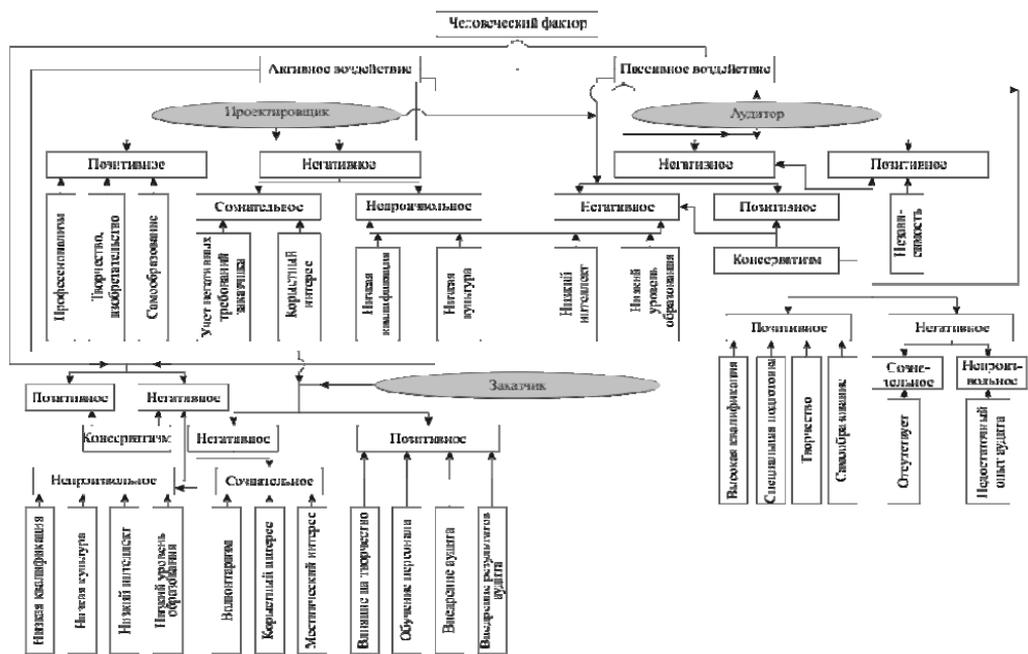


Рис. 2. Система активного и пассивного воздействия положительных и отрицательных составляющих человеческого фактора в процессе применения аудита безопасности при разработке проекта автомобильной дороги

Суть положительных и отрицательных факторов каждого из участников процесса проектирования и аудита заключается в следующем:

положительные факторы проектировщика, аудитора и заказчика являются основными факторами, повышающими безопасность движения, сюда относятся профессионализм, творческий подход, повышение квалификации и самообразование;

отрицательные факторы, отрицательно влияющие на безопасность движения можно разделить на две части: сознательные и непроизвольные. К сознательным отрицательным факторам относятся: учет отрицательных требований заказчика, корыстный интерес, волонтеризм, местнический интерес. Непроизвольными отрицательными факторами являются: низкая квалификация, низкая культура. Опишем подробнее отрицательные факторы. Местнический интерес предполагает, например, передачу подрядов на проектировочные работы «своим» организациям, зачастую с более низким профессиональным уровнем сотрудников. Корыстный интерес предполагает передачу заказов тем организациям, которые дадут так называемый «откат», а не тем которые наиболее профессиональны. Волонтеризм предполагает волевое принятие решения без учета объективно действующих факторов, кроме этого он включает в себя решения, связанные с самовыражением, самоутверждением, самовозвеличиванием. Низкая квалификация подразумевает принятие неправильных, не до конца продуманных реше-

ний, неучитывание последних научных достижений, неспособность оценки результатов инженерных изысканий и многое другое.

Представленная система учета влияния человеческого фактора на процесс принятия проектного решения позволяет обоснованно воздействовать как на позитивные составляющие этого фактора, активизируя их, так и на негативные, стремясь уменьшить их роль, используя методы аудита. То есть анализ факторов и их взаимосвязей позволит на основе учета позитивных составляющих обоснованно принимать правильные решения или не принимать неправильные решения. В то же время негативные составляющие ведут к принятию неправильных решений или непринятию правильных решений. Роль аудита заключается в целенаправленном выявлении отступлений от действующих нормативов, неправильных решений и выявлении непринятых правильных решений.

Во-вторых, сформулируем *понятие* и опишем *суть аудита безопасности*. Под аудитом безопасности проекта автомобильной дороги понимают формализованный, системный, независимый процесс оценки комплекса проектных решений на всех шагах проектирования, с точки зрения обеспечения безопасности движения на основе ее восприятия всеми категориями участников дорожного движения, командой квалифицированных аудиторов. При этом результатом аудита является выявление недостатков проектных решений исключительно с точки зрения обеспечения безопасности движения. Таким образом, уменьшается вероятность негативного непроизвольного и сознательного воздействия человеческого фактора при разработке проектной документации. Естественно, что более всего уменьшается воздействие таких факторов, как низкая квалификация, низкая культура, волонтаризм.

В-третьих, представим и опишем *систему принципиальных подходов к формализации аудита безопасности* (рис. 3).



Рис. 3. Система организационно-методических и экономических признаков формализации аудита безопасности проекта автомобильной дороги

Теперь опишем признаки более подробно. Независимость аудиторов — это один из главных принципов аудита безопасности. Аудиторы обязательно должны быть независимыми от проектировщика и общаться с ним только через заказчика. Именно независимость аудиторов гарантирует непредвзятость и адекватную оценку проектных решений.

К квалификации аудиторов должны предъявляться повышенные требования: обязательное наличие высшего профессионального образования, наличие многолетнего опыта работы в сфере проектирования автомобильных дорог, прохождение курса подготовки аудиторов, а также постоянное повышение квалификации.

Для более качественного проведения аудита безопасности и уменьшения влияния некоторых негативных сознательных человеческих факторов, таких как корыстный и местнический интерес, не допускаются контакты между аудиторами и проектировщиками. Все общение и передача документов должны проходить только через заказчика, то есть только заказчик передает аудиторам все документы, необходимые для проведения аудита, и после проведения аудита его результаты передаются непосредственно заказчику.

Аудит безопасности должен проводиться обязательно для всех проектов. Добровольное проведение аудита безопасности не принесет пользы, так как большинство не готово тратить средства на дополнительную проверку и, как следствие, повышение стоимости работ.

Системность и формализация аудита проявляется в том, что существует перечень вопросов, на которые аудитор должен ответить в процессе проверки проектной документации, и этот перечень разделен на несколько блоков по элементам автомобильной дороги. Естественно, что аудитор не должен исходить только из списка вопросов, если на его взгляд что-то в проектной документации не отвечает безопасности движения, но это не учтено в перечне вопросов, он должен этот недочет отразить в своем отчете о проведении аудита.

Для более полной проверки проектной документации весь процесс аудита разбит на стадии, которые соответствуют стадиям проектирования. Допускается возможность проведения частичного аудита, то есть проведение не всех фаз аудита. Конечно, в этом случае о полном учете требований безопасности движения говорить не приходится, так как при проведении аудита безопасности в фазе передачи дороги в эксплуатацию уже нельзя учесть факторы, связанные с трассированием или выбором типа поперечного профиля.

Результаты проведения аудита безопасности должны быть представлены аудиторами в виде отчета, где перечислены все недостатки проекта автомобильной дороги с указанием конкретных мест и наличием объяснений аудиторов или ссылок на нормативные документы.

Результаты аудита безопасности необязательны для их применения при осуществлении строительства. Это связано с тем, что аудит безопасности учитывает только то, что связано с безопасностью движения, и не учитывает вопросы экологии и стоимости строительства. Поэтому на заказчике лежит ответственность при учете результатов аудита. Естественно, это не должно касаться отклонений проекта от нормативов, они должны быть исправлены в обязательном порядке.

С учетом изложенного представляется целесообразным в процесс проектирования и согласования проектной документации включить поэтапное (добровольное) проведение аудита безопасности (рис. 4).

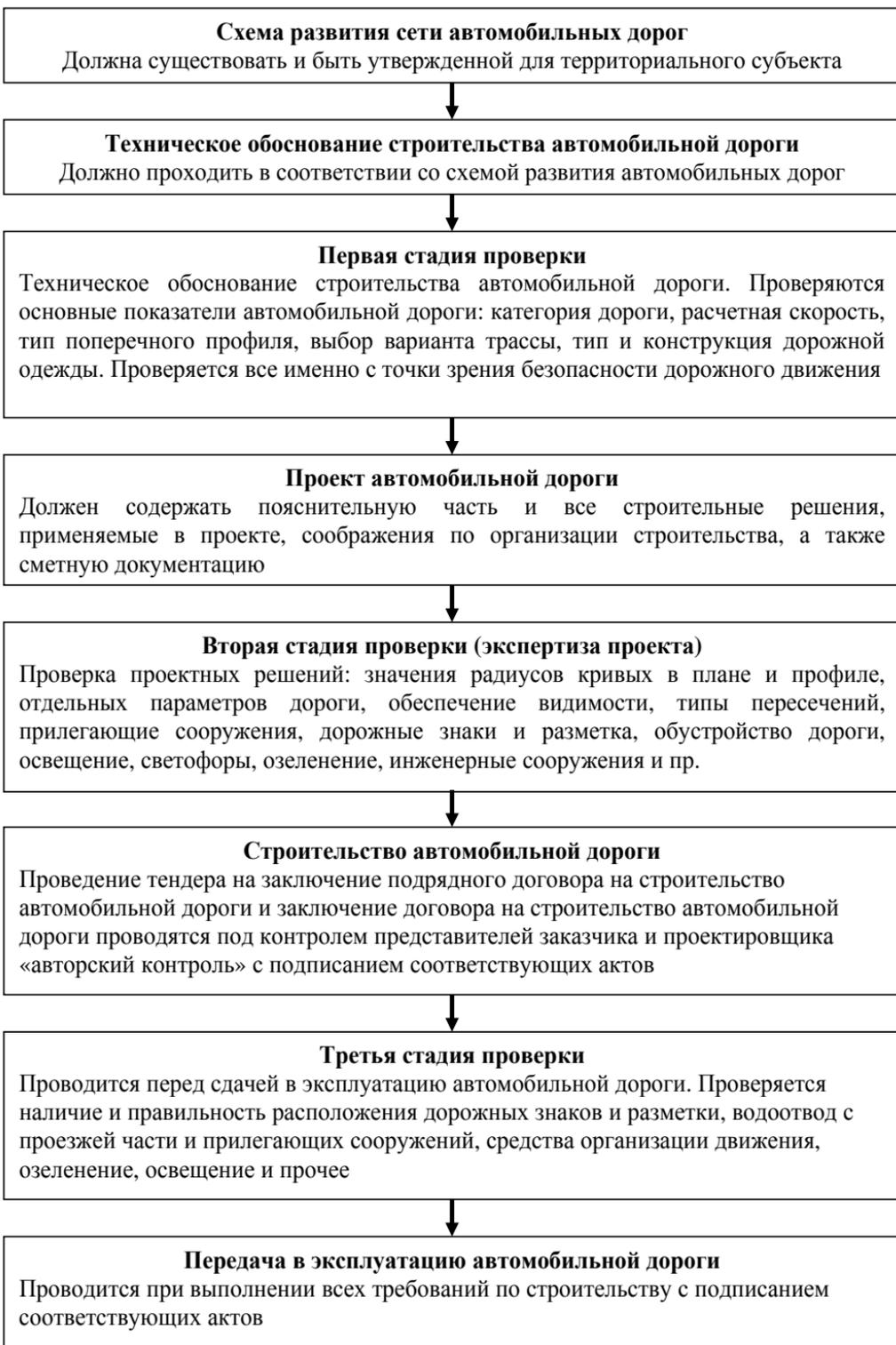


Рис. 4. Предлагаемая схема процесса проектирования и экспертизы проектной документации с учетом внедрения аудита

Таким образом, приняв такую схему проверки проектной документации, мы сможем избежать ошибок уже на стадии обоснования инвестиций, где выбираются основные параметры автомобильной дороги. К тому же она не потребует больших изменений в уже принятой системе. Отличие нашей схемы от существующей в учете вопросов безопасности движения в отдельной фазе, наличии третьей стадии проверки непосредственно перед сдачей в эксплуатацию автомобильной дороги, и, что самое главное, в наличии у экспертов перечня точно сформулированных вопросов, на которые он должен дать ответы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Состояние безопасности дорожного движения. Партнерский обзор по стране: Российская Федерация // [www.cemt.org](http://www.cemt.org).
2. Статистика дорожно-транспортных происшествий на территории России и их причин за 2000—2005 год. Сайт Федеральной службы государственной статистики. [http://www.gks.ru/wps/portal/!ut/p/cmd/cs/ce/7\\_0\\_A/s/7\\_0\\_34D/\\_th/J\\_0\\_69/\\_s.7\\_0\\_A/7\\_0\\_31E/\\_s.7\\_0\\_A/7\\_0\\_34D](http://www.gks.ru/wps/portal/!ut/p/cmd/cs/ce/7_0_A/s/7_0_34D/_th/J_0_69/_s.7_0_A/7_0_31E/_s.7_0_A/7_0_34D).
3. Концепция качества принята за основу // Автомобильные дороги 2006. № 8. С. 14—19.
4. Дробышевский Б.А. Долговечность мостов и человеческий фактор // Дороги России XXI века. 2006. № 5. Тематическое приложение ВИАДУК. С. 1—3.
5. Verkehrstaschenbuch 1999/2000. Herausgeber Aral Aktiengesellschaft. 42. Aufgabe 1999. 416 s. Internet: [www.aral.de](http://www.aral.de).
6. Auswertung von Auditberichten und Stellungnahmen im Land Brandenburg, Verkehrstechnisches Institut der DeutschenVersicherer, Forschungsbericht 01/05.
7. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen – Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Straßen (ESAS); Köln 2002.
8. О порядке проведения государственной экспертизы и утверждения градостроительной, предпроектной и проектной документации : постановление правительства Российской Федерации от 27 декабря 2000 г. № 1008.
9. Hampshire County Council — Safety Audit Handbook. Winchester 1992.
10. Road Directorate Ministry of Transport — Denmark — Manual of Road Safety Audit. Copenhagen, 1997.
11. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) — Road Safety Audit tools, procedures, and experiens: a literature review and recommendations. Leidschendam, 1999.

© Девятков М.М., Мокроусов С.С., 2007

УДК 656.13:711.4:502.1

**В.И. Атопов, В.В. Балакин****ЗАДАЧА ПРОГРАММНО-ЦЕЛЕВОЙ ЭКОЛОГИЗАЦИИ  
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ВОЛГОГРАДА**

Раскрывается негативное воздействие автомобилизации на транспортную систему и обострение экологической ситуации в Волгограде. Подчеркивается необходимость разработки на основе системного подхода целевой программы мероприятий по устранению тенденции деградации окружающей среды. Обоснована целесообразность применения экологических показателей для интегральной оценки качества среды обитания.

We analyze the negative environmental impact of increasing traffic volume in Volgograd which adds to the aggravation of environmental problems. We also stress the necessity to develop a programme of systematic measures for elimination of the tendency of environmental degradation in the city.

Постановка указанной задачи диктуется реальным обострением экологической обстановки, необходимостью прогнозирования состояния и разработки методов защиты среды обитания в новом генеральном плане и в транспортных схемах Волгограда.

Решение этой научно-практической задачи отвечает утвержденным правительством РФ основным приоритетным направлениям развития науки и разработки технологий:

мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;  
снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф.

В настоящее время Волгоград — один из крупнейших городов РФ — представляет собой сложную высоко урбанизированную систему, обладающую мощным промышленным потенциалом и достаточно разветвленной транспортной инфраструктурой, что обусловило проявление ряда экологических проблем [1]. Основные из них, являющиеся характерными и для других городов России, связаны с химическим загрязнением атмосферного воздуха, почвы, водоемов и с воздействием на среду обитания физических полей: шума, вибраций и электромагнитных излучений.

Несмотря на имевшее место в начале 1990-х гг. некоторое снижение выбросов, связанное со спадом производства, количество городов с высоким уровнем загрязнения воздушного бассейна не уменьшилось и в целом экологическая ситуация ухудшилась. Например, выбросы диоксида азота и углекислого газа увеличились в городах России в среднем на 12...17 % [2]. Уже к середине 1990-х гг. экологическая ситуация во многих промышленных центрах России прошлого столетия оценивалась как чрезвычайная [3]. Это отражает, с одной стороны, сохраняющуюся еще на прежнем уровне степень очистки промышленных выбросов, а с другой — тенденцию увеличения загрязнения атмосферы отработавшими газами (ОГ) автомобильного транспорта. Согласно прогнозу ИЭОПП СО РАН [4], к 2010 г. ожидается увеличение выброса загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от предприятий и автомобильного транспорта, в 2 раза относительно массы выбросов, зарегистрированной в 2001 г. в количестве 33,3 млн т.

В Волгограде, согласно данным ГИБДД, количество транспортных средств возрастает в среднем на 10 тыс. единиц в год, причем рост происходит в основном за счет легковых автомобилей. По состоянию на 01.01.2004 г. уровень автомобилизации в среднем по Волгограду составил 117 автомобилей на 1000 жителей. При этом в Ворошиловском, Красноармейском и Советском районах этот показатель достигал соответственно значений 143, 159 и 205 авт/1000 жит. Это значительно превысило средний по городу прогнозный уровень, установленный в 1989 г. — 99 авт/1000 жит.

Столь быстрое пополнение автопарка вызывает лавинообразный рост интенсивности движения транспорта на улично-дорожной сети (УДС) города. В результате этого неконтролируемого явления наблюдавшаяся ранее диспропорция между темпами автомобилизации и развития УДС в городе еще больше увеличивается, причем этот процесс протекает на фоне снижения объема перевозок массовым общественным транспортом средней и большой вместимости и чрезмерного его перераспределения на микроавтобусы, работающие в режиме маршрутного такси. Микроавтобусам для перевозки одинакового числа пассажиров требуется в 4-5 раз больше площади проезжей части, чем автобусам большой вместимости [5]. В настоящее же время в утренние часы «пик» на улицах общегородского значения доля маршрутных такси от суммарного приведенного транспортного потока достигает 30...40 % (пр. им. В.И. Ленина, ул. Рабоче-Крестьянская, Маршала Ерёменко, Николая Отрады, Ополченская).

По этим причинам транспортные потоки на магистральных улицах быстро перешли в насыщенное состояние, а их проезжая часть, особенно в зонах перекрестков и остановочных пунктов, оказалась переполненной транспортом. Все это привело к проблемам снижения скоростей сообщения, появления ситуаций регулярных заторов на участках УДС, исчерпания резервов пропускной способности транспортной сети, увеличения путевого расхода топлива, роста числа и жертв ДТП. Вследствие дальнейшего проявления этих проблем можно ожидать снижения эффективности функционирования транспортной системы города (ТСГ) в целом при одновременном увеличении масштаба ее негативного воздействия на природную среду.

По результатам мониторинга воздействия автомобильного транспорта на качество атмосферного воздуха, проводившегося в 2002—2004 гг. Департаментом по охране окружающей среды и природных ресурсов установлено многократное превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) оксида углерода, диоксида азота, углеводородов и пыли на центрально расположенных пересечениях улиц во всех районах Волгограда. По нашим данным, на участках магистральных улиц и дорог общегородского значения уровень звукового давления достигает 77...79 дБА.

Основные факторы, влияющие на шумовой режим и загазованность воздушной среды при магистральных территориях города известны: частые пересечения улиц с регулируемым движением; их малая ширина при плотной двусторонней застройке, значительные уклоны участков дорог и высокая интенсивность движения.

Опыт авторов по разработке и внедрению градостроительных мероприятий, направленных на снижение уровней загрязнения воздушного бассейна и

транспортного шума на участках УДС крупных городов, в том числе и в Волгограде (II и III Продольные магистрали, мостовой переход через реку Волгу и др.), показывает, что при всей специфике данных экологических факторов многие мероприятия по предотвращению их негативного воздействия одновременно применимы и могут быть совмещены на всех стадиях градостроительного проектирования [6, 7]. Здесь мы исходим из того, что формирование уровней шума и загазованности на городских дорогах и в уличном пространстве в результате функционирования ТСГ обусловлено сходными влияющими факторами. В обоих случаях учитываются параметры движения транспортных потоков, геометрические характеристики магистралей, приемы планировки застройки и озеленения. Поэтому при комплексной оценке качества жилой среды с учетом этих факторов достигаются вполне согласуемые решения по оптимизации проектных решений, появляется возможность установить приоритеты в реализации экологических мероприятий на основе ранжирования участков УДС по степени шумового и газового загрязнения атмосферного воздуха.

Однако для разработки градостроительных мероприятий по оптимизации экологической ситуации в городе необходим всесторонний подход к оценке воздействующих факторов. Здесь следует учесть, что вместе с воздушным бассейном мощную антропогенную нагрузку испытывают открытые водоемы города и, в первую очередь, река Волга. Все большее участие в ее загрязнении принимают дождевые и талые воды, смывающие с улиц и площадей накапливающиеся вредные вещества.

Поверхностный сток, направляемый в Волгу через 32 открытых выпуска, содержит взвешенные частицы, нефтепродукты, медь, железо, марганец, алюминий, цинк, свинец, сульфаты, хлориды и другие ингредиенты. К этому добавляются адсорбируемые водной поверхностью атмосферные загрязнения. При выпадении интенсивных дождей в реке визуально наблюдается загрязненный русловой сток на протяжении десятков километров.

Результаты систематических наблюдений за качеством речной воды, осуществляемые Волгоградским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, указывают на неуклонное повышение в реке за последние десятилетия среднегодовых концентраций взвешенных веществ, хлоридов, нефтепродуктов и тяжелых металлов: железа, меди, цинка, что следует, в первую очередь, связывать с функционированием транспортного комплекса. Образованию устойчивого загрязнения водоема при этом способствует линейно-расчлененная планировочная структура города, исторически сформировавшаяся вдоль Волги. Вполне закономерным следует считать тот факт, что содержание вредных веществ в воде по основным створам наблюдений увеличивается по мере удаления от плотины ГЭС вниз по течению реки, а затем снижается за пределами городской черты.

Результаты наблюдений за организацией поверхностного стока на УДС и выпуском дождевых и талых вод указывают на главный недостаток. Он состоит в том, что ремонт смотровых и водоприемных колодцев, очистка решеток, отстойников и лотков и другие регламентные работы выполняются выборочно и нерегулярно. В результате в периоды оттепелей и с наступлением весны складываются ситуации, когда из-за засорения элементов водосточной сети уплотненным снегом и льдом талые и дождевые воды растекаются по проезжей части на УДС и процесс водоотвода переходит в состояние неорга-

низованного склонового стока. Кроме ухудшения санитарного состояния городской территории, это приводит к снижению коэффициента сцепления на УДС, эффективности торможения транспортных средств и, как следствие, дорожно-транспортным происшествиям (ДТП).

Из показателей аварийности на УДС города за 2005—2006 гг. следует, что при увеличении общего числа ДТП основным их видом во всех районах остаются наезды на пешеходов (в среднем по городу 56,2 % в 2006 г.), а причиной — неудовлетворительные дорожные условия (от 31,6 % в Краснооктябрьском районе до 85,2 % в Центральном). Особую тревогу вызывают случаи роста ДТП с участием детей.

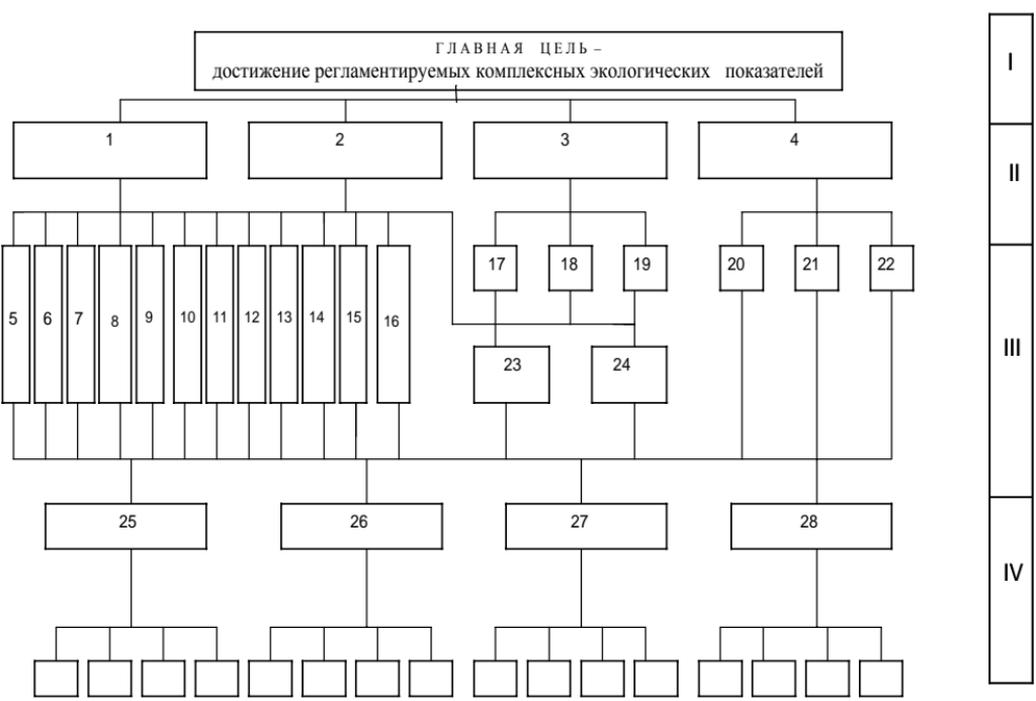
Тревожное экологическое положение в городе складывается также в связи с загрязнением почв передвижными источниками. Наибольшую опасность представляют тяжелые металлы и формальдегид, образующийся из ОГ в результате их фотохимических превращений. Его содержание составляет примерно одну четвертую часть от общего поступления химических веществ в городские почвы. Главное негативное действие формальдегида состоит в уничтожении бактерий, что приводит к снижению плодородности почв, угнетению и потере растительного покрова в городе.

Анализ состояния экологической ситуации в Волгограде указывает на необходимость принятия незамедлительных мер по снижению негативного воздействия транспортной инфраструктуры на городскую среду. Здесь необходим комплексный подход, учитывающий сложную взаимосвязь всех факторов, влияющих на качество среды обитания и экосистему в целом.

Реализация мероприятий, направленных на устойчивое и экологически безопасное развитие Волгограда и создание комфортных условий проживания населения, намечаемых в генеральном плане и комплексной транспортной схеме, возможна при объединении усилий всех структур и хозяйствующих субъектов, задействованных в сфере транспортного обслуживания, проектирования и обеспечения функционирования ТСГ. Очевидно, что для этого необходима разработка целевой программы по экологизации транспортной инфраструктуры города, обеспечивающей рациональное распределение имеющихся средств и ресурсов. Это и является основной идеей и главной задачей настоящей работы.

Под экологизацией транспортной инфраструктуры мы понимаем совокупность административных, правовых, эколого-градостроительных, технологических и экономических мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности населения как составляющей качества жизни при достижении основной цели ТСГ.

При разработке целевой программы проблему экологической безопасности ТСГ можно рассмотреть как самостоятельную подсистему вышестоящей проблемы охраны окружающей среды. Она включает в себя такие узловые подпроблемы, как безопасность природы, среды обитания и человека как потребителя транспортных услуг и участника движения. Эти взаимосвязанные элементы, обладая общей целью и взаимодействуя между собой, определяют сложную внутреннюю структуру и системную направленность программы мероприятий, которые распределяются в четыре подпрограммы: организационно-правовую, конструктивно-техническую, градостроительную и эксплуатационно-технологическую (см. рис.).



Верхние уровни дерева целей программы обеспечения экологической безопасности транспортной системы города: 1 — достижение регламентируемых экологических показателей состояния природной среды; 2 — достижение регламентируемых параметров комфортности среды обитания; 3 — намечаемое снижение показателей аварийности; 4 — повышение комфорта, снижение усталости и устранение беспокойства при передвижениях; 5 — поддержание баланса природных ресурсов и сохранение природных условий; 6 — охрана почв, недр, грунтовых вод, целебных источников, сельхозугодий и земельных ресурсов от загрязнения; 7 — предупреждение активизации неблагоприятных природных процессов (водной эрозии, заболачивания, оползней, обвалов, сходов лавин, селевых потоков); 8 — сохранение баланса экологических компонентов и равновесия в природных системах; 9 — защита почвенно-растительного покрова, природных ландшафтов и сохранение их биологической продуктивности; 10 — снижение парникового эффекта и воздействия на озоновый слой; 11 — минимизация разделяющего эффекта транспортных линий; 12 — оздоровление воздушного бассейна; 13 — охрана и очистка акваторий от загрязнения; 14 — защита от шума и вибраций; 15 — защита от электромагнитных полей и радиоактивного излучения; 16 — защита жилых зданий, производственных объектов, памятников архитектуры и культурных ценностей от воздействия выбросов и вибрации; 17 — безопасность людей и живых организмов; 18 — сохранность транспортных средств и грузов; 19 — устранение прямого воздействия на транспортные сооружения; 20 — обеспечение экологической и эпидемиологической безопасности воздушной среды и оптимальных параметров микроклимата в салонах подвижного состава и на станциях закрытого типа; 21 — снижение электромагнитного и информационного загрязнения (там же); 22 — снижение уровней шума, вибраций и скоростей ускорений; 23 — предупреждение чрезвычайных ситуаций и катастроф; 24 — снижение числа дорожно-транспортных происшествий; 25 — организационно-правовая подпрограмма; 26 — конструктивно-техническая подпрограмма; 27 — градостроительная подпрограмма; 28 — эксплуатационно-технологическая подпрограмма; (I—IV) — уровни вертикальных связей

Ясно, что достижимость поставленной цели в результате применения отдельных мер в намечаемой программе будет определяться уровнем технического прогресса и экономическими ресурсами. В связи с этим в одном случае системная цель может быть в определенной степени идеализирована и про-

грамма по ее реализации рассчитана на отдаленную или долгосрочную перспективу, а в другом — максимально конкретизирована с увязкой по срокам и исполнителям (отраслям) комплекса мероприятий, обеспечивающих ее достижение в среднесрочной или краткосрочной перспективе.

Идеальная цель в планировании природоохранных мероприятий на транспорте — достижение наиболее полного удовлетворения потребностей в транспортном обслуживании с максимальными удобствами и при отсутствии каких-либо угроз, беспокойства и вредных для населения и окружающей природной среды (атмосферный воздух, открытые водоемы, земельные ресурсы и недра, природные ландшафты и др.) воздействий. Достижение такой цели возможно лишь при переходе к полностью безвредным с гигиенической точки зрения технологиям перевозочных процессов, транспортным средствам, сооружениям и устройствам, включая безопасный режим их эксплуатации.

Конкретная же цель достигается соблюдением устанавливаемых краевых условий, ограниченных действующими гигиеническими нормативами содержания или ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе, воде водоемов, почве и предельно допустимыми уровнями (ПДУ) шума и т.д. [8]. Но поскольку эти ограничения допускают риск для здоровья и жизни населения, они не могут быть окончательно приняты и социально оправданы (как плата за блага цивилизации).

Обеспечение требуемого уровня экологической безопасности транспортной системы Волгограда должно стать стратегической целью структур управления, которые могут оказать содействие разработке и внедрению экологических инноваций, обеспечить взаимодействие инвесторов и проектных организаций с научно-исследовательскими институтами и вузами города в русле экологической проработки приоритетных проектных решений по развитию ТСГ. Крайне желательно, чтобы все мероприятия по снижению каких-либо рисков на транспорте, связанных с безопасностью, здоровьем и благополучием людей, давали максимальную отдачу, насколько это позволяет достигнутый уровень знаний.

Большие технические возможности для уменьшения числа ДТП, а также снижения уровней транспортного шума и загазованности, имеются, например, в области совершенствования элементов системы водитель — автомобиль — дорога. Это касается исправления геометрических элементов существующих автомобильных дорог и улиц в плане, поперечном и продольном профилях, реконструкции проезжей части, рациональной планировки прилегающей к магистралям застройки, применения экранирующих сооружений, разделения транспортных и пешеходных потоков на пересечениях во времени или в пространстве, технических усовершенствований автомобилей, повышения требований к водителям и т.д. Однако реальные экономические и социальные условия, к сожалению, не всегда позволяют использовать эти возможности.

Функционирование ТСГ будет неизбежно связано на какой-то период с рисками для здоровья определенной группы населения, которые в конкретных условиях развития общества должны рассматриваться как временно приемлемые [9]. Поэтому целевая программа по обеспечению экологической безопасности ТСГ должна предусматривать поэтапное снижение регламентированных рисков с параллельной проработкой механизмов защиты этой группы

населения, а также предусматривать соответствующие компенсации, закрепляемые в законодательном порядке.

В крупнейших городах и мегаполисах проблема организации движения, преобразования транспортных систем и оздоровления окружающей среды, проявляется наиболее остро. Снижение загрязнения атмосферного воздуха, транспортного шума и экологически обусловленной заболеваемости населения таких городов в условиях прогрессирующей автомобилизации и уплотнения застройки достигается в результате реализации принципиально новых транспортно-градостроительных решений крупного масштаба. К ним относится, прежде всего, снижение интенсивности движения транспортных потоков путем перевода транзитного транспорта внутригородского уровня на магистральные дороги скоростного и непрерывного движения, устраиваемые на эстакадах и в туннелях, а регионального и федерального — на обходные дороги, трассируемые на значительном удалении от городской застройки.

Подобные решения должны иметь стратегический характер, приниматься на основе концепции долгосрочного развития транспортной системы региона и учитывать закономерные тенденции освоения периферийных и пригородных зон крупнейших городов под индивидуальное и рекреационно-оздоровительное строительство. Наиболее полная изоляция транзитных автомобильных потоков федерального и регионального уровней от территорий городов и групп населенных мест позволяет разгрузить автомобильные дороги пригородных зон (секторальные, зональные), а также радиальные транспортные связи на сети магистральных городских дорог. Автомагистрали данного направления предназначены, главным образом, для пропуска концентрированных транспортных потоков, которые возникают вследствие маятниковой миграции между пригородной зоной и городом-центром. Одновременно с их разгрузкой обеспечивается независимое от местного движения следование транзита.

К числу таких наиболее значимых мер, предпринятых в крупнейших городах, можно отнести реконструкцию московской кольцевой автомобильной дороги, строительство дублеров радиальных магистралей, новых кольцевых направлений и транспортных развязок в Москве, строительство кольцевой автомобильной дороги в Санкт-Петербурге с обеспечением изоляции транспортных сооружений от территории жилой застройки экранами, полосами озеленения, гаражами, домами-экранами. Например, строительство 3-го транспортного кольца в Москве обеспечило перераспределение транспортных потоков с соответствующим изменением уровней загрязнения атмосферы ОГ автомобилей. Оценка риска для здоровья населения на участке от Автозаводского моста до Москва-сити показала, что с вводом в эксплуатацию данной магистрали прогнозируемые уровни индивидуального риска на ее наиболее загрязненных участках, а также на Садовом кольце составят соответственно  $2 \cdot 10^{-5}$  и  $2,2 \cdot 10^{-5}$  [10]. Это значительно ниже предела индивидуального пожизненного риска для населения, принятого в России, а также в ряде промышленно развитых стран.

В Волгограде решение задач совершенствования организации перевозок грузов, пропуска междугороднего и межрайонного транзита и снижения вредного воздействия транспорта на окружающую среду достигается путем строительства объездной магистрали, связывающей федеральные дороги

«Волгоград — Каменск — Шахтинский» (М-21) и «Каспий» М-6 (подъезд к г. Элисте). В зону тяготения этой дороги протяженностью 35 км входят 3 южных района города и 2 административно-территориальных района области. В перспективе, в соответствии с программой модернизации и развития сети автомобильных дорог Южного федерального округа до 2025 г., этот обход Волгограда будет входить в состав международного транспортного маршрута направления «восток-запад».

Транспорт использует ресурсы: атмосферный воздух, почву, водоемы и одновременно оказывает негативное воздействие на эти и многие другие компоненты природной среды. Поэтому в основе выбора оптимального варианта развития ТСГ должна быть интегральная оценка такого воздействия на экосистему города. Основная трудность здесь заключается в переходе от частных гигиенических критериев оценки к показателю, количественно оценивающему влияние ряда ведущих экологических факторов.

К настоящему времени для комплексной оценки качества окружающей среды предложено несколько модификаций интегральных показателей, однако их подробный анализ выходит за рамки данной работы. Отметим лишь, что большая часть этих показателей ориентирована на общественное здоровье, а оценки рисков, базирующихся на них и действующих санитарно-гигиенических нормативах, в целом отвечают принципам его управления. Вместе с тем, они не учитывают условий безопасности и сохранности природных экосистем и с их помощью невозможно решить многие аспекты проблемы снижения многостороннего негативного воздействия транспорта на окружающую среду [11].

Безусловно, системы ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, воде водоемов, почве и ПДУ физического воздействия на человека должны использоваться как важные меры для сдерживания дальнейшего роста транспортных загрязнений различного типа, однако в качестве главных средств регламентации оздоровительных мероприятий в сфере развития ТСГ должны стать экологические критерии. Разработка широкого спектра этих показателей и нормативов находится еще в начальной стадии, поэтому на первых этапах реализации такого подхода в качестве критериев оценки медико-экологического благополучия среды обитания могут использоваться показатели экологической и экологически обусловленной заболеваемости населения [12, 13].

С этой целью все имеющиеся данные медицинской статистики, полученные по результатам социально-гигиенического мониторинга за загрязнением среды обитания и показателями здоровья населения, проживающего на территории, прилегающей к транспортной сети, объединяются в специально формируемую медико-биологическую геоинформационную систему. Важнейшее значение в диагностике случаев экологически обусловленных заболеваний придается здесь внедрению системы биомониторинга, в том числе и с использованием детских экопатологий [10, 14, 15].

Полученные данные представляются на топографических слоях с помощью изолиний. Здесь можно выделить участки территории с повышенной плотностью как отдельных экопатологий, так и суммарной заболеваемости населения. Такие карты, фиксирующие расположение зон наибольшего экологического риска (как и карты концентрации ДТП), могут использоваться

для принятия эффективных решений по управлению качеством среды обитания в сфере транспортно-градостроительного планирования, городского хозяйства и организации движения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волгоград: в новый век с новой стратегией / В.И. Атопов, В.И. Галушкин, В.Н. Кабанов, А.В. Антюфеев. Волгоград, 2001. С. 167.
2. Гичев Ю. П. Загрязнение окружающей среды и экологическая обусловленность патологии человека : аналитический обзор. Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2003. 137 с.
3. Максименко Ю.Л. Государственная экологическая экспертиза в России: время упущенных возможностей / Ю.Л. Максименко, И.Д. Горкина // Экологическая экспертиза. 2007. № 3. С. 2—12.
4. Казанцева Л.К. Экология и здоровье: современная ситуация в России / Л.К. Казанцева, Т.О. Тагаева // Системное исследование экономических процессов в России : сб. науч. тр. Ин-т экон. и орг. пром. пр-ва СО РАН. Новосибирск : ИЭОП СО РАН, 2004. С. 98—108.
5. Сафронов Э. Начало реформирования ГПТ — совершенствование маршрутных сетей городов / Э. Сафронов, К. Сафронов, Д. Киммель // Автомобильный транспорт. 2004. № 5. С. 57—58.
6. Балакин В.В. Экологическая оценка вариантов трассы городских дорог и транспортных развязок // Транспортное строительство. 1998. № 1. С 16—17.
7. Балакин В.В. Экологическое обоснование проектов планировки, застройки и благоустройства примагистральных территорий // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. Брянск, 1998. С. 144—148.
8. Попов А.В. Системный подход к проблеме оздоровления городской среды // Оздоровление окружающей среды городов : сб. науч. тр. М. : ЦНИИП градостроительства, 1975. С. 17—24.
9. Кацнельсон Б.А. Концепция «приемлемого риска» – ключевой дискуссионный вопрос оценки и управления рисками для здоровья населения / Б.А. Кацнельсон, С.В. Кузьмин, В.Б. Гурвич // Гигиена и санитария. 2007. № 3. С. 76—80.
10. Никонов Б.И. Роль системы социально-гигиенического мониторинга в сохранении и укреплении здоровья населения (на примере Свердловской области) / Б.И. Никонов, С.В. Кузьмин, О.Л. Малых // Гигиена и санитария. 2007. № 3. С. 73—76.
11. Горюнова С.В. К вопросу о применении экологических нормативов для оценки качества окружающей природной среды / С.В. Горюнова, А.А. Касьяненко, А.А. Жилкин // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. 2003. № 7. С. 109—115.
12. Винокур И.Л. Антропогенная нагрузка на урбанизированные территории и здоровье населения / И.Л. Винокур, Р.С. Гиндельскиольд, Г.В. Гуськов и др. // Гигиена и санитария. 1997. № 6. С. 49—52.
13. Ретнёв В.М. Организационно-правовые вопросы при определении ущерба здоровью населения от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды / В.М. Ретнёв, Н.С. Шляхецкий // Гигиена и санитария. 2005. № 3. С. 60—62.
14. Районирование территорий по здоровью окружающей среды с использованием детских экопатологий в качестве биоиндикационных параметров / А.Б. Стрельцов, З.М. Мустафаев, А.А. Логинов, Н.Н. Букина // Биологические аспекты экологии человека : матер. всерос. конф. с междунар. участ. Т. 2. Архангельск : Изд-во СГМУ, 2004. С. 148—149.
15. Кожеватов Е.Д. Экологические условия и заболеваемость населения г. Казани / Е.Д. Кожеватов, Л.Ю. Савельева // География и регион : матер. науч.-практ. конф. Пермь : Изд-во Перм. гос. ун-та, 2002. С. 125—129.

УДК 625.7.711

**Н.П. Толстиков, А.С. Голич****РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ И ОЦЕНКА УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ С УЧЕТОМ КРИВИЗНЫ ЧАШИ ПРОГИБА**

Изложен разработанный авторами метод определения растягивающих напряжений в асфальтобетонных покрытиях, находящихся в эксплуатации. По результатам линейных испытаний и разовых измерений чаши прогиба предлагается способ получения статистического ряда растягивающих напряжений, который в целях определения уровня надежности указанного критерия прочности обрабатывается вероятностными методами.

According to authors propose the new method of determination of stretching tensions row in road pavements during their service life by the statistical methods.

Под воздействием многократной подвижной нагрузки в монолитных слоях дорожной одежды нежесткого типа возникают растягивающие напряжения, приводящие к усталостным разрушениям с последующей интенсивной потерей ровности покрытия и, следовательно, к отказу автомобильной дороги в целом, так как связь ровности покрытия и скорости движения общеизвестна. Поэтому величину растягивающих напряжений целесообразно принять в качестве одного из частных критериев надежности дорожной конструкции. В этом случае вероятность безотказной работы верхних монолитных слоев может быть выражена следующей зависимостью:

$$P_{(\sigma_r)} = 1 - F_{(\sigma_r)} = 1 - \int_0^{\sigma_{r_{\max}}} f_{(\sigma_r)} d\sigma_r, \quad (1)$$

где  $F_{(\sigma_r)}$  — интегральная функция кривой распределения;  $f_{(\sigma_r)}$  — плотность вероятностей закона распределения;  $\sigma_{r_{\max}}$  — предельно допустимое растягивающее напряжение материала слоя, МПа.

Однако установить характер распределения растягивающих напряжений в дорожных покрытиях, находящихся в эксплуатации, по методике [4], основанной на известном решении М.Б. Корсунского, весьма затруднительно. Вместе с тем, из теории упругости известно, что если рассматривать слой асфальтобетона при пониженных температурах как упругую пластинку, лежащую на упругом изотропном полупространстве и закрепленную по контуру, то величину растягивающих напряжений при изгибе можно определить по формуле [6]:

$$\sigma_r = \frac{E \cdot h}{2 \cdot (1 - \mu^2) \cdot \rho}, \quad (2)$$

где  $E$  — модуль упругости монолитного слоя, МПа;  $h$  — толщина пластинки (в данном случае слоя из асфальтобетона), см;  $\mu$  — коэффициент Пуассона;  $\rho$  — радиус кривизны чаши прогиба, см.

При задании функции упругой линии в аналитической форме радиус кривизны чаши прогиба может быть вычислен по формуле [2]:

$$\rho = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{1,5}}{\frac{d^2y}{dx^2}}. \quad (3)$$

Как показывает анализ формулы (3), величиной  $\left( \frac{dy}{dx} \right)^2$  можно пренебречь, т.к. она мала по сравнению с единицей. Поэтому принимаем:

$$\rho = \frac{1}{\frac{d^2y}{dx^2}}. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что для определения радиуса кривизны необходимо аппроксимировать упругую линию чаши прогиба такой кривой, которая была бы дифференцируема дважды.

В [3] дается достаточно подробный анализ различных аппроксимирующих кривых, из которых автор рекомендует параболу и круговую кривую, как дающие наиболее близкие результаты при отклонениях до 20 %. Однако рекомендуемые аппроксимирующие кривые не дают возможности получить радиус кривизны с достаточной степенью точности и с использованием математически корректной зависимости (3).

Нашими исследованиями установлено, что упругая линия чаши прогиба с достаточно высокой степенью точности аппроксимируется показательной функцией вида (рис. 1)

$$y = a \cdot b^x, \quad (5)$$

где  $a$  и  $b$  — параметры функции.

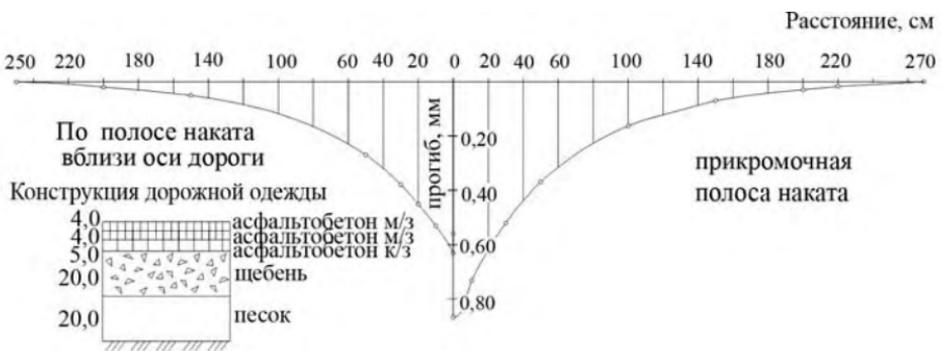


Рис. 1. Очертание упругой линии чаши прогиба под левым и правым колесами автомобиля (автодорога Средняя Ахтуба — Ленинск)

Анализ (5) показывает, что при  $x=0$   $y$  получает значение величины упругого прогиба (с точностью до 5...7 %), измеряемого при линейных испытаниях, что открывает реальную возможность формирования статистического ряда для отыскания закона распределения растягивающих напряжений.

Параметр  $b$  определяется на основе разовых измерений очертания чаши прогиба в натуральных условиях. Этот параметр является весьма чувствительной величиной, и его необходимо вычислять с точностью до пятого знака после запятой. Он зависит от конструкции и эксплуатационного состояния дорожной одежды, а также от водно-теплового режима грунтового основания. Так, используя данные А.К. Бируля [1] о чаше прогиба дорожной одежды (IV дорожно-климатическая зона), мы получили параметр  $b = 0,9866$ , в то время как по данным исследований В.П. Корюкова [3], во II дорожно-климатической зоне значение параметра  $b$  составило  $0,9878$ . По результатам наших исследований: для автодороги Новоаннинск — Жирновск (IV дорожно-климатическая зона)  $b = 0,9840$ , для дороги Средняя Ахтуба — Ленинск (V дорожно-климатическая зона)  $b = 0,9834$  вблизи оси проезжей части,  $0,9836$  — в прикромочной полосе. Отметим здесь, что конструкции дорожных одежд во всех перечисленных случаях были примерно одинаковы и разница значений  $b$  обуславливалась только различием водного и теплового режимов земляного полотна.

Радиус чаши прогиба в плане легко вычисляется при подстановке в (5) значения  $y$ , равного цене деления индикатора прогибомера  $y = 0,01$ .

Для определения радиуса кривизны упругой линии чаши прогиба по формуле (4) возьмем вторую производную от функции (5):

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = l \cdot b^x \cdot (\ln b)^2. \tag{6}$$

Установлено, что произведение радиуса кривизны и упругого прогиба  $\rho_i \cdot l_i$  является постоянной величиной в любой точке упругой линии и менее чувствительно к сезонным колебаниям в отличие от самих показателей. Это произведение связано с параметром  $b$  следующим соотношением (рис. 2):

$$\rho_i \cdot l_i = \frac{1}{(\ln b)^2} \tag{7}$$

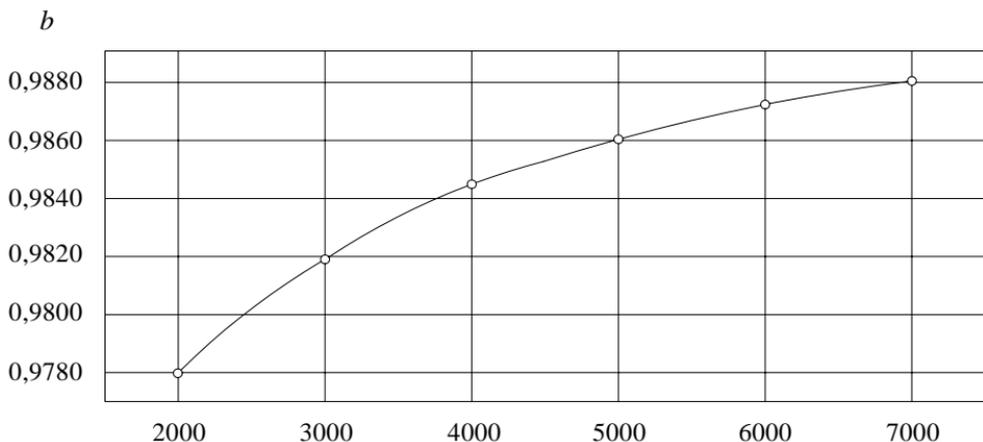


Рис. 2. Зависимость параметра  $b$  от произведения  $\rho_i \cdot l_i$

Соотношение (7) дает возможность при известных величинах прогибов, полученных во время линейных испытаний на характерном участке дороги, определять радиус кривизны, а затем по (2) вычислять величины растягивающих напряжений. Так, на основе линейных испытаний и разового замера чаши прогиба автодороги Средняя Ахтуба — Ленинск (38...46-й км) нами был получен вариационный ряд  $\sigma_r$ , который с высокой степенью вероятности следует закону распределения Вейбулла (рис. 3) с параметрами:  $M_{(\sigma_r)} = 2,135$ ;  $\sigma_{(\sigma_r)} = 0,1257$ ;  $C_{v(\sigma_r)} = 0,06$ ;  $\mu = 0,45$ ;  $a = 2,19$ ;  $n = 22$ . Критерий согласия Пирсона  $\chi^2 = 1,65$ , что при числе степеней свободы  $r = 7 - 3 = 4$  дает  $P_{(1,65;4)} = 0,8$ . Следовательно, распределение Вейбулла приемлемо с высокой степенью вероятности. После интегрирования (1), получим выражение для кривой надежности

$$P_{(\sigma_r)} = e^{-\left(\frac{\sigma_r}{a}\right)^n}. \quad (8)$$

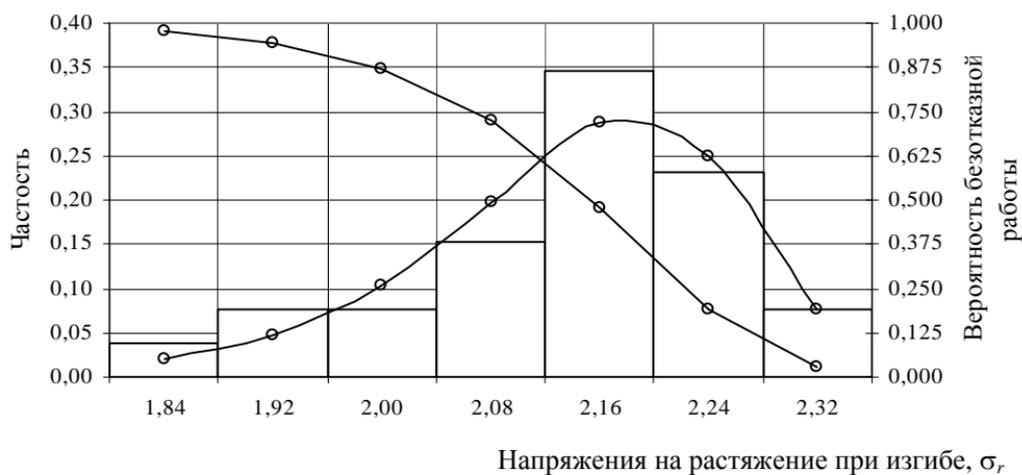


Рис. 3. Гистограмма частот растягивающих напряжений  $\sigma_r$ , выравнивающая ее теоретическая кривая распределения Вейбулла и кривая надежности (автодорога Средняя Ахтуба — Ленинск)

Для определения величины доверительного интервала разброса среднего результата при вероятности  $P = 95\%$  воспользуемся следующим выражением для полуинтервала разброса:

$$\delta = \frac{\sigma_{(\sigma_r)}}{\sqrt{n}} \cdot \arg \Phi(P = 95\%) = \frac{0,1257}{\sqrt{7}} \cdot 1,96 = 0,093 \text{ МПа.}$$

Тогда, доверительный интервал составит  $M_{\sigma_r} \pm \delta = 2,135 \pm 0,093$  или  $2,04 < M_{\sigma_r} < 2,23$ .

Кроме этого, было определено экстремальное значение  $\sigma_r$  [5]:

$$\sigma_{r_{\max}} = M_{(\sigma_r)} \cdot \frac{\left(\ln \frac{1}{1-K_n}\right)^{\frac{1}{n}}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{n}\right)} = 2,135 \cdot \frac{\left(\ln \frac{1}{1-0,95}\right)^{\frac{1}{22}}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{22}\right)} = 2,31, \quad (9)$$

где  $K_n$  — заданный уровень надежности для дорог III технической категории [4].

Заметим, что значение  $\sigma_{r_{\max}}$  лежит за пределами доверительного интервала, т.е. обследуемая конструкция дорожной одежды находится в удовлетворительном состоянии по критерию растягивающих напряжений.

Таким образом, воспользовавшись результатами линейных испытаний, а также зависимостью (2), мы можем получить статистический ряд, необходимый для отыскания закона распределения растягивающих напряжений как вероятностной величины. При этом можно рекомендовать следующий алгоритм решения задачи:

- 1) измерение величины упругих прогибов в процессе линейных испытаний;
- 2) одновременно с п. 1 измеряется очертание чаши прогиба в наиболее характерном месте для данного участка;
- 3) методом наименьших квадратов находим параметры показательной функции  $a, b$ ;
- 4) определяем теоретические значения прогибов по длине упругой линии и вычисляем основную ошибку;
- 5) вычисляем по (7) произведения  $\rho_i \cdot l_i$  по длине упругой линии и усредняем их;
- 6) воспользовавшись средним значением произведения  $\rho_i \cdot l_i$ , определяем радиусы кривизны при  $x = 0$ , т. е. в центре нагружения;
- 7) с помощью формулы (2) определяем значения растягивающих напряжений при изгибе  $\sigma_r$  на нижней границе асфальтобетонного слоя, получая при этом статистический ряд, который обрабатывается по общепринятой методике.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бируля А.К. Работоспособность дорожных одежд / А.К. Бируля, С.И. Михович М. : Транспорт, 1968. 172 с.
2. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев М. : Наука, 1967. 608 с.
3. Корюков В.П. Совершенствовать метод оценки прочности нежестких дорожных одежд // Автомобильные дороги. 1981. № 11. С. 14—16.
4. Проектирование нежестких дорожных одежд. ОДН 218.046-01. Мин. Транспорта РФ, М., 2001. 144 с.
5. Семенов В.А. Качество и однородность автомобильных дорог. М. : Транспорт, 1989. 125 с.
6. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. Ч. 2. Л. ; М., 1933. 340 с.

УДК 691.168:625.768.6

*Н.С. Ковалев, В.И. Ромасев, В.А. Князев***УМЕНЬШЕНИЕ СКОЛЬЗКОСТИ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ  
В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ**

Рассмотрены вопросы снижения зимней скользкости. Предложено получение минерального порошка, обладающего противогололедными свойствами, путем совместного помола карбонатных пород, хлористого натрия в присутствии битума. Приведены результаты обследования покрытия на экспериментальном участке.

The questions on winter slipperiness declination are analyzed. Mineral powder possessing anti-glazed qualities production by grinding carbonate rock, and sodium chloride and bitumen is suggested. The results of testing of surface on experimental plots are given here.

Одной из важнейших проблем при эксплуатации автомобильных дорог является борьба с зимней скользкостью, вероятность образования которой возможна практически на всей территории России. Все виды снежно-ледяных отложений, образующихся на дорожных покрытиях, по внешним признакам подразделяют на рыхлый снег, снежный накат, стекловидный лед. Образование стекловидного льда может иметь различные причины и возможно при различных погодных условиях: это может быть гололедица, изморозь и тонкий прозрачный слой льда, который трудно обнаружить визуально (черный лед). Эти виды зимней скользкости существенно снижают коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием автомобильных дорог и приводят к уменьшению скорости движения автомобилей, уменьшению пропускной способности дорог, увеличению числа дорожно-транспортных происшествий, человеческих жертв и порче грузов. Поэтому безопасности эксплуатации дорог в зимнее время придается первостепенное значение.

В основе существующих методов борьбы с зимней скользкостью лежат мероприятия, направленные либо на удаление с покрытия образовавшегося льда или снежного наката, либо на повышение коэффициента сцепления колеса автомобиля с покрытием, либо на предотвращение формирования снежно-ледяных образований или ослабления их сцепления с покрытием автомобильных дорог.

Снижение зимней скользкости дорожных покрытий возможно путем их обработки фрикционными материалами (песком, гравием, шлаком, золой уноса, песчано-гравийной смесью, мелким щебнем); химическими (твердыми сыпучими или жидкими); комбинированными (смесь фрикционных и химических материалов) [1].

Фрикционный способ — один из наиболее широко применяемых способов борьбы с гололедом в смеси с солями и без них — недостаточно эффективен, малоэкономичен и не отвечает современным требованиям к содержанию дорог в зимнее время. Этот способ борьбы с зимней скользкостью на определенный период времени повышает коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием за счет закрепления на поверхности применяемых материалов [2]. При большой интенсивности фрикционные материалы сдуваются с покрытия, накапливаются на обочинах и забивают ливневые канализаци-

ции. Поэтому эффективность действия фрикционного материала носит временный характер, и применяют их на дорогах III—V категорий.

Химический способ борьбы с зимней скользкостью твердыми химическими реагентами не находит широкого применения, так как отсутствуют машины отечественного производства, позволяющие распределять материалы малыми порциями (от 4 до 30 г/м<sup>2</sup>), к тому же при этом происходит сильное негативное воздействие на придорожную растительность и коррозию автомобилей и ограждающих конструкций.

Применение жидких противогололедных материалов также не внушает оптимизма, так как по данным исследований [3] после обработки покрытия уменьшается коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием. К тому же эффективно использовать растворы солей возможно при температуре воздуха не ниже -5 °С [1], в противном случае при непредвиденном снижении температуры ниже -10 °С возможно образование искусственного гололеда по всей площади обработанного покрытия.

Все вышеперечисленные методы борьбы с зимней скользкостью основаны на воздействии противогололедных компонентов «сверху», т.е. противогололедные материалы распределяются машинами и механизмами на обрабатываемые площади.

Негативная статистика экологических и экономических проблем, возникающих при осуществлении поверхностной обработки снежно-ледяных образований на дорожном покрытии, давно поставила актуальной задачу создания асфальтобетонных покрытий с антигололедными свойствами.

Начало этому направлению положил материал «Verglimit», разработанный в конце 1970-х гг. швейцарской фирмой Пластроуте. Эта добавка содержит капсулы кристаллизованного хлорида кальция, покрытого полимерной оболочкой, равномерно распределенные в асфальтобетонной смеси верхнего слоя дорожной одежды. В асфальтобетон «Verglimit» вводился в количестве 5% от массы мелкозернистого каменного материала.

Под воздействием автомобильного транспорта капсулы, находящиеся у поверхности, вскрываются, и частицы хлорида кальция распределяются по поверхности покрытия [4]. Наблюдения за опытными участками покрытий, построенных по этому способу в США, показали, что образование гололеда замедлилось, количество дорожно-транспортных происшествий снизилось по сравнению с другими участками, однако стоимость асфальтобетона с добавками антиобледенителя увеличилась в 3 раза [5]. Такое покрытие работает эффективно при интенсивности движения свыше 5000 авт./сут., что значительно сокращает область его применения.

В конце 1980-х гг. подобные исследования начали и в нашей стране [6]. В асфальтобетонную смесь вводили побочный продукт повторной плавки алюминиевых сплавов на основе хлоридов калия и натрия, однако данный материал распространения не получил. А.В. Михайлов и Т.А. Коцюбинская [7] отмечают, что гранулы хлоридов способны набухать и вызывать тем самым минидеформации покрытия, которое к тому же оказывается подверженным повышенной истираемости. Способ грануляции не удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к асфальтобетонному материалу: сохранению исходных свойств и обеспечению стабильного антигололедного эффекта.

Сотрудниками ГипродорНИИ изобретен «Способ приготовления композиции для устройства верхнего слоя дорожного покрытия», сущность которого составляет введение в асфальтобетонную смесь 3...5 %-й антигололедной добавки размером частиц не более 0,2 мм. Эта добавка представляет собой продукт совместного измельчения хлористых солей (90 %) и гидрофобизатора на основе кремнийорганических продуктов (10 %).

На основе этого изобретения были разработаны указания [8], в которых рекомендуется использовать эту добавку в покрытиях на автомобильных дорогах I, II, III технических категорий с интенсивностью движения не менее 100 авт./ч, при этом отмечается, что при малой интенсивности движения антигололедный эффект незначителен. Добавка обеспечивает антигололедный эффект при температурах до  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 5...6 лет. Однако недостатком «Грикола», по мнению самих разработчиков, является то, что применение его в составе асфальтобетона на всю толщину покрытия неэффективно, так как в противогололедном процессе участвует лишь изнашиваемая поверхность [9].

Опыты, проведенные авторами данной статьи, подтверждают целесообразность дисперсного распределения противогололедного компонента во всем материале. Дисперсное распределение тонкоизмельченных хлоридов было бы логичным решением, однако битумная пленка и молотые хлориды имеют неудовлетворительное сцепление, что резко снижает физико-механические свойства асфальтобетона.

Нами проведены лабораторные исследования и опытно-производственное строительство асфальтобетонных покрытий с противогололедным минеральным порошком, полученным путем совместного помола известняка, хлористого натрия в присутствии битума [10]. Введение водорастворимых фосфатов мы считаем излишним, так как противогололедный компонент будет работать «снизу» и коррозия автомобилей не будет происходить ввиду отсутствия прямого контакта хлорида с металлическими частями автомобилей.

Новый подход к получению качественных асфальтобетонных смесей для строительства дорог и получению противогололедных покрытий основан на теории твердофазных реакций, которые инициируются механическим воздействием, приводящим к диспергированию и взаимодействию твердофазных реагентов [11]. Разрушение твердых фаз приводит к образованию нарушений атомной структуры, обуславливающих снижение энергетического барьера потенциальных химических реакций. Благодаря диспергированию и интенсификации массопереноса в процессе совместного помола реагирующих веществ становится возможным твердофазный механохимический синтез. Совместный помол карбонатной горной породы и хлоридов в присутствии органического вяжущего позволил получить не только модифицированный минеральный порошок, значительно повышающий качество асфальтобетонных, но и асфальтобетонные покрытия, обладающие противогололедными свойствами.

При совместном помоле известняка с хлоридами достигается не только тонкое измельчение компонентов, но и высокая степень однородности их распределения в битумо-минеральной смеси при введении указанного минерального порошка. При совместном помоле компонентов возникают свободные радикалы на поверхностях известняка, хлоридов, которые рекомбинируют между собой, и хлориды оказываются частично привитыми на поверхно-

сти известняка. Введение в измельчаемые материалы битума предотвращает агрегацию тонкоизмельченных частиц и изменяет их поверхность, делая ее родственной асфальтовяжущему веществу битумоминеральных смесей.

Для приготовления предлагаемого минерального порошка применяют широко распространенные материалы невысокой стоимости. Процессы приготовления минерального порошка с противогололедной добавкой совмещены в одной операции — помол. Вследствие этого стоимость приготовления битумоминеральных смесей с предлагаемой добавкой будет значительно ниже, чем при использовании существующих противогололедных добавок.

Адгезия льда к поверхности битумоминерального материала (прочность примерзания) снижается в 3...9 раз по сравнению с битумоминеральными материалами без противогололедных добавок.

Положительные результаты лабораторных исследований, проведенных авторами данной статьи [10], позволили провести опытно-производственное строительство участков битумоминеральных покрытий автомобильных дорог по предлагаемому способу. За построенным опытным участком покрытия автомобильной дороги проводили систематические наблюдения в течение зимнего периода времени 2005 и 2006 гг. При визуальном обследовании установлено, что предлагаемая противогололедная добавка препятствует примерзанию льда и снежного наката к поверхности покрытия до температуры  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , обладает высокой плавящей способностью. На поверхности покрытия экспериментального участка постоянно находятся ионы хлора, которые препятствуют сцеплению ледяных образований с поверхностью дороги [12]. При этом процесс, препятствующий образованию и развитию кристаллов льда на границе «поверхность покрытия — лед», определяется составом и концентрацией солей.

В результате наблюдений установлено, что по состоянию поверхности покрытия участок с антигололедным покрытием не отличается от соседних, которые обрабатывались песко-соляной смесью. При несвоевременной уборке снега вдоль кромок проезжей части опытного участка на ширину 0,2...0,5 м имелся снежный накат, который легко отделялся от поверхности покрытия и разрушался колесами автомобильного транспорта при температуре окружающего воздуха  $-4\text{...}-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На соседнем участке покрытия, обработанного песко-соляной смесью, ширина снежного наката достигала 1...1,5 м, и полосы такого наката превращались в ледяные образования, отделить которые от покрытия практически невозможно.

В битумоминеральных покрытиях имеются поры, которые сообщаются как с поверхностью покрытия, так и между собой. Диффузия растворов солей в ультраповерхностный слой, ответственный за взаимодействие льда и асфальтобетона, происходит в соответствии с первым законом Фика, включающим характерный параметр — коэффициент диффузии:

$$J = -D \, dc/dx,$$

где  $J$  — диффузионный поток;  $D$  — коэффициент диффузии;  $dc/dx$  — градиент концентрации. Знак минус указывает на направление потока от больших концентраций к меньшим.

При поступлении воды в поры происходит диффузия через битумную пленку хлоридов и растворение их в воде. На поверхности битумоминераль-

ного покрытия хлориды обнажаются при истирании на них пленки битума, но концентрация хлоридов в растворах здесь всегда ниже, чем в глубинных слоях битумо-минерального слоя, так как соли хлоридов растворяются здесь в большем количестве воды, а также частично удаляются с талой водой при разрушении гололедного слоя и с осадками в виде дождя и снега.

Потери солей в поверхностном слое покрытия восполняются из глубины слоя за счет всасывающего действия шин колес автотранспорта и диффузных процессов. Скорость накопления реагента в поверхностном слое, обусловленная диффузией, определяется вторым законом Фика:

$$dc/dt = D dc/dx,$$

где  $t$  — время.

Поэтому концентрация солей хлоридов на поверхности битумо-минерального покрытия практически постоянна и достаточна для эффективного снижения адгезии льда к покрытию при гололеде и для более легкого его разрушения колесами автотранспорта вследствие его рыхлости и таяния.

Известно, что лед практически не растворяет соль [7] и она концентрируется на его поверхности в некотором слое, расположенном между льдом и асфальтобетонным покрытием, и способствует эффективному плавлению связей льда с асфальтобетоном. В этом заключается существенное различие в действии химического реагента «снизу» по сравнению с россыпью его на поверхности снежно-ледяного наката. Не вызывает сомнения, что применение модифицированного минерального порошка позволит резко снизить негативные воздействия на окружающую среду и коррозионное воздействие на транспортные средства и обстановку дороги.

Выше написанное позволяет сделать вывод о возможности применения предлагаемой добавки на дорогах с любой интенсивностью движения, что существенно расширит область ее применения, при эффективности действия до температуры  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах : отраслевой дорожный методический документ / Росавтодор. М. : Информавтодор, 2003. 72 с.
2. *Лефельд К.Г.* Зимнее содержание дорог / К.Г. Лефельд, Х. Бартц, П. Матц и др. М. : Транспорт, 1977. 210 с.
3. *Мазепова В.И.* Влияние жидких хлоридов на скользкость дорожного покрытия / В.И. Мазепова, Л.М. Рудаков // Совершенствование организации и технологии ремонта и содержания автомобильных дорог : сб. науч. тр. ГипродорНИИ. М. : 1979. С. 122—126.
4. Performance of two ice – retardant oferlays // Public works. 1978. 118. № 7.
5. Борьба с оледенением покрытий дорог в зимнее время // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог. Зарубежный опыт : экспресс-информация. ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. М., 1981. № 2. С. 61—65.
6. *Касымов А. И.* Асфальтобетоны с пониженной адгезией льда // Проектирование, строительство и эксплуатация автодорог : материалы науч.-техн. семинара. Л., 1988. С. 65—70.
7. *Михайлов А.В.* Строительная теплотехника дорожных одежд // А.В. Михайлов, Т.А. Коцюбинская. / М. : Транспорт, 1986. 145 с.

8. Методические рекомендации по применению наполнителя «Грикол» в составах асфальтобетонных смесей для устройства покрытий с антигололедными свойствами : отраслевой дорожный методический документ / Росавтодор. М. : Информавтодор. 2002. С. 12.

9. *Лысенко В.Е.* Готовь сани летом / В.Е. Лысенко, С.В. Гриневич, Вл. Подольский // Автомобильные дороги. 1997. № 7. С. 14—15.

10. *Ковалев Н.С.* Снижение скользкости покрытий при зимнем содержании автомобильных дорог / Н.С. Ковалев, В.И. Ромасев, В.А. Князев // Сб. научн. трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение». Т. 8. Технические науки. Одесса, 2005. С. 53—57.

11. *Tamann G.* Chemische Reaktionen in Pulverförmigen Gemengen zweier Kristallarten Z. Anorgan. Chem. 1925. № 149.

12. *Ковалев Н.С.* Противогололедные битумоминеральные смеси для строительства автомобильных дорог / Н.С. Ковалев, В.И. Ромасев // Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції «Динаміка наукових досліджень — 2005». Т. 48. Будівництво та архітектура. Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2005. С. 26—29.

© *Ковалев Н.С., Ромасев В.И., Князев В.А., 2007*

УДК 625.712.089.2

*Б.А. Бондарев, А.Д. Корнеев, Е.Г. Чистяков, А.В. Пономарев, А.Б. Бондарев***ВЫБОР КРИТЕРИЕВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПРОВЕДЕНИЕ РЕМОНТНЫХ РАБОТ И УСТАНОВЛИВАЮЩИХ МЕЖРЕМОНТНЫЕ СРОКИ СЛУЖБЫ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРОДСКИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Обсуждаются проблемы текущего и перспективного планирования мероприятий по эксплуатации автомобильных дорог и контролю за их выполнением. Построена математическая модель оптимального графика проведения выборочных капитальных ремонтов.

The authors discuss the issues of current and prospective planning of highway maintenance measures and control of their implementation. They have developed a mathematical model of optimal graph of selective major overhaul.

Проблемы качества городских автомобильных дорог и их конструктивных элементов, их надежность и долговечность являются важными критериями в дальнейшей эксплуатации.

В этих условиях одной из главных задач современного дорожного строительства является разработка научно обоснованных норм способов содержания, обслуживания, текущего и капитального ремонтов автомобильных дорог. Особенно это касается городов, в которых автомобильные дороги являются важнейшим средством жизнеобеспечения населения.

Известно, что строительство городских автомобильных дорог состоит из трех основных этапов: проектирование, строительство и эксплуатация. В зависимости от категории дороги соотношение между затратами и временем по указанным трем этапам строительства может быть представлено в следующей пропорции. Проектирование в современных условиях длится в зависимости от сложности объекта месяц (месяцы) и составляет по затратам примерно 2—3 % от стоимости возведения дороги, само строительство осуществляется в течение месяцев (годы), а эксплуатация, т.е. поддержание дороги в исправном состоянии с выполнением возложенных на нее функций, длится десятки, а то и сотни лет, при этом затраты на эксплуатацию составляют 6...8 % от восстановительной стоимости. Отсюда следует, что примерно через 15 лет затраты на ремонт и содержание дороги приравниваются к затратам на ее строительство [1].

Анализ причин, приводящих к увеличению эксплуатационных расходов городских автомобильных дорог, показывает, что убытки, связанные прямо или косвенно со строительством автомобильных дорог и проектированием, можно условно разделить на две группы: недостаточные качества дорожно-строительных материалов и работ, несовершенство проектно-сметной документации.

В стадии проектирования принимаются решения, не обеспечивающие достаточной надежности дорожных покрытий и инфраструктуры. В проектах автомобильных дорог, как правило, нет четких указаний по эксплуатации, содержанию и ремонту дорог. Кроме того, из-за низкой квалификации эксплуатационного персонала и отсутствия научно-обоснованных нормативов по межремонтным срокам городские автомобильные дороги зачастую при больших затратах не выполняют своих функций.

В пересмотре нуждается состав и содержание документации, связанной с эксплуатацией автомобильных дорог за все время их существования.

Предназначенная для хранения в течение всего срока службы дороги, документация должна содержать все необходимые сведения для текущего и перспективного планирования мероприятий по эксплуатации и контролю за их выполнением, а также статистические материалы за длительный период для проектных и научно-исследовательских организаций. Хранение этой документации и периодическое ее пополнение должно проводиться в электронном виде на основе современных информационных технологий. Содержание должно быть пересмотрено с включением следующих разделов:

- оценка состояния и физического износа дорожных покрытий оснований и конструктивных элементов покрытий, инфраструктуры дорожного хозяйства на основе периодических исследований;

- оценка технического состояния дорог по отдельным участкам (в зависимости от пропускной способности);

- определение оптимальных сроков планово-предупредительных работ, текущих и капитальных ремонтов;

- анализ работы дорожно-строительных материалов в конкретных эксплуатационных условиях и выбор перспективных;

- учет затрат на эксплуатацию автомобильной дороги и инфраструктуры дорожного хозяйства;

- прогнозирование возможных затрат на планово-предупредительные работы, текущий и капитальный ремонт;

- минимизация затрат на основе принятия оптимальных управленческих решений.

Существующие методики установления затрат на содержание и ремонт автомобильных дорог в основном определялись по состоянию дорожных одежд и по приведенным затратам, что было не совсем правильным. Известный нормативный метод по определению стоимости работ на содержание автомобильных дорог и норм затрат труда имеет целый ряд недостатков. Одним из них является то, что имеется большой разброс между верхним и нижним периодами капитальных ремонтов для дорожных одежд нежесткого типа из асфальтобетона с интенсивностью движения более 5000 автомобилей в сутки. При ежегодном приросте движения 5...15 % этот разброс составляет более 5 лет.

Увеличение межремонтного срока до верхнего периода способствует экономии затрат в 2 раза.

Различают перспективное планирование по межремонтным срокам службы дорожных одежд и текущее (годовое), при котором потребность соответствующего ремонта устанавливается на основе фактического состояния конструктивных элементов автомобильной дороги.

Перспективное планирование дорожно-ремонтных работ позволяет за несколько лет путем проведения различных мероприятий восстановить транспортно-эксплуатационное состояние дорог до первоначального уровня.

При текущем планировании основной задачей проведения работ является поддержание потребительских свойств дороги в соответствии с требованиями круглогодичного проезда.

Эффективность планирования и принятия управленческих решений заключается в рациональном распределении средств между текущими работами по поддержанию потребительских свойств дороги и перспективными работами, направленными на полное восстановление ее транспортно-эксплуатационных характеристик.

Перспективное планирование ремонта городских автомобильных дорог необходимо для обеспечения их надлежащего содержания с наименьшими затратами, повышения качества ремонтов и осуществления контроля за ними, своевременного планирования ремонта.

Задачу перспективного планирования ремонтно-восстановительных работ можно разделить на ряд подзадач.

1. Прогнозирование физического износа конструктивных элементов. Прогноз состояния новых дорог или их участков целесообразно проводить с использованием нормативных показателей срока службы конструктивных элементов.

В старых дорогах прогрессирование физического износа элементов за определенный отрезок времени и степень отрицательного влияния этого на износ всей дороги происходят значительно быстрее по сравнению с новыми дорогами. В то же время практически нет методов нормирования этого процесса.

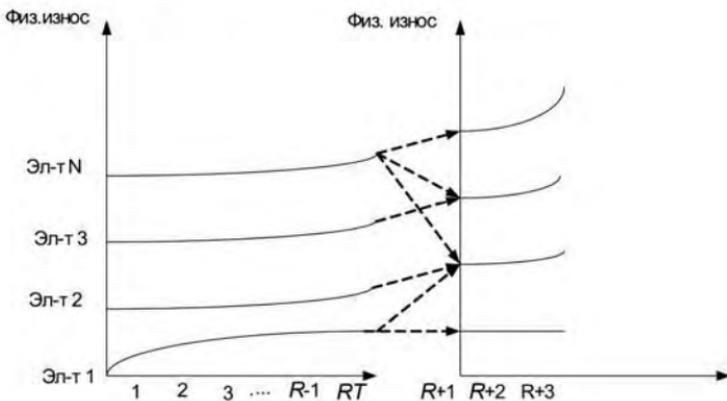
Несмотря на это, для планирования, эксплуатации и капитального ремонта необходимо прогнозировать состояние дорог на перспективу в целях обеспечения наибольшей точности прогнозирования и своевременной корректировки перспективных планов. Единственным способом обновления и уточнения характеристик дорог является периодическое проведение частичных или общих повторных сплошных обследований дорог.

Периодичность таких обследований необходимо установить дифференцированно — в зависимости от категории дорог и их фактического состояния, определенного при первичном сплошном обследовании.

2. Оценка точности прогноза. Любой прогноз имеет стохастическую природу, поэтому необходимо дополнить его вероятностными оценками. К таким оценкам относятся, прежде всего, математическое ожидание, оценка среднеквадратического отклонения и доверительные интервалы для них.

*Планирование ремонтно-восстановительных работ.* При планировании ремонтно-восстановительных работ используются оценки физического износа конструктивных элементов, полученные на этапе прогнозирования и оценки точности прогноза. На основе этих данных вычисляются оценки показателей функциональности всей дороги и ее отдельных конструктивных элементов, оценки стоимости ремонтных работ.

Прогнозирование физического износа конструктивных элементов дороги осуществляется на основе регрессионной модели. Модель позволяет установить зависимость физического состояния конструктивного элемента дороги в последующий момент времени от его состояния в предыдущие моменты времени и от состояния остальных конструктивных элементов. Другими словами при прогнозировании физического износа используются не только данные о динамике изменения состояния прогнозируемого конструктивного элемента, но и аналогичные данные о других конструктивных элементах, оказывающих на прогнозируемый элемент непосредственное влияние (см. рис.).



Оценка физического износа конструктивных элементов

Прогнозированию подвергается физический износ следующих элементов: основание дороги и подстилающий слой.

Для решения задачи прогнозирования средствами вычислительной техники используется так называемая регрессионная модель.

Введем обозначения:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=0}^{T-\tau_{ij}} x_{ijt} z_{ij} \leq C \text{ — физический износ } i\text{-го конструктивного элемента}$$

в момент времени  $t$ ,  $i = 1, \dots, N$ ,  $t = 1, \dots, T$ . Здесь  $N$  — количество конструктивных элементов, может варьироваться в зависимости от типа дороги;  $R$  — длительность периода эксплуатации дороги;  $r$  — момент времени от начала периода планирования, для которого строится прогноз.

Состояние конструктивного элемента в момент времени  $T + r$  прогнозируется с использованием так называемой сигномиальной функции. Регрессионная модель имеет следующую нелинейную структуру:

$$y_{iT+r} = \sum_{t=R-E}^R \sum_{i=1}^N a_{it} \varphi_i(y_{it}) + \sum_{t=R-D}^R c_t \exp\left(\sum_{i=1}^N b_{it} y_{it}\right), \quad (1)$$

где  $y_{iT+r}$  — значение износа конструктивного элемента в момент времени  $r$  от начала периода планирования;  $a_{it}$  — оценки коэффициентов регрессии линейной части, определяемые по экспериментальным данным;  $\varphi_i(y_{it})$  — базисные функции, выбираемые из условия максимальной адекватности модели;  $c_t$  и  $b_{it}$  — оценки коэффициентов нелинейных составляющих регрессионной зависимости;  $E$  и  $D$  — количество составляющих линейной и нелинейной частей модели, выбираемые из условия максимальной адекватности.

Исходными данными для задачи планирования ремонтно-восстановительных работ являются оценки показателей функциональности всей дороги, ее отдельных конструктивных элементов, оценки стоимости ремонтных работ, объем выделенных финансовых средств. Учитывается также постоянное повышение рыночной стоимости дороги.

В зависимости от показателя функциональности дороги используется один из критериев для принятия решения о проведении ремонтных работ:

1) аварийное состояние (показатель функциональности от 0 до 0,4). Решение о проведении комплексного капитального ремонта принимается специалистами;

2) показатель функциональности от 0,4 до 0,6. В этом случае проводится комплексный капитальный ремонт, в первую очередь для дороги с наиболее низким показателем функциональности;

3) значение показателя функциональности лежит в пределах от 0,6 до 1. В этом случае проводится выборочный капитальный ремонт. Решение о распределении финансовых средств принимается по результатам решения оптимизационной задачи, критерием которой является максимизация экономического эффекта от проведения ремонтно-восстановительных работ.

В задаче распределения финансовых средств учитывается, что стоимость ремонтно-восстановительных работ для любого конструктивного элемента с течением времени изменяется в связи с тем, что увеличивается физический его износ.

План выборочных капитальных ремонтов записывается в виде множества таблиц, для каждой дороги, входящей в план составляется таблица следующего формата.

План выборочных капитальных ремонтов

Время	Конструктивный элемент			
	Подстилающий слой $i=1$	Основание $i=2$	...	Дорожное покрытие $i=4$
1	$z_{1j1} \Theta_{1j1}$	$z_{2j1} \Theta_{2j1}$		$z_{4j1} \Theta_{4j1}$
2	$z_{1j2} \Theta_{1j2}$	$z_{2j2} \Theta_{2j2}$		$z_{4j2} \Theta_{4j2}$
3	$z_{1j3} \Theta_{1j3}$	$z_{2j3} \Theta_{2j3}$		$z_{4j3} \Theta_{4j3}$
...				
$T-1$	$z_{1jT-1} \Theta_{1jT-1}$	$z_{2jT-1} \Theta_{2jT-1}$		$z_{4jT-1} \Theta_{4jT-1}$
$T$	$z_{1jT} \Theta_{1jT}$	$z_{2jT} \Theta_{2jT}$		$z_{4jT} \Theta_{4jT}$

Масштаб времени может быть выбран произвольно, поэтому индексы времени 1, 2, 3, ...,  $T-1$ ,  $T$  могут обозначать дни, недели и т.д.

В каждой ячейке таблицы занесены стоимости оценки затрат на ремонт конструктивного элемента 1 здания  $j$  в момент времени  $t$ .

Задача планирования сводится к построению оптимального графика проведения выборочных капитальных ремонтов. Период ремонта конструктивного элемента дороги на этой таблице можно условно обозначить, к примеру, затемнением.

Для формального описания задачи введем следующие обозначения:  $x_{ijt}$  — булева переменная, определяемая следующим образом:  $x_{ijt} = 1$ , если  $i$ -й элемент  $j$ -й дороги подлежит ремонту в момент  $t$ , 0, иначе;  $\tau_{ijt}$  — нормативное время ремонта  $i$ -го конструктивного элемента  $j$ -й дороги в момент  $t$ ;  $T$  —

длительность периода планирования;  $Z_{ijt}$  — затраты на ремонт  $i$ -го конструктивного элемента  $j$ -й дороги в момент  $t$ ;  $\Theta_{ijt}$  — экономическая выгода от  $i$ -го конструктивного элемента  $j$ -й дороги в момент  $t$ ; Необходимо решить следующую оптимизационную задачу:

$$S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=0}^{T-\tau_{ij}} x_{ijt} (\Theta_{ijt} - Z_{ij}) \rightarrow \max \quad (2)$$

при следующих ограничениях:

1) ограничение на объем финансовых средств

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{t=0}^{T-\tau_{ij}} x_{ijt} Z_{ij} \leq C; \quad (3)$$

2) ограничение на количество одновременно проводимых работ

$$\max \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{ijt} \right) \leq W. \quad (4)$$

где  $W_{ijt} = 1$ ,  $t_{ij0} \leq t \leq t_{ij0} + \tau_{ij}$ , 0 иначе;  $t_{ij0}$  — момент начала ремонта  $i$ -го конструктивного элемента  $j$ -й дороги.

Таким образом, используя вышеприведенные данные можно построить математическую модель, позволяющую построить оптимальный график проведения выборочных капитальных сроков.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимбаев Ш.М. Прогнозирование долговечности строительных материалов по единичному сроку испытания / Ш.М. Рахимбаев, Н.М. Авершина // Строительные материалы. 1994. № 4. С. 17 — 18.

© Бондарев Б.А., Корнеев А.Д., Чистяков Е.Г., Пономарев А.В., Бондарев А.Б., 2007

УДК 69:311:331.46

*Е.И. Богуславский, А.А. Глушко, В.Н. Азаров***ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДА  
СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТРАВМАТИЗМА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

В целях совершенствования статистического учета и анализа травматизма в строительстве предложено использовать усовершенствованный и адаптированный для строительства программный комплекс обработки данных о пожарах.

The article proposes a new improved computer program of data processing (for statistics of fires).

В настоящее время в целом по России обязанность по сбору и обработке статистических данных возложена на комитеты государственной статистики. Во главе всех региональных организаций стоит Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Существуют различные формы, в соответствии с которыми предоставляемая информация заносится в карточки учета.

Существует отдельно статистика по уровню жизни, уровню образованности населения страны, смертности, производственному травматизму и т.д. Росстат занимается подведением итогов статистического анализа в целом по стране, в различных сферах жизнедеятельности, издает сборники по результатам проделанной работы и формирует предложения по совершенствованию методов обработки статистических данных. На основании данных предложений на предприятиях и в различных организациях формируются методы и способы обработки статистической информации. К наиболее важным методам, применяемым в статистике, относятся сравнение, анализ и синтез, методы индукции и дедукции, аналогия, гипотеза и др. Специфическими приемами и методами статистики выступают статистическое наблюдение, статистические сравнения, сводка и группировка, таблицы, графики, индексный метод, ряды динамики, статистические расчеты, статистические показатели. Именно эта методология позволяет исследовать всю совокупность фактов, особенности процессов и явлений. Если говорить о статистике по гибели и травматизму людей, то можно сказать о том, что во всех организациях учет и сбор подобной информации ведется по-разному. В большинстве случаев информация такого рода является закрытой, но, несмотря на это в Росстате существует единая форма (форма № 7), по которой информация о гибели и травматизме людей на производстве и о профессиональных заболеваниях, предоставляется в региональные отделения, обрабатывается и систематизируется. В форме № 7 имеются как преимущества, так и недостатки. Наиболее существенным недостатком этого документа является то, что за многие годы его действия он незначительно обновлялся и не претерпевал никаких кардинальных изменений. Данная форма отчетного документа, к примеру, не показывает, на каких видах работ была получена травма, каковы причины произошедшего, тяжесть травм и какие органы пострадали при несчастном случае. В случае анализа гибели и травматизма людей в строительных организациях при подаче сведений организации предоставляют минимум информации, необходимый для внесения в учетную карточку Росстата. Объем

данной информации не позволяет в полной мере проанализировать происшествие и принять необходимые меры.

На основе опыта государственной противопожарной службы (ГПС) было принято решение о заимствовании системы обработки статистических данных о пожарах (АСОД «Пожары») [1] и создании первичного документа учета происшествий, в котором будет отражаться полная картина происходящего на любом предприятии или объекте строительства Ростовской области.

В качестве исходного при изготовлении учетного документа взята карточка учета (КУ) пожаров ГПС. Карточка учета является входным документом системы АСОД «Пожары», утвержденной приказом МВД РФ № 332 от 30.06.94.

Т а б л и ц а 1

## Карточка учета пожаров

№ п/п	№р	Name	Code	№ п/п	№р	Name	Code
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	Регион. УВДТ		68	43	Прибытия (мин.)	
2	2	код региона	*	69	44	Локализация (час)	
3	3	номер карточки		70	44	Локализация (мин.)	
4	3	тип карточки		71	45	Ликвидация (час)	
5	4	дата пожара (число)		72	45	Ликвидация (мин.)	
6	4	дата пожара (месяц)		73	46	Ликвидация (число)	
7	4	дата пожара (год)		74	46	Ликвидация (месяц)	
8	5	вид нас. пункта	*	75	46	Ликвидация (год)	
9	5	вид пож. охраны	*	76	47	Условия развития	*
10	6	форма собственности	*	77	48	Участники тушения	*
11	7	орг-правовая форма	*	78	49	Техника	*
12	8	ведомство	*	79	50	Количество техники	
13	9	тип предприятия	*	80	51	Виды стволов	*
14	10	объект пожара	*	81	52	Количество стволов	
15	10	вид охраны	*	82	53	Огнетуш. средства	*
16	11	этажность		83	54	Первичн. средства	*
17	11	Этаж пожара		84	55	Водоисточники	*
18	12	Огнестойкость	*	85	56	Вид АУП	*
19	13	Место возникновения	*	86	57	Работа АУП	*
20	14	изделие, устройство	*	87	58	Первый РТП	*
21	15	Причина пожара	*	88	58	Последний РТП	*
22	16	Виновник	*	89	59	Выезд группы	*
23	16	Виновник к объекту	*	90	60	Возраст	
24	16	Состояние виновника	*	91	61	Пол	*
25	17	Возраст виновника		92	62	Социальное положение	*
26	18	Результат дознания	*	93	63	Образование	*
27	19	Дата ДТПО (число)		94	64	Причина гибели	*
28	19	Дата ДТПО (месяц)		95	65	Условия гибели	*
29	19	Дата ДТПО (год)		96	66	Момент гибели	*

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
30	20	Расстояние по ПЧ		97	67	Дата поступл. (число)	
31	21	Погибло всего		98	67	Дата поступл. (месяц)	
32	21	Погибло детей		99	67	Дата поступл. (год)	
33	21	Погибло ПО		100	68	Адрес объекта	
34	22	Травмы всего		101	69	наименование объекта	
35	22	Травмы детей		102	70	Примечание	
36	22	Травмы ПО		103	71	Дополнительн. пустое	
37	23	Условия травм	*	104	72	Дополнительн. пустое	
38	24	Прямой ущерб (т. руб.)		105	73	Дополнительн. пустое	
39	25	Осн. фонды (т. руб.)		106	74	Дополнительн. пустое	
40	26	Об. средства (т. руб.)		107	75	Дополнительн. пустое	
41	27	Уничт. строений		108	76	Дополнительн. пустое	
42	27	Повр. строений		109	77	Дополнительн. пустое	
43	28	Уничт. квартир		110	78	Дополнительн. пустое	
44	28	Повр. квартир		111	79	Дополнительн. пустое	
45	29	Уничт. площади		112	80	Дополнительн. пустое	
46	29	Повр. площади		113	81	Дополнительн. пустое	
47	30	Уничт. техники		114	82	Дополнительн. пустое	
48	30	Повр. техники		115	83	Дополнительн. пустое	
49	31	Уничт. з. культур (т)		116	84	Дополнительн. пустое	
50	31	Повр. з. культур (т)		117	85	Дополнительн. пустое	
51	32	Уничт. кормов (т)		118	86	Дополнительн. пустое	
52	32	Повр. кормов (т)		119	87	Дополнительн. пустое	
53	33	Уничт. т. культур (т)		120	88	Дополнительн. пустое	
54	33	Повр. т. культур (т)		121	89	Дополнительн. пустое	
55	34	Уничт. крупн. скота		122	90	Дополнительн. пустое	
56	35	Уничт. мелк. скота		123	91	Признак пожара	
57	36	Уничт. птицы		124	92	Признак документа	
58	37	Спасено людей		125	93	Время сообщения (мин.)	
59	38	Спасено крупн. скота		126	94	Время прибытия (мин.)	
60	38	Спасено мелк. скота		127	95	Время локализ. (мин.)	
61	39	Спасено техники		128	96	Время ликвид. (мин.)	
62	40	Спячено ценн. (т. руб.)		129	97	Время тушения (мин.)	
63	41	Обнаружение (час)		130	98	Время св. гор. (мин.)	
64	41	Обнаружение (мин.)		131	99	День недели	
65	42	Сообщение (час)		132	100	Дней присылки	
66	42	Сообщение (мин)		133	101	пустое	
67	43	Прибытия (час)		134	102	пустое	

В колонках 1, 5 даны порядковые номера полей, а в колонках 2, 6 — номера полей в соответствии с приказом № 332.

Аналогично содержанию КУ пожаров нами создается документ учета происшествий и несчастных случаев в строительстве. Поскольку шаблоном для нового документа является КУ ГПС и данный документ будет использовать систему АСОД «Пожары», было принято решение о замене полей,

имеющих отношение к пожарам на поля, необходимые для учета происшествий в строительстве (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

*Карточка происшествий в строительстве*

№, п/п	№р	Name	Code	№, п/п	№р	Name	Code
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	Регион. УВДТ		68	43	Прибытия (мин.)	
2	2	Код региона	*	69	44	Локализация (час)	
3	3	Номер карточки		70	44	Локализация (мин.)	
4	3	Тип карточки		71	45	Ликвидация (час)	
5	4	Дата происш. (число)		72	45	Ликвидация (мин.)	
6	4	Дата происш. (месяц)		73	46	Ликвидация (число)	
7	4	Дата происш. (год)		74	46	Ликвидация (месяц)	
8	5	Вид нас. пункта	*	75	46	Ликвидация (год)	
9	5	Тип службы защиты	*	76	47	Условия происшествия	*
10	6	Форма собственности	*	77	48	Участники ликвидации	*
11	7	Орг.-правовая форма	*	78	49	Техника	*
12	8	Ведомство	*	79	50	Количество техники	
13	9	Тип предприятия	*	80	51	Виды оборудования	*
14	10	Объект происшествия	*	81	52	Количество обор-ия	
15	10	Вид охраны	*	82	53	Средства спасения	*
16	11	Этажность		83	54	Первичн. средства	*
17	11	Этаж происшествия		84	55	Дополнительн. пустое	*
18	12	Огнестойкость	*	85	56	Вид сигнализации	*
19	13	Место происшествия	*	86	57	Работа сигнализации	*
20	14	Изделие, устройство	*	87	58	Дополнительн. пустое	*
21	15	Причина происш.	*	88	58	Дополнительн. пустое	*
22	16	Виновник	*	89	59	Выезд группы	*
23	16	Виновник к объекту	*	90	60	Возраст	
24	16	Состояние виновника	*	91	61	Пол	*
25	17	Возраст виновника		92	62	Социальное положение	*
26	18	Результат дознания	*	93	63	Образование	*
27	19	Дата АН (число)		94	64	Причина гибели	*
28	19	Дата АН (месяц)		95	65	Условия гибели	*
29	19	Дата АН (год)		96	66	Момент гибели	*
30	20	Расст. до опер. служ.		97	67	Дата поступл. (число)	
31	21	Погибло всего		98	67	Дата поступл. (месяц)	
32	21	Погибло детей		99	67	Дата поступл. (год)	
33	21	Погибло сотрудников		100	68	Адрес объекта	
34	22	Травмы всего		101	69	наименование объекта	
35	22	Травмы детей		102	70	Примечание	
36	22	Травмы сотрудников		103	71	Дополнительн. пустое	
37	23	Условия травм	*	104	72	Дополнительн. пустое	
38	24	Прямой ущерб (т. руб.)		105	73	Дополнительн. пустое	
39	25	Осн. фонды (т. руб.)		106	74	Дополнительн. пустое	

1	2	3	4	5	6	7	8
40	26	Об. средства (т. руб.)		107	75	Дополнительн. пустое	
41	27	Уничт. строений		108	76	Дополнительн. пустое	
42	27	Повр. строений		109	77	Дополнительн. пустое	
43	28	Уничт. квартир		110	78	Дополнительн. пустое	
44	28	Повр. квартир		111	79	Дополнительн. пустое	
45	29	Уничт. площади		112	80	Дополнительн. пустое	
46	29	Повр. площади		113	81	Дополнительн. пустое	
47	30	Уничт. техники		114	82	Дополнительн. пустое	
48	30	Повр. техники		115	83	Дополнительн. пустое	
49	31	Уничт. з. культур (т)		116	84	Дополнительн. пустое	
50	31	Повр. з. культур (т)		117	85	Дополнительн. пустое	
51	32	Уничт. кормов (т)		118	86	Дополнительн. пустое	
52	32	Повр. кормов (т)		119	87	Дополнительн. пустое	
53	33	Уничт. т. культур (т)		120	88	Дополнительн. пустое	
54	33	Повр. т. культур (т)		121	89	Дополнительн. пустое	
55	34	Дополнительн. пустое		122	90	Дополнительн. пустое	
56	35	Дополнительн. пустое		123	91	Признак происшествия	
57	36	Дополнительн. пустое		124	92	Признак документа	
58	37	Спасено людей		125	93	Время сообщения	
59	38	Дополнительн. пустое		126	94	Время прибытия (мин.)	
60	38	Дополнительн. пустое		127	95	Время локализ. (мин.)	
61	39	Спасено техники		128	96	Время ликвид. (мин.)	
62	40	Спячено ценн. (т. руб.)		129	97	Дополнительн. пустое	
63	41	Обнаружение (час)		130	98	Дополнительн. пустое	
64	41	Обнаружение (мин.)		131	99	День недели	
65	42	Сообщение (час)		132	100	Дней присылки	
66	42	Сообщение (мин)		133	101	пустое	
67	43	Прибытия (час)		134	102	пустое	

Процесс возведения объекта был условно разделен на 7 этапов: 1 — земляные работы; 2 — возведение монолитной ЖБ плиты; 3 — монтаж конструкций до отм. 0,000; 4 — монтаж конструкций выше отметки 0,000; 5 — монтаж систем инженерного обеспечения; 6 — кровельные работы; 7 — отделка внутренних помещений.

Каждый из этапов строительства вносится в учетный документ путём замены компонентов КУ пожаров по коду № 4 на соответствующие этапы строительства объекта. По каждому из них система создает КУ. Карточки, соответствующие каждому этапу возведения объекта, составляют в целом картину о происшествиях. Так же создается суммарный документ, включающий в себя все КУ, создаваемые по данному объекту строительства.

АСОД «Пожары» является основной базой данных, в которую вносятся все сведения о происшедших пожарах в России.

Сегодня в работе с программным комплексом при извлечении информации из базы данных возникают трудности. Данный программный комплекс написан под операционную систему (ОС) DOS. Навыки работы в DOS перестали быть востребованными в силу прихода современных программ и опе-

рационных систем, и, как следствие, специалистов, хорошо знающих оболочку DOS, сегодня немного. Наиболее распространенной оболочкой, используемой во всем мире, является Windows. Поскольку программный комплекс содержит в себе большое количество информации, переход к оболочке Windows дает возможность создания автоматизированной системы (АС) учета и анализа происшествий в строительстве. Для успешного достижения целей, поставленных перед любой АС, основополагающее значение имеет постановка и реализация конкретных задач, при этом большой интерес представляет использование процедур автоматической классификации. Это дает возможность классифицировать, объединять сходные по своей сущности несчастные случаи, в результате чего становится минимальной продолжительность, трудоемкость анализа и разработки мер по предотвращению подобных случаев. Это обеспечивается отсутствием дублирования обработки информации, т.к. после первоначального этапа накопления сведений вся процедура будет сводиться к отнесению каждого профессионального инцидента к тому или иному классу или группе, для которых уже определен комплекс профилактических мероприятий.

Усовершенствованный и адаптированный для строительства программный комплекс АСОД «Пожары», на наш взгляд, упростит решение многих задач в сфере учета и анализа происшествий.

© Богуславский Е.И., Глушко А.А., Азаров В.Н., 2007

УДК 691.32

*Д.В. Орешкин, В.А. Перфилов, П.В. Попов***РАЗРУШЕНИЕ БЕТОНОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ НАГРУЖЕНИЯ**

Освещена актуальная тема получения экспериментальных данных о влиянии скорости нагружения на изменение прочности бетона и определения по ним кинетических параметров  $U_0$  и  $\gamma$ , которые позволяют установить вклад различных дефектов в процесс разрушения. Приведены методика определения временных характеристик и экспериментальные результаты исследования разрушения бетонов с заполнителем: известняком, гранитом, керамзитом.

The authors have covered an actual problem of obtaining experimental data concerning loading speed impact on concrete durability behavior and of determining kinetic parameters  $U_0$  and  $\gamma$  which help to ascertain contribution of different defects into destruction process based on this data. The authors have also given a method of determining time behavior and experimental results of research into destruction of concrete aggregates: limestone, granite, haydite.

При определении влияния неоднородностей структуры бетона на процесс разрушения при действии механической нагрузки были получены экспериментальные данные о влиянии скорости нагружения на изменение прочности бетона и определены кинетические параметры разрушения. Предполагается, что, несмотря на различную прочность и пористость применяемых заполнителей, механизм разрушения бетонов является аналогичным и во многом зависит от развития дефектов в микроструктуре более тонкой матрицы цементного камня.

Модель разрушения бетонов базируется на феноменологическом подходе, учитывающем образование трещин на макроуровне, и на микроскопическом механизме зарождения и эволюции микропор и микротрещин. В настоящее время существующие теории, включающие деформационный, силовой и энергетический критерии, а также кинетическую теорию прочности и долговечности, применительно к бетонам имеют свои ограничения. Поэтому количественная оценка вероятности разрушения композиционных материалов согласно этим подходам основана на большом количестве упрощающих гипотез. Обобщая накопленные теоретические и экспериментальные данные, можно показать, что при действии приложенной нагрузки в образце развиваются упругие и пластические деформации, количественное соотношение между которыми непосредственно зависит от размера и количества дефектов структуры материала. Взаимодействие различного рода дефектов (вакансий, атомов внедрения, дислокаций, микротрещин и др.) приводит к микро- и макроразрушению сдвигового и отрывного типа, что характеризует хрупкие, квазихрупкие или пластические свойства материала.

Разрушению бетонов как композиционных материалов предшествует микро- и макротрещинообразование, которое развивается, в основном, в четыре этапа. На первом этапе происходит длительно развивающаяся упругая или упруго-пластическая деформация, связанная с постепенным ростом количества и размеров существующих и вновь образованных микротрещин в цементном камне. Второй этап характеризуется увеличением уровня напряжений, способствующим ускорению деформаций за счет разрыва большого

количества перегородок микропор. Структура бетона включает слабосвязанную и адсорбированную воду, энергетически связанную с кристаллогидратами кальция. Капиллярная вода, ввиду разрушения межпоровых перегородок, диффундирует из микропор, снижая тем самым поровое давление, и незначительно затормаживает процесс разрушения.

По мере увеличения уровня напряжений капиллярная вода в цементной матрице, диффундируя из мелких пор, лавинообразно заполняет образовавшиеся более крупные микротрещины. При этом происходит увеличение давления воды на стенки микротрещин, что приводит к увеличению объемной пластической деформации, сопровождающейся ускоренным неустойчивым трещинообразованием. Этот третий этап заканчивается образованием магистральной трещины. На четвертом этапе происходит развитие магистральной трещины (трещин) до полного разрушения бетонного образца. Длительность этого процесса зависит от структуры бетона, которая ввиду своей неоднородности способствует релаксации разрушающих напряжений на поверхностях контакта «матрица — наполнитель». В результате время развития макротрещины до полного разделения образца на части может значительно превышать длительность первых трех подготовительных этапов разрушения. Экспериментальным подтверждением этому могут служить полученные полные диаграммы разрушения различных видов бетонов [1].

В зависимости от величины приложенной к образцу материала механической нагрузки возникают различного типа дефекты. Под воздействием малых по величине нагрузок в тонкой структуре цементного камня образуются точечные дефекты порядка одного атомного. Возникающие при этом деформации, протекающие в термоактивированном режиме, описываются в соответствии с уравнениями кинетической теории прочности [2].

Рост трещин при разрушении бетонов, рассматриваемый с позиций кинетической теории прочности и долговечности, связан с изменением энергии активации  $U_0$  и эффективного активационного объема  $\gamma$  ( $\gamma = v \cdot n$ , где  $v$  — истинный активационный объем;  $n$  — коэффициент перенапряжений). Согласно диаграмме [3] кинетики роста трещины переход от стадии 1 к стадии 2 и от стадии 3 к стадии 4 сопровождается увеличением энергии активации, что свидетельствует о смене типов дефектов, контролирующих скорость роста. Причиной наблюдаемой смены режимов, по мнению многих исследователей [4], являются фазовые превращения, связанные с точечными дефектами (вакансиями, атомами замещения) и с дислокационными движениями. По мнению авторов [4], образованию микротрещин в твердом теле предшествует рост уже имеющихся и образование новых пор за счет присоединения к ним вакансий. Сверхравновесная концентрация вакансий приводит к другому фазовому состоянию — образованию микропор и микротрещин [4].

В зависимости от времени действия и величины нагрузки образование вакансий сверхравновесной концентрации и их переход в поры и микротрещины происходит с разной скоростью. При малых скоростях приложения нагрузки эффективный активационный объем  $\gamma$  равен нескольким сотням атомных объемов, что соответствует размерам дислокаций. Как известно, движение дислокаций приводит к появлению микро- и макротрещин и снижению прочности бетона. В ходе проведенных исследований было установлено, что по мере увеличения скорости нагружения значения эффективного активаци-

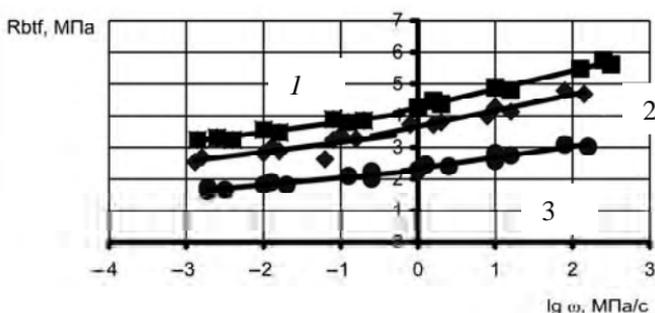
онного объема снижаются, следовательно, роль точечных дефектов возрастает, а роль дислокаций падает. Точечные дефекты не способны при высоких скоростях нагружения привести к объемному трещинообразованию. В результате прочность бетона при динамическом нагружении увеличивается.

Макроструктура бетона, как неоднородного композиционного материала, включает тонкую микроструктуру вяжущего (цементного камня), крупный заполнитель и контактную зону «матрица — заполнитель». При определении влияния неоднородностей структуры бетона на процесс разрушения от действия механической нагрузки были получены экспериментальные данные о влиянии скорости нагружения на изменение прочности бетона и определены кинетические параметры разрушения  $U_0$  и  $\gamma$  (табл.).

#### Временные характеристики прочности бетонов

Вид заполнителя	$\gamma \cdot 10^{-26}, \text{ м}^3$		$U_0 \cdot 10^{-19}, (\text{эВ})$	
	до перелома	после перелома	до перелома	после перелома
Керамзит	4,19	2,65	1,3	1,11
Известняк	2,94	1,81	1,37	1,15
Гранит	2,82	1,66	1,45	1,18

Экспериментальные результаты, полученные при испытании на растяжение при изгибе образцов-балочек, размером  $50 \times 50 \times 320$  мм, цементного бетона с учетом влияния вида заполнителя (размер зерен во всех трех разновидностях заполнителя составлял 10 мм), показали, что с увеличением скорости нагружения происходит возрастание прочности (рис.) образцов.



Зависимость прочности бетона от логарифма скорости нагружения для бетона с заполнителем: 1 — из гранита; 2 — известняка; 3 — керамзита

Однако при времени действия нагрузки, составляющем примерно  $0,03 \div 0,05$  ( $\omega \approx 10^2$  МПа/с), прочность не увеличивается, а при  $\omega > 10^2$  МПа/с — даже уменьшается. Это связано с тем, что процесс разрушения бетона одновременно сопровождается релаксацией напряжений. При кратковременном нагружении со скоростью, превышающей скорость релаксации, мгновенно возникающие перенапряжения в устье магистральной трещины приводят к ее лавинообразному росту и, следовательно, падению прочности. Аналогичные экспериментальные данные были получены в работах других исследователей. Согласно проведенным экспериментам прочность  $R_{btf}$  увеличивается с ростом

скорости напряжения  $\omega$ . Однако, при скорости, примерно равной 1 МПа / с, кривая изменения прочности имеет перелом в сторону более резкого возрастания прочности. Анализ полученной аномальной зависимости можно построить на базе кинетической теории прочности, учитывающей термические флуктуации атомов в узлах кристаллической решетки твердого тела (цементного камня). По нашему мнению, несмотря на различную прочность и пористость применяемых заполнителей, механизм разрушения бетонов является аналогичным, что может быть подтверждено одинаковым наклоном прямых на графике, и во многом зависит от развития дефектов в микроструктуре более тонкой матрицы цементного камня. Это подтверждается тем, что в процессе динамических испытаний во всех трех составах с одинаковым вяжущим, но с различным заполнителем обнаружена общая закономерность в резком изменении прочности бетонов при нагружении с одинаковой скоростью, составляющей 1 МПа/с. Поэтому влияние развития микродефектов в тонкой структуре применяемого цементного камня на процесс разрушения бетона является доминирующим, особенно в период, предшествующий образованию магистральной трещины. В связи с этим были определены кинетические параметры разрушения бетонов при действии механической нагрузки. Определение энергии активации  $U_0$  и эффективного объема  $\gamma$  в образцах, испытанных с различными скоростями напряжения, осуществляли по формуле [5]:

$$\sigma_p = \frac{KT}{\gamma} \ell N \left[ 1 + \frac{\tau_0}{KT} \exp \frac{U_0 \sigma \omega \gamma}{KT} \right],$$

где  $K$  — постоянная Больцмана;  $T$  — абсолютная температура, К;  $\tau_0$  — предэкспоненциальный множитель,  $10^{-13}$  с;  $U_0$  — энергия активации, Дж (эВ);  $\gamma$  — эффективный активационный объем,  $\text{м}^3$ ;  $\omega$  — скорость нагружения, МПа/с;  $\sigma_p$  — приложенное напряжение, МПа.

Полученные значения кинетических характеристик разрушения показали значительное снижение эффективного активационного объема  $\gamma$  при небольшом уменьшении энергии активации  $U_0$  после перелома на кривой (рис.) по сравнению с аналогичными параметрами, определенными при скоростях нагружения до 1 МПа/с. Поэтому, ввиду уменьшения эффективного активационного объема, концентрация напряжений происходит в малой области, соответствующей объемам точечных дефектов, вклад которых в масштабное трещинообразование невелик. Отсюда, прочность бетона возрастает. Полученные значения энергии активации (1,1...1,4 эВ) в цементных бетонах совпадают с энергиями активации процесса разрушения для твердых тел, содержащих связи Si—H<sub>2</sub>O.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Перфилов В.А.* Рост трещин в бетонах. Волгоград : ВолгГАСА, 2002. 82 с.
2. *Регель В.Р.* Кинетическая природа прочности твердых тел / В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. М. : Наука, 1974. 535 с.
3. *Эванс А.Г.* Конструкционная керамика / А.Г. Эванс, Т.Г. Лэнгдон. М. : Металлургия, 1980. 256 с.
4. *Черемской П.Г.* Поры в твердом теле / П.Г. Черемской, В.В. Слезов, В.И. Бетехтин. М. : Энергоатомиздат, 1990. 376 с.
5. Роль скорости нагружения в разрушении хрупких тел / А.И. Казачук, Ю. Солнцева, В.А. Степанов, В.В. Шпейзман // ФТТ. 1983. Т. 25, вып. 7. С. 1945—1952.

© Орешкин Д.В., Перфилов В.А., Попов П.В., 2007

УДК 691

Ю.А. Полетаев, Б.М. Люпаев, В.Т. Ерофеев

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ МАЛОСВЯЗАННОГО КАРКАСНОГО БЕТОНА (МКБ) НА СЖАТИЕ И СДВИГ

Приведены результаты исследования строительного материала, условно названного малосвязанный каркасный бетон (МКБ). МКБ является эффективным строительным материалом для укладки оснований, различных покрытий, в т.ч. и дорожных. Технология изготовления МКБ аналогична технологии строительства оснований из щебня. Характеристики на сжатия и сдвиг данного материала близки к характеристикам бетона. Малосвязанный каркасный бетон по своим структурным и механическим свойствам является переходным между щебеночно-песчанной смесью и бетоном. Технология изготовления МКБ заключается в поэтапном формировании структуры материала.

In given clause the new material, conditionally named poorly connected frame concrete (PCFC) is investigated. The material is used at construction of the bases, and road. Characteristics on compression and its shift are close to characteristics of concrete. Manufacturing techniques PCFC are similar to technology of construction of the basis from rubble. PCFC is a transitive design between SRM and concrete. Manufacturing techniques SCFC consist in after phase formation of structure of a material.

В настоящее время бетон является наиболее используемым материалом в промышленном, гражданском и дорожном строительстве. Бетон обладает широким спектром технических характеристик, что позволяет использовать его как в строительстве оснований, так и в качестве дорожных покрытий. Наряду с комплексом положительных качеств, традиционный бетон является дорогостоящим и технологически трудоемким в изготовлении материалом. Поэтому в определенных областях строительства выгодно использовать малосвязанный каркасный бетон (МКБ). МКБ состоит из каркаса, образованного уплотненным щебнем, пустоты в котором заполнены песком с оптимальным содержанием в нем глины. Песчаная смесь засыпается в пустоты между гранулами заполнителя в естественном или увлажненном состоянии. При такой технологии изготовления образуется материал со слабосвязанной монолитной структурой.

1. *Исследование свойств щебня и МКБ при воздействии сжимающих нагрузок.* При выполнении сравнительных исследований свойств МКБ и щебня при сжимающих нагрузках использовался известняковый щебень Иссенского карьера Пензенской области следующих фракций: 10...20, 20...40, 40...70 мм. Исследования проводились с помощью цилиндра со следующими параметрами, см:  $D_1=12,5$ ,  $D_2=11,5$  и  $H=15$  (рис. 1).

Технология проведения эксперимента заключалась в выполнении следующих действий: в цилиндр засыпался щебень различных фракций; затем, если это МКБ, в пустоты засыпался песок; потом производилось обжатие материала нагрузкой, равной 20000 кгс.

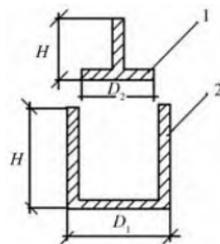


Рис. 1. Стандартный цилиндр

Испытания показали, что деформативность при сжатии МКБ на основе рассматриваемых фракций щебня в цилиндре составила 0,5 см, при этом щебень не имел видимых повреждений. Испытания щебня в этом же цилиндре и при тех же нагрузках показали среднюю осадку, см: 4,0 (при фракции, мм, 10...20), 4,5 (20...40) и 5,5 (40...70). В первом случае щебень уплотнялся полностью, заполняя межщебеночное пространство продуктами измельчения. Во втором случае это пространство наблюдалось. В третьем случае имелись огромные пустые полости. В целом щебень (марки 300) имел многочисленные повреждения.

2. *Исследование работы материалов на сдвиг.* Во время эксплуатации дорожные покрытия подвергаются воздействию сдвигающих нагрузок. Для изучения работы материала на сдвиг были проведены специальные исследования. Была разработана и запатентована установка. Она позволяет испытывать МКБ в максимально приближенных к реальным условиям. Сдвиговая установка представляет собой соединенные последовательно три цилиндра 1, 2, 3 с внутренним диаметром 11,5 см и общей длиной 35 см. Средний цилиндр, смещаясь под давлением пресса, создает сдвиг в двух параллельных плоскостях (рис. 2 и 3).

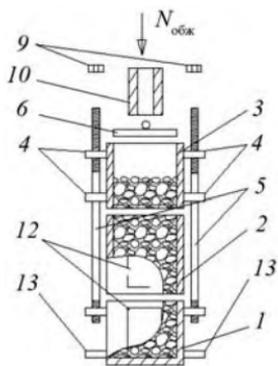


Рис. 2. Устройство для определения сопротивления сдвигу

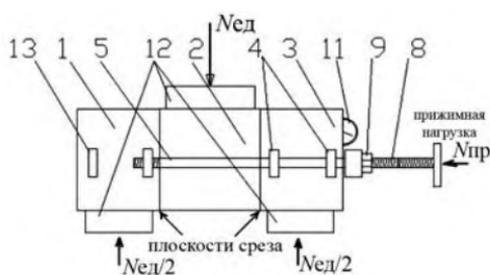


Рис. 3. Устройство для определения сопротивления сдвигу при наличии прижимной нагрузки ( $N_{приж}$ )

В цилиндре 3 друг за другом расположены обжимающий штамп 6 и цилиндр 10, передающий обжимающую нагрузку. Индикатор часового типа 11 и приспособление для создания прижимной нагрузки в виде фиксирующей пластины 8 с прижимной винтовой ручкой. Приспособление для создания срезающего усилия выполнено в виде стойки 12, жестко закрепленной на цилиндре 2. Цилиндры 1 и 3 связаны между собой с помощью фиксирующих стержней 5. Опорные стойки 12 расположены так же на цилиндрах 1, 3.

Испытания проводились с применением щебня М300 фракции 20...40 мм и кварцевого песка при оптимальном соотношении по объему (3/1). При определении сопротивления материала на сдвиг использовали следующую технологию нагружения. В цилиндрах МКБ обжимался нагрузкой до 600 кгс и затем разгружался. После этого МКБ прижимался механически винтовым прижимом с усилием до 50, 100 и 200 кгс. Приложение сдвигающей нагрузки производилось этапами до смещения среднего цилиндра относительно крайних цилиндров на 5 мм. Результаты исследований приведены на рис. 4.

Сдвигающая нагрузка, кгс

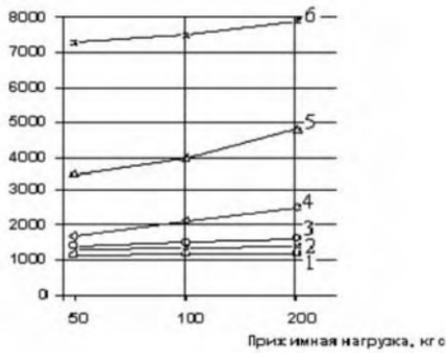


Рис. 4. Зависимость изменения прочности на сдвиг МКБ и щебня от величины прижимной нагрузки: 1 — щебень фр. 10...20 мм; 2 — то же фр. 20...40 мм; 3 — то же фр. 40...7 мм; 4 — МКБ с щебнем фр. 10...20 мм; 5 — то же фр. 20... 40 мм; 6 — то же фр. 40...70 мм

Данные испытания показали, что у МКБ сопротивление сдвигу значительно выше чем у щебня, уложенного таким же способом.

3. *Исследование свойств МКБ, щебня и щебеночно-песчанной смеси при воздействии сдвиговых нагрузок.* Щебеночно-песчаные смеси (ЩПС) широко используются в строительстве оснований автомобильных дорог и аэродромов, а так же для устройства покрытий и укрепления обочин автомобильных дорог (ГОСТ 25697-94).

Для сравнительных испытаний рассматривались смеси под номером С6, соответствующие требованиям ГОСТ для строительства оснований. Зерновой состав смесей приведен в таблице.

Т а б л и ц а 1.

*Зерновой состав смеси С6, % по массе*

Полный остаток на ситах размером, мм									
120	80	40	20	10	5	2,5	0,63	0,16	0,05
—	0...5	0...20	40...60	60...80	70...85	75...85	85...95	93...97	95...100

Данная смесь соответствует щебню и МКБ фракции 20...40 мм. Все эксперименты произведены при максимальных условиях эксплуатации: обжатие было принято равным 600 кгс.

Сдвигающая нагрузка, кгс

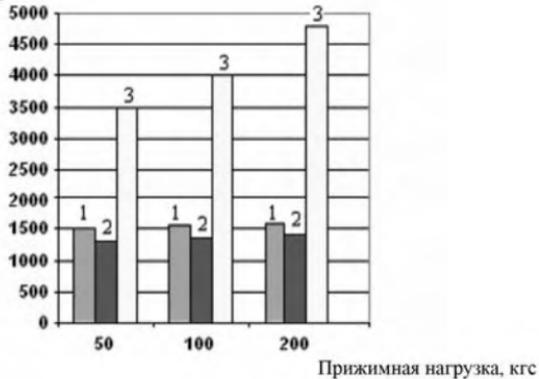


Рис. 5. Зависимость изменения прочности на сдвиг МКБ, щебня и щебеночно-песчанной смеси от величины прижимной нагрузки: 1 — ЩПС; 2 — щебень; 3 — МКБ

Из результатов видно, что МКБ намного превосходит по своим прочностным характеристикам все остальные материалы.

4. *Исследование влияния фракционного состава заполнителя на свойства МКБ.* В производственных условиях доставку щебня и смесей осуществляют партиями. Партии испытываются на соответствие требуемому качеству щебня и смесей. При приемочном контроле определяют для щебня и смесей: зерновой состав; содержание пылевидных и глинистых частиц; содержание глины в комках; содержание дробленых зерен в щебне из гравия. При удовлетворении всех требований к заполнителям прочность МКБ на сдвиг в зависимости от их фракционного состава изображается следующим экспериментальным графиком (рис. 6).

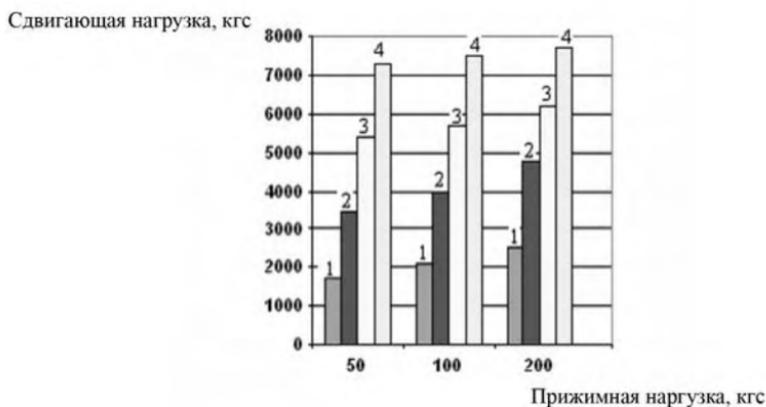


Рис. 6. Зависимость изменения прочности на сдвиг МКБ от фракционного состава заполнителя и величины прижимной нагрузки (после обжатия нагрузкой 600 кгс): 1 — МКБ со щебнем фр. 10...20 мм; 2 — то же фр. 20...40 мм; 3 — то же фр. 40...70 мм; 4 — то же фр. 70 мм

Из полученных результатов следует, что введение щебня мелких фракций снижает прочностные характеристики МКБ.

*Выводы.* МКБ значительно превышает по сдвиговым показателям щебень, уложенный обычным способом, а так же щебеночно-песчаные смеси. При этом наилучшие результаты соответствуют МКБ на основе щебня крупных фракций. В целом технология изготовления МКБ более проста и удобна, чем применение бетона в качестве основания. МКБ экономически выгоден, а его несущая способность выше более чем в 2 раза, чем у обычного щебеночного основания.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Люпаев Б.М. Исследование прочностных характеристик КББ на сжатие // Актуальные вопросы строительства : Первые Соломатовские чтения. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2002. С. 418.
2. Полетаев Ю.А. Экспериментальное применение КББ в дорожном строительстве / Ю.А. Полетаев, Б.М. Люпаев // Актуальные вопросы строительства : материалы Междунар. науч.-техн. конференции. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2004. С. 638.
3. Полетаев Ю.А. Применение нового композиционного материала — КББ в строительстве автомобильных дорог / Ю.А. Полетаев, Б.М. Люпаев, А.В. Ямашкин // Естественно-технические исследования: теория, методы, практика. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2005. С. 87.

УДК 691.327:666.974.2

А.С. Пушенко, В.Н. Азаров

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ПОЖАРА НА СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА

Проведены исследования прочностных характеристик высокопрочного бетона состава Ц:П:Щ = 1:0,69:1,77, В/Ц=0,28, суперпластификатор 0,8 % при воздействии стандартного пожара по ГОСТ 30247.0-94.

The article compares properties of high-strength concrete (Ц:П:Щ = 1:0,69:1,77, В/Ц=0,28, *supersoftener* 0,8 %) under standard fire (State Standard 30247.0-94).

В связи с ростом городов и численности населения все более актуальным в современном строительстве становится возведение зданий повышенной этажности, занимающих относительно мало места в условиях плотной городской застройки. К ним относятся жилые и административные здания, а также, гостиницы, многоэтажные парковки для автомобилей и др.

В таких зданиях несущие конструкции, как правило, выполняются из высокопрочного бетона и железобетона, способного воспринимать значительные нагрузки в нормальных условиях. Однако, в случае возникновения пожара, они зачастую не способны сохранять прочностные характеристики длительное время.

По данным Всемирного центра пожарной статистики при ООН ежегодно в мире возникает 10 млн пожаров, на которых погибает около 65 000 человек, более 250 000 человек получают травмы различной степени тяжести, а материальный ущерб составляет сотни миллиардов евро и нарастает с каждым годом [1, 2].

Все существующие международные и национальные стандарты по пожарной безопасности устанавливают качественные методы оценки горючести и пожарной опасности веществ и материалов. Однако это не позволяет, по-видимому, эффективно бороться с пожарами, количество и ущерб от которых нарастает во всем мире [3].

Известно, что к зданиям I и II степени огнестойкости предъявляются повышенные требования при проектировании и строительстве [4]. Тем не менее сравнительно недавно были разработаны специальные нормы для высотных зданий при пожаре [5], в которых установлены следующие значения пределов огнестойкости, ч: для зданий высотой до 100 м — 3; 100 м и более — 4.

Несмотря на то, что к зданиям повышенной этажности предъявляются особые требования при строительстве и эксплуатации, анализ данных по пожарам показывает невозможность обеспечения безопасности, находящихся в них людей. Это связано, прежде всего, с отсутствием в гарнизонах пожарной охраны специальной техники, способной производить тушение на большой высоте, а также с отказами в срабатывании систем пожаротушения и противопожарной защиты.

Наибольшую опасность при пожаре, вслед за отравлением продуктами горения, представляет обрушение несущих конструкций стен и перекрытий,

выполненных из бетона и железобетона. Результаты анализа данных по пожарам в одном из субъектов ЮФО показаны на рис. 1 и 2.

Обрушение несущих конструкций из высокопрочного бетона связано не только с потерей физико-механических свойств и характеристик, но и с возможностью его взрывообразного разрушения, что может привести к частичному или полному разрушению конструкций, а, следовательно, к угрозе жизни и здоровья людей.

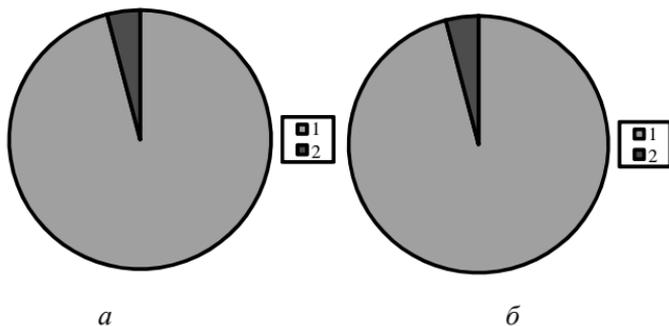


Рис. 1. Данные по пожарам и гибели людей в зданиях повышенной этажности от общего количества пожаров с 1995 по 2005 г. в одном из субъектов ЮФО: *а* — количество пожаров: 1 — в других зданиях (19403, 96 %); 2 — в зданиях с количеством этажей более 9 (823, 4 %); *б* — число погибших: 1 — в других зданиях (1382 чел., 99 %); 2 — в зданиях с количеством этажей более 9 (16 чел., 1 %)

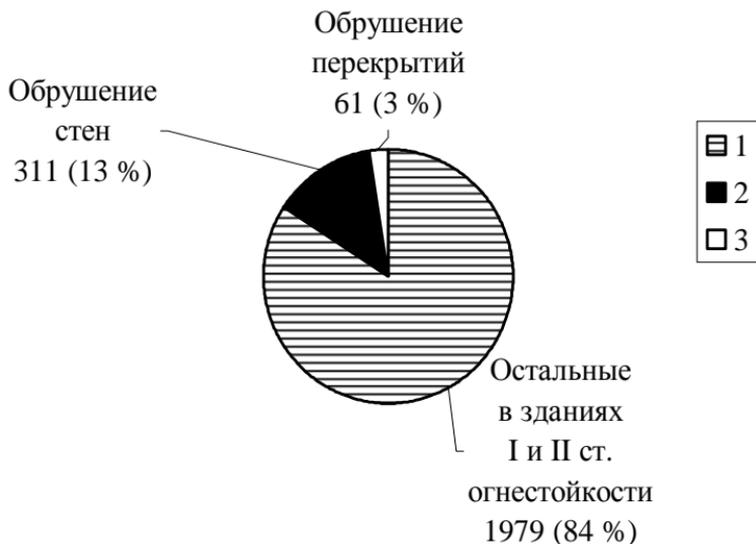


Рис. 2. Доля количества пожаров с обрушением несущих конструкций от общего количества пожаров в зданиях I и II степени огнестойкости в период с 1995 по 2005 г. в одном из субъектов ЮФО

Мгновенное разрушение бетона в виде взрыва происходит из-за значительного повышения давления в его поровой структуре при нагреве. Для прогнозирования вероятности взрывообразного разрушения бетона при пожаре

были разработаны рекомендации [6], согласно которым, производится расчет критерия  $F$ , оценивающего поведение бетона при пожаре. Однако, экспериментальные данные зачастую противоречат полученным расчетным результатам (рис. 3).



Рис. 3. Образец из высокопрочного бетона после воздействия пожара

Следовательно, проблема резкого снижения прочности бетона за счет его взрывообразного разрушения актуальна и требует решения. Авторами подробно изучены следующие направления по снижению вероятности взрывообразного разрушения высокопрочного бетона при пожаре:

1) добавление в структуру бетона полимерных волокон. При пожаре происходит выгорание волокон и образование каналов, по которым из бетона удаляется вода и, соответственно, уменьшается давление в порах;

2) предварительное высушивание бетона при  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  и последующая его герметизация. Результатом является значительное уменьшение давления в порах ввиду отсутствия воды в структуре бетона;

3) добавление в структуру бетона водосодержащих компонентов, вызывающих при нагреве охлаждение структуры бетона за счет выделения воды.

Авторами изучены свойства высокопрочного бетона состава Ц:П:Щ = 1:0,69:1,77, В/Ц=0,28, суперпластификатор 0,8 % при воздействии стандартного пожара по ГОСТ 30247.0-94 [7].

Результаты исследований показали, что прочностные характеристики бетона класса В80, предварительно высушенного до постоянной массы и защищенного в дальнейшем от попадания влаги, являются наилучшими по отношению к бетону с добавками (рис. 4). Необходимо отметить, что такой способ повышения прочности бетона является практически возможным и не требует значительных финансовых вложений.

Говоря о прочности высокопрочного бетона, необходимо учитывать его совместную работу с арматурой в железобетонных конструкциях. Так, например, арматура теряет свои свойства при температуре 500 °С, что ведет к разрушению железобетонного элемента независимо от качества и свойств высокопрочного бетона.

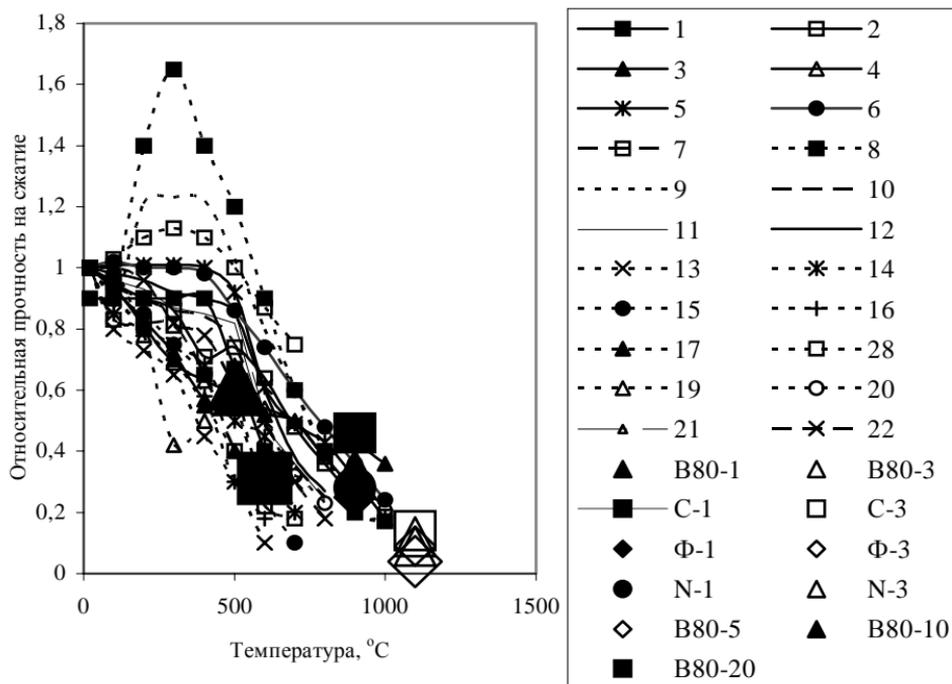


Рис. 4. Зависимость прочности бетона после его полного остывания от температуры нагрева по данным: 1 — У. Шнайдер; 2—6 — Мин Ли, Чун Куан, Вей Сан; 3 — В50; 4 — В60; 5 — В80; 6 — В105; 7 — С. Теландерсонн; 8—9 — с добавкой фиброволокна, У. Шнайдер: 8 — 1,5 кг/м<sup>3</sup>, 9 — 3 кг/м<sup>3</sup>; 10—12 — У. Шнайдер, скорость нагрева: 10 — 2 °С/мин., 11—4 °С/мин., 12—6 °С/мин.; 13 — Х. Мальхотра; 14 — У. Фишер; 15 — Х. Абрамс; 16 — У. Шнайдер; 17 — А. Нассиф; 18—19 — Н.А. Ильин: 18 — керамзитобетон; 19 — тяжелый бетон; 20—21 — К.Д. Некрасов: 20 — тяжелый бетон на гранитном щебне, 21 — на известняке; 22 — согласно ЕС-2; данные автора: В80-1 — В80 после 1-го часа нагрева, В80-3 — В80 после 3 ч. нагрева, С-1 — В80 постоянного веса после 1 ч нагрева; С-3 — В80 постоянного веса после 3 ч нагрева; Ф-1 — В80 с добавкой фиброволокна после 1 ч нагрева, Ф-3 — В80 с добавкой фиброволокна после 3 ч нагрева; N-1 — В80 с добавкой влагосодержащих компонентов после 1 ч нагрева; N-3 — В80 с добавкой влагосодержащих компонентов после 3 ч нагрева; В80-5 — В80 после 5 ч нагрева; В80-10 — В80 после 10-минутного нагрева; В80-20 — В80 после 20-минутного нагрева

Из рис. 5 видно, что уже после часового воздействия пожара на железобетонную конструкцию она прогревается до температуры в 500 °С на глубину защитного слоя в среднем 80 мм.

Следовательно, повышение прочности и стойкости бетона к температурному воздействию должно производиться в совокупности с увеличением толщины защитного слоя арматуры или теплоизоляцией железобетонных конструкций.

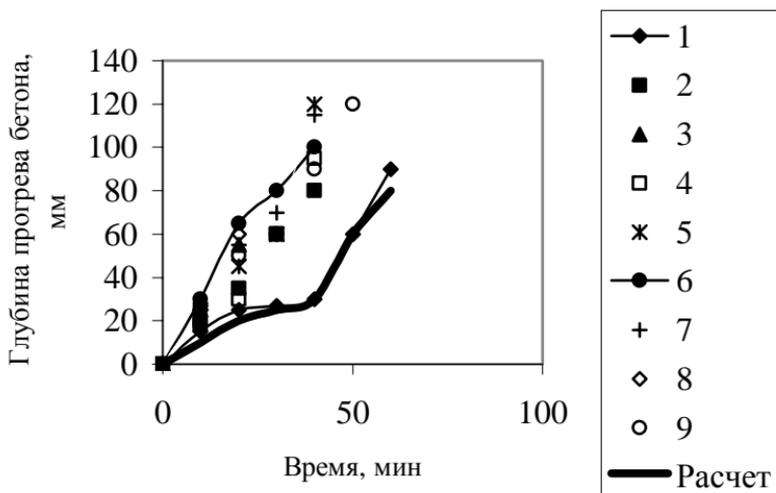


Рис. 5. Зависимость глубины прогрева бетона на температуру 500 °С от времени температурного воздействия по данным: 1 — Е. Рихтер, Р. Шнетгоке; 2 — М.Я., Ройтман; 3—4 — В.П. Бушев; 5 — Г. Ахмед, Д. Харст; 6 — У. Андерберг; 7 — У. Шнайдер; 8 — Н.А. Ильин; 9 — П. Нишер, Й. Штайнгербергер. Расчет — расчетные данные автора

Таким образом, изучение свойств высокопрочного бетона при воздействии на него высоких температур пожара является актуальной проблемой, которой занимаются и занимались ученые и исследователи в разных странах. Оптимальное и окончательное решение этой проблемы на сегодняшний день пока еще не было получено и обосновано. Некоторые положительные результаты исследований по ряду причин не получают практического применения.

Тем не менее с каждым годом увеличивается количество зданий повышенной этажности из высокопрочного бетона, что требует особого внимания как при производстве и оценке поведения бетона при пожаре, так и при разработке нормативной документации, которая на сегодняшний день в области высотного строительства является недоработанной.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций // М. : Стройиздат, 1986. 224 с. : ил.
2. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности государственной противопожарной службы / Н.Н. Брушлинский // М. : ЮНИТИ, 1998. 255 с.
3. Философские, правовые, политические и научно-технические проблемы безопасности жизнедеятельности / П.П. Баранов, В.В. Белозеров, В.Ю. Верещагин и др. // Мат. регион. науч.-теор. конф. «Политико-правовая культура и духовность». ISBN 5-89288-078-8. Ростов-на-Дону: РЮИ МВД России, 2001. С. 277—288.
4. СНиП 21-01—97\* Пожарная безопасность зданий и сооружений.
5. МГСН 4.19—05. Многофункциональные высотные здания и комплексы.
6. Рекомендации по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре. М. : Стройиздат, 1979. 21 с.
7. ГОСТ 30247.0—94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость.

УДК 625.85

**О.В. Толмачев, Н.С. Ковалев****ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИВЫХ ВЕЛЕРА  
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
АРМИРОВАННОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА**

Дана оценка временной прочности композита, предел прочности геосеток, композита, выносливости и срок службы армированного асфальтобетонного покрытия.

The estimation of time durability of a composite, strength, of geogrics, composite, endurance and service life of reinforcing asphalt concrete coverings is given.

В любое время года полотно дороги испытывает от колес автотранспорта действие периодических нагрузок, меняющихся по величине. Материалы, разрушающиеся в обычных статических условиях вязко [1], при циклических нагрузках обнаруживают картину разрушения, подобную хрупкому разрушению. После некоторого количества циклов на поверхности появляется трещина, которая прорастает все далее и далее, до момента разрушения. Это усталостное разрушение [2, 3]. Уровень напряжений, как растягивающих, так и сдвигающих, при котором происходит образование трещин (т.е. предел выносливости), с увеличением числа циклов падает, подобно тому, как падает с течением времени уровень разрушающих напряжений при статических испытаниях на длительную прочность. В [4] отмечается, что первые трещины в поверхностном слое нового покрытия из асфальтобетона могут появиться уже на второй год эксплуатации дороги.

Для повышения трещиностойкости асфальтобетона все большее применение находят геосетки (Армдор, Тензар и др.). При этом геосетку рекомендуют укладывать на полотно дороги при его ремонте под новый слой асфальтобетона. Безусловно, такое расположение уменьшит образование отраженных трещин, так как будет препятствовать прорастанию старых трещин в верхние слои нового покрытия. Однако при резком уменьшении температуры и верхний слой покрытия будет подвергаться напряжению, что может также привести к образованию трещин. Поэтому рационально будет использование геосетки и в верхнем слое асфальтобетонного покрытия.

Механическая прочность в двухфазной структуре, состоящей из пластической матрицы (битуминеральная смесь) с распределенными в ней длинными волокнами из более прочного материала, расположенными параллельно друг другу, обеспечивается тем, что волокна препятствуют течению материала. В композитном материале, как только будет превышен предел текучести матрицы, происходит упругое нагружение волокон наполнителя.

Разрушающее напряжение  $\sigma_c$  при растяжении вдоль волокон для композита можно определить выражением [5].

$$\sigma_c = \sigma_f A_f + \sigma_m (1 - A_f), \quad (1)$$

где  $\sigma_f$  — напряжение разрыва волокна (удаленного из композита);  $\sigma_m$  — напряжение, воспринимаемое матрицей в момент разрушения волокна;  $A_f$  — объемная доля волокон в композите.

А. Коттрел [6] считает, что  $\sigma_m = \sigma_T$  — предел текучести матрицы.

Обозначим толщину дополнительного слоя покрытия из плотной битумино-минеральной смеси, наносимого при ремонте на полотно дороги, через  $h$ , мм. Если этот слой наносится на геосетку, то полученную структуру можно рассматривать как композит, для которого в первом приближении можно считать справедливым соотношение (1).

Нетрудно рассчитать  $A_f$  для такой структуры. Например, если используется геосетка Tenzar AR1 (рис. 1).

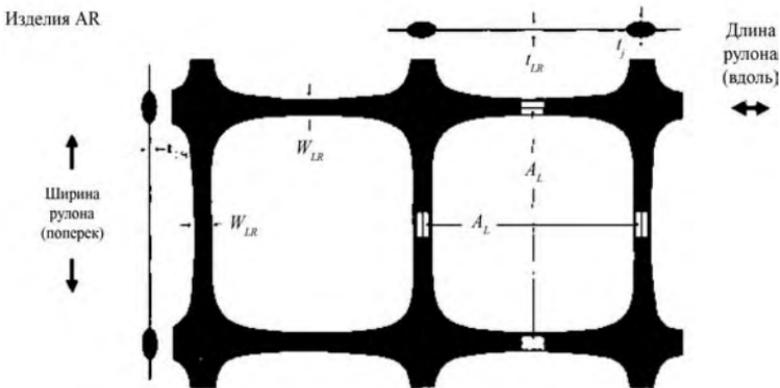


Рис. 1. Технические характеристики изделия TENZAR AR-1

Т а б л и ц а 1

Технические характеристики TENZAR AR-1

ТЕНЗАР	Размеры решетки, мм						
	$A_L$	$A_{L_T}$	$W_{LR}$	$W_{TR}$	$t_j$	$t_{LR}$	$t_{TR}$
1	2	3	4	5	6	7	8
AR-1	65	65	4	4	4,4	0,8	0,8

Разрывная нагрузка, кН/м	Сырье для изготовления решетки	Миним. содержание сажи, %	Размеры рулона, м	Масса, кг/м <sup>2</sup>
9	10	11	12	13
20	Полипропилен	2	50×3,8	0,2

Объем ячейки сетки будет равен

$$V_f = A_T W_{TR} t_{TR} + A_L W_{LT} t_{LT}, \quad (2)$$

где все параметры — технические характеристики сетки.

Объем асфальтового слоя толщиной  $h$  площадью, равной площади ячейки сетки, равен

$$V_{ac} = A_T A_L h \quad (3)$$

Тогда для геосетки AR1 (рис. 1):

$$\frac{V_f}{V_{ac}} = \frac{2 \cdot 65 \cdot 4 \cdot 0,8}{65 \cdot 65 \cdot h} = \frac{1}{10h}; \quad A_f = \frac{V_f}{V_f - V_{ac}} = \frac{1}{1 + 10h}. \quad (4)$$

Технические характеристики Армдор-50

Армдор-50	Наименование показателей			
	Масса на единицу площади, г/м <sup>2</sup>	Разрывная нагрузка, кН/м	Удлинение при разрыве, %	Размер ячеек, мм
	225	50	4	25

Для геосетки Армдор-50  $V_f = 2 \cdot 25 \cdot 3,5 \cdot 1 = 175 \text{ мм}^2$ ,  $V_{ac} = 625h$ ,

$$A_f = \frac{1}{1 + 3,57h} \quad (5)$$

Для геосетки Армдор-50 на 1 м нагруженной ширины располагаются 1000/25 пучков стеклонитей шириной 3,5 мм, толщиной 1 мм, общей площадью  $\frac{1000}{25} \cdot 3,5 \cdot 1 \text{ мм}^2$ .

Поэтому  $\sigma_f = \left( \frac{1000}{25} \cdot 3,5 \cdot 1 \right)^{-1} \cdot 50 = 360 \text{ МПа}$ .

Для геосетки Tenzar AR1  $\sigma_f = \left( \frac{1000}{65} \cdot 4 \cdot 0,8 \right)^{-1} \cdot 20 = 410 \text{ МПа}$ .

Для асфальтобетона принято  $\sigma_T = 3,5 \text{ МПа}$  [7].

*Предел прочности композита.* Применяя формулу (1), получим следующие значения предела прочности композита (асфальтобетон толщиной  $h$  + геосетка): при армировании геосеткой Армдор-50

$$\sigma_c = 360 \frac{1}{1 + 3,57 \cdot 100} + 3,5 \left( 1 - \frac{1}{1 + 3,57 \cdot 100} \right) = 4,5 \text{ МПа}$$

при толщине покрытия 100 мм,  $\sigma_c = 4,18 \text{ МПа}$  при толщине покрытия 150 мм;

при армировании геосеткой Tenzar AR1

$$\sigma_c = 410 \frac{1}{1 + 10 \cdot 100} + 3,5 \left( 1 - \frac{1}{1 + 10 \cdot 100} \right) = 3,91 \text{ МПа}$$

при толщине покрытия 100 мм,  $\sigma_c = 3,77 \text{ МПа}$  при толщине покрытия 150 мм.

Вышеприведенные значения  $\sigma_f$ ,  $\sigma_T$ ,  $\sigma_c$  следует понимать как пределы временного сопротивления. Так как нагрузка является циклической, то для правильной оценки прочности надо в качестве  $\sigma_f$ ,  $\sigma_T$ ,  $\sigma_c$  брать предел выносливости при заданном числе циклов нагружений  $N_{пр}$ .

Кривые Велера (кривые усталости) в полулогарифмических координатах выглядят как прямые линии. На рис. 2 такие линии построены по справочным данным [4] как среднестатистические при весьма большом разбросе значений. Использовались также зависимости длительной прочности (рис. 3) с пересчетом  $t$  на  $N$  по формуле  $N_{пр} = n t^* / \Delta t$ .

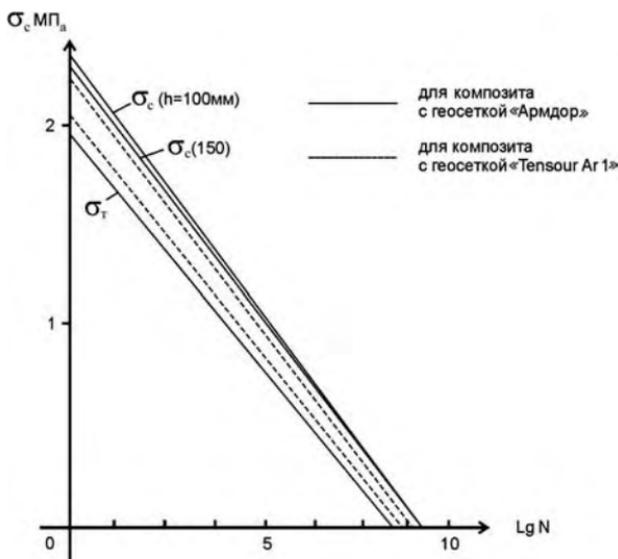


Рис. 2. Кривые Велера (предел выносливости  $\sigma_c$  при числе циклов  $N$ )

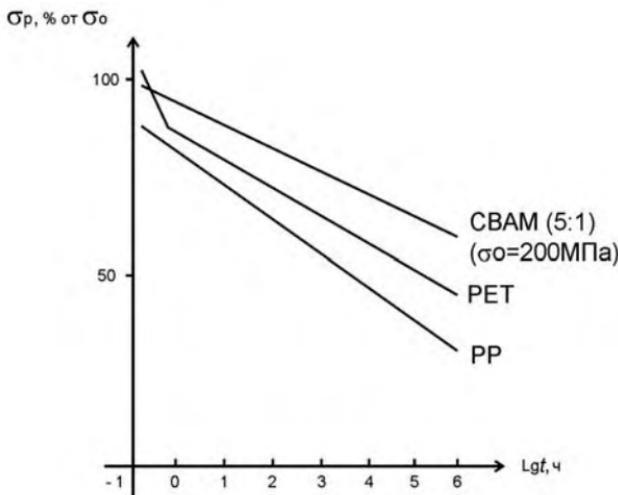


Рис. 3. Зависимость времени до разрушения  $t^*$ , ч, от напряжения

Предел выносливости  $\sigma_c$  композита с геосеткой Армдор-50 аппроксимируется прямой в полулогарифмических координатах  $\sigma_c$ , МПа и  $\lg N_{np}$ :

$$\sigma_c = 2,45 - 0,3 \lg N_{np} \text{ (при толщине покрытия } h = 100 \text{ мм, } A_f = 0,0028); \quad (6)$$

$$\sigma_c = 2,34 - 0,29 \lg N_{np} \text{ (при толщине покрытия } h = 150 \text{ мм, } A_f = 0,0019). \quad (7)$$

Для композита с геосеткой Tenzar AR1:

$$\sigma_c = 2,13 - 0,26 \lg N_{np} \text{ (при толщине покрытия } h = 100 \text{ мм, } A_f = 0,001); \quad (8)$$

$$\sigma_c = 2,04 - 0,25 \lg N_{np} \text{ (при толщине покрытия } h = 150 \text{ мм, } A_f = 0,00067) \quad (9)$$

Из уравнений (6)—(9) видно, что армирование асфальтобетона геосеткой Армдор-50 придает композиту большую прочность, чем армирование геосеткой Tenzar AR1 при том же количестве циклов нагрузки.

Предел выносливости асфальтобетонного покрытия без армирования аппроксимируется прямой в полулогарифмических координатах  $\sigma_c$ , МПа и  $\lg N_{пр}$ :

$$\sigma_c = 1,95 - 0,26 \lg N_{пр}. \quad (10)$$

*Определение срока службы асфальтобетонного покрытия без армирования и с одиночным армированием.* Воспользуемся уравнениями (6)—(10) для оценки срока службы покрытия-композита с учетом возникновения термоупругих растягивающих напряжений (зимой) величиной  $\sigma_c = 0,28$  МПа и от циклического воздействия колеса на покрытие:  $\sigma_c = 0,344$  МПа (при толщине покрытия  $h = 100$  мм) и  $\sigma_c = 0,2$  МПа (при толщине покрытия  $h = 150$  мм) [8].

Для двухосных автомобилей ( $n = 2$ ) при интенсивности движения  $N_i = 3500$  авт./сут найдем количество циклов в год

$$N_{год} = 2 \cdot 3500 \cdot 365 = 2555000.$$

При воздействии циклического напряжения  $\sigma_c = 0,344$  МПа на слой покрытия толщиной 100 мм при армировании геосеткой Армдор-50 из уравнения (6) следует, что разрушение покрытия произойдет за

$$0,344 = 2,45 - 0,3 \lg N_{пр},$$

$$N_{пр} = 10^{\frac{2,45-0,344}{0,3}} = 10^{7,02} = 10475500 \text{ циклов.}$$

Следовательно, предполагаемый срок службы покрытия при армировании геосеткой Армдор-50 будет равен

$$N_{пр} / N_{год} = \frac{10475500}{2555000} = 4,1 \text{ года (при толщине покрытия } h = 100 \text{ мм).}$$

*Определение срока службы асфальтобетонного покрытия при двойном армировании.* Рассмотрим, как изменится срок службы покрытия, если геосетку укладывать не только под асфальтобетонное покрытие, но и дополнительно сверху (вафельная структура).

Объемная доля  $A_f$  геосетки в композите изменится и станет равной (сравнить с (4) для вафельной структуры с геосеткой Tenzar AR1)

$$A_f = \frac{2V_f}{2V_f + V_{ac}} = \frac{1}{1 + 5h}, \quad (11)$$

и с геосеткой Армдор-50

$$A_f = \frac{1}{1 + 1,785h}. \quad (12)$$

В соответствии с формулой (1) изменится предел временного сопротивления композита. При использовании геосетки Армдор-50 получим:

$$\sigma_c = 5,486 \text{ МПа} \quad \text{при толщине покрытия } h = 100 \text{ мм;}$$

$$\sigma_c = 4,827 \text{ МПа} \quad \text{при } h = 150 \text{ мм.}$$

При использовании геосетки Tenzar AR1:

$$\sigma_c = 4,212 \text{ МПа} \quad \text{при } h = 100 \text{ мм};$$

$$\sigma_c = 3,975 \text{ МПа} \quad \text{при } h = 150 \text{ мм}.$$

Считая, что коэффициенты в уравнениях (6)—(9) увеличиваются пропорционально увеличению  $\sigma_c$ , получим при двойном армировании геосеткой Армдор-50:

$$\sigma_c = 2,99 - 0,366 \lg N \quad \text{при } h = 100 \text{ мм}, A_f = 0,0056; \quad (13)$$

$$\sigma_c = 2,628 - 0,32 \lg N \quad \text{при } h = 150 \text{ мм}, A_f = 0,0037. \quad (14)$$

При армировании геосеткой Tenzar AR1:

$$\sigma_c = 2,145 - 0,262 \lg N \quad \text{при } h = 100 \text{ мм}, A_f = 0,002; \quad (15)$$

$$\sigma_c = 2,074 - 0,254 \lg N \quad \text{при } h = 150 \text{ мм}, A_f = 0,00133. \quad (16)$$

В табл. 5 приведены сроки службы асфальтобетонных покрытий после воздействия циклических нагрузок и термоупругих напряжений, рассчитанных по формулам (6)—(10) (для одиночного армирования и без армирования) и (13)—(16) (для двойного армирования).

Т а б л и ц а 5

*Срок службы асфальтобетонных покрытий армированных и не армированных при воздействии циклических нагрузок и термоупругих напряжений*

Толщина покрытия, мм	Напряжение цикла, МПа	Срок службы покрытия, лет				
		без армирования	с одиночным армированием геосеткой		с двойным армированием геосеткой	
			Армдор-50	Tenzar AR1	Армдор-50	Tenzar AR1
при воздействии циклических нагрузок						
100	0,344	0,588	4,1	2,9	6,64	2,95
150	0,200	2,11	9,37	8,97	14,33	9,21
от воздействия термоупругих напряжений						
100	0,28	1,04	6,7	5,1	9,93	5,19
150	0,28	1,04	4,97	4,29	8,08	4,45

Анализ результатов табл. 5 свидетельствует о том, что срок службы покрытия при двойном армировании геосеткой Армдор-50 увеличился почти на 50 %, в то время как дополнительное армирование геосеткой Tenzar AR1 увеличило срок службы на 2...4 %. Это объяснимо, так как объемная доля геосетки AR1 почти в 3 раза меньше, чем для Армдор-50.

*Выводы.* 1. Кривые Велера можно использовать для прогнозирования трещиностойкости и долговечности асфальтобетонных покрытий.

2. Армирование геосетками асфальтобетонных покрытий существенно повышает их трещиностойкость и долговечность.

3. При армировании следует отдавать предпочтение геосетке марки Армдор-50, так как срок службы покрытий повышается в 1,5 раза по сравнению с геосеткой марки Tenzar AR1.

4. Двойное армирование геосеткой Армдор-50 повышает долговечность почти в 1,5 раза по сравнению с одиночным армированием, в то время как при применении геосетки Tenzar AR1 увеличение срока службы происходит только на 2...4 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гольденблат И.И.* Длительная прочность в машиностроении / И.И. Гольденблат, В.М. Бажанов, В.А. Копнов. М. : Машиностроение, 1977. 248 с.
2. *Черепанов Г.П.* Механика хрупкого разрушения. М. : 1974. 640 с.
3. *Партон В.З.* Механика упругопластического разрушения / В.З. Партон, Е.М. Морозов. М. : Наука, 1974. 416 с.
4. *Парис П.* Анализ напряженного состояния около трещин / П. Парис, Д. Си // Прикладные вопросы вязкости разрушения. М. : Мир, 1968.
5. *Келли А.* Упрочение металлов дисперсными частицами // Механические свойства новых материалов. М. : Мир, 1966. С. 111—135.
6. *Коттрел А.* Прочность материалов // Механические свойства новых материалов : пер. с англ. М. : Мир, 1966. С. 7—20.
7. Ремонт и содержание автомобильных дорог : справочник инженера-дорожника / под ред. А.П. Васильева. М. : Транспорт, 1989. 287 с.
8. *Толмачев О.В.* Математическое обоснование критерия трещиностойкости и долговечности асфальтобетона с армирующими материалами / О.В. Толмачев, Вл.П. Подольский, Н.С. Ковалев // Геодезия, кадастр, землеустройство : сб науч. тр. Воронеж : ВГАУ, 2006. Вып. 5. С. 119—130.

© Толмачев О.В., Ковалев Н.С., 2007

УДК 691.342

*Л.С. Майорова, Т.К. Акчурина***ВИБРОПРЕССОВАННЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ДОБАВКАМИ ОРГАНО-ХИМИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ  
ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

Приведены результаты исследований мелкозернистых бетонов, модифицированных добавками органо-химических и минеральных техногенных отходов, и определены рациональные области их применения.

The authors have considered the results of research into fine grain concretes modified by admixtures of organic-chemical and mineral man-made waste, and determined rational fields of their application

С целью снижения затрат на капитальное строительство необходимо в первую очередь добиться существенного их уменьшения в производстве строительных материалов. Этому способствует вовлечение техногенных отходов в производство строительных материалов и изделий. При этом достигается экономия сырьевых, материальных и энергетических ресурсов, так как существенно повышается эффективность капиталовложений. Кроме того, решаются остро стоящие экологические проблемы.

На кафедре строительных материалов и специальных технологий ВолгГАСУ разработаны составы вибропрессованных мелкозернистых бетонов, модифицированных добавками органо-химических и минеральных техногенных отходов, и определены рациональные области их применения.

При постановке и проведении исследований использовались сырьевые материалы со следующими характеристиками.

1. Отходы, образующиеся на ОАО «Волжский трубный завод» при нанесении слоя эпоксидного праймера — эпоксидного порошкообразного материала «Scotchkote 226 N Slow 11 G» фирмы «3М» США, характеристика которого представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Основные характеристики порошковой эпоксидной композиции*

Наименование показателя	Единицы измерения	Значения показателя		Метод испытания
		min	max	
Плотность	г/см <sup>3</sup>	1,3	1,6	CAN/CZA Z 245.20
Размер частиц: остаток на сите 177 мкм остаток на сите 40 мкм	% содержание по массе	0 45	1 54	CAN/CZA Z 245.20
Время гелеобразования (205 ± 3 °С)	Сек.	30 ± 20 %		CAN/CZA Z 245.20
Время гелеобразования (232 ± 3 °С)	Сек.	11 ± 20 %		CAN/CZA Z 245.20
Температура стеклования T <sub>g</sub> 1 T <sub>g</sub> 2	°С	48 95	66 110	CAN/CZA Z 245.20
Влажность	% по массе	0	0,6	

Структура проб эпоксидных смол (рекуперата), определенная с помощью ИК-спектрофотометра (SPEKORD M80), приведена на рис. 1.

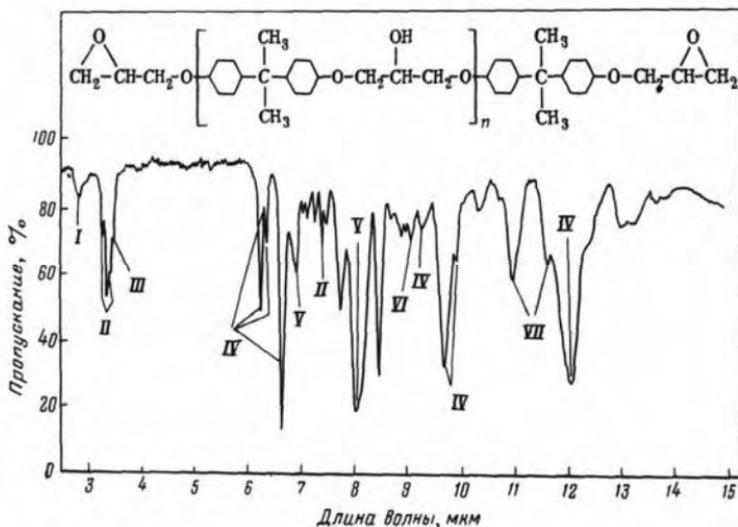


Рис. 1. Спектр пропускания эпоксидной смолы (рекуперата) в ИК-области: I — гидроксильная группа; II — метильные группы; III — метиленовые группы; IV — замещенный ароматический углеводород; V — эфирные группы; VI — простой фенольный эфир; VII — эпоксидная группа

2. Отвердитель — полиэтиленполиамин (ПЭПА) ТУ 2413-357-00203447-99.

3. В качестве заполнителей использовались:

— обточка — продукт механической обработки абразивного инструмента, представляющий собой дисперсный материал, полученный в результате доведения инструмента до требуемого класса чистоты и геометрических размеров. Химический, гранулометрический и минералогический состав обточки приведен в табл. 2 и 3.

Т а б л и ц а 2

*Химический состав обточки*

Химический состав, %					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
3,8...23,8	89,6...60,8	0,12...0,35	0,3...1,9	0,95...6,0	0,4...1,7

Т а б л и ц а 3

*Анализ материала обточки со станка ЗЕ642 цеха обработки инструмента ОАО «ВАЗ»*

Показатели	Обточка со станка		Обточка отмагниченная в ЦПО	
	Остаток, %	Минералогия	Остаток, %	Минералогия
1	2	3	4	5
Гран. состав:				
сетки				
600	0,4		0,5	
500	0,2		1,1	
425	0,3	64С — 2,5	2,4	64С — 3,9

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
355	0,4	54С — 3,0	4,7	54С — 1,2
300	1,3	14А — 2,3	5,5	14А — 6,7
250	4,6	25А — 90,4 связка — 1,8	6,5	25А — 70,6 связка — 17,6
212	6,2		5,5	
180	12,5	64С — 0,4	10,3	64С — 1,5
150	7,4	54С — 1,8	5,3	54С — 0,8
125	16,7	14А — 2,3 25А — 92,6 связка — 2,9	11,3	14А — 8,9 25А — 68,1 связка — 20,7
106	10,2		7,8	
90	4,9		4,8	
75	7,9		6,6	
63	3,2		3,9	
53	8,3		8,5	
45	4,4		5,1	
-45	-11,1		-10,2	
Нас. плотность, г/см <sup>3</sup>	1,86		1,85	
Магн.фр.	0,02		0,04	
Данные хим. анализа	Зерна — 89,6 %		Зерна — 87,9 %	
	Связка — 10,4		Связка — 12,1	

— несортированная смесь боя стекла. Химический состав стеклобоя приведен в табл. 4.

Таблица 4

Химический состав стеклобоя, % по массе

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
71,5...73,8	1,2...3,3	0,1...0,6	6,5...9,1	3,2...4,1	14,0...16,0	0,2...0,5

— кварцевый песок Орловского месторождения с модулем крупности  $M_K=1,5$  отвечающий требованиям ГОСТ 10268—80 «Заполнители для тяжелого бетона». Технические требования и ГОСТ 8736—85 «Песок для строительных работ. Общие требования». Химический состав кварцевого песка приведен в табл. 5.

Таблица 5

Химический состав песка, % по массе

SO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Na <sub>2</sub> O	п.п.п.
99,18	0,29	0,11	сл.	0,03	сл.	0,02	0,04	0,07	0,16

5. Вода. Использовалась водопроводная вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732—85 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия».

6. Портландцемент марки М400 ОАО «Себряковцемент» г. Михайловка, Волгоградской области, отвечающий требованиям ГОСТ 10178—85\* «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия».

При проведении исследований применялись современные физико-механические, физико-химические методы, регламентируемые действующими ГОСТами.

В результате проведенных исследований (табл. 6 и рис. 2) было установлено, что максимальными прочностными характеристиками обладают мелкозернистые бетоны состава № 7, содержащие 8...10 % эпоксидсодержащего отхода.

Т а б л и ц а 6

Составы мелкозернистых бетонов

Компоненты	Содержание компонентов, масс. %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Портландцемент М400	30	25	20	25	25	25	25	25
Песок Орловский $M_{кр}=1,5$	70	75	80	75	75	75	75	75
Эпоксидсодержащий отход*	—	—	—	2	4	6	8	10

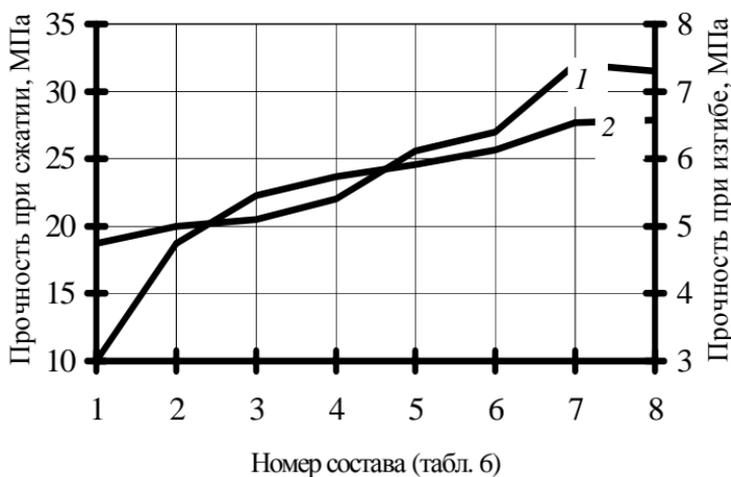


Рис. 2. Зависимость прочности мелкозернистых бетонов при сжатии (1) и изгибе (2) от составов

Бетонная смесь обладает рыхлой нестабильной структурой с высокой пористостью и большим объемом вовлеченного воздуха. Необходимое условие получения однородного по плотности и прочности бетона — уплотнение бетонной смеси.

Вибрирование с одновременным давлением позволяет применять жесткие смеси и получать поверхность изделия с заданным профилем, используя для этого в качестве штампа вибрирующую плиту.

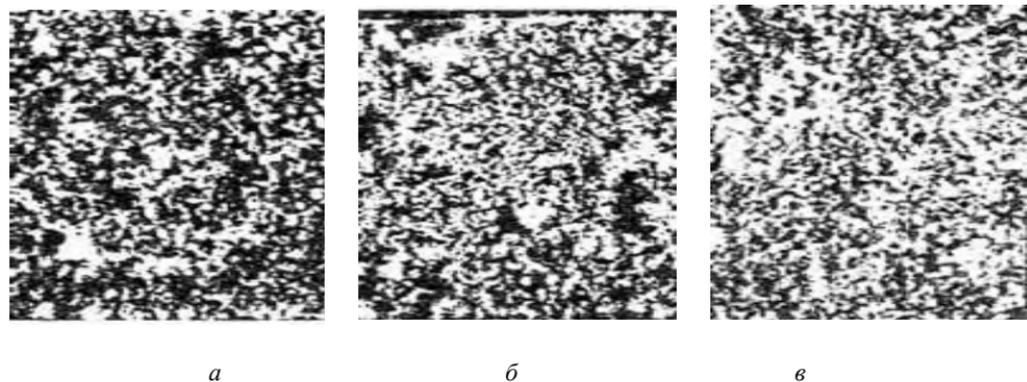
В работе изучалось влияние вида и длительности виброобработки мелкозернистой смеси на физико-механические свойства готовых изделий. Исследования проводились на образцах-кубах размером  $10 \times 10 \times 10$  см, изготовленных из смеси оптимального состава (состав № 7 табл. 6). Уплотнение смеси осуществлялось: вибрированием, вибрированием с пригрузом и вибропрессованием (табл. 7).

\* в качестве отвердителя использовался ПЭПА в соотношении эпоксидная смола: ПЭПА = 10:1

*Влияние продолжительности виброобработки на физико-механические свойства модифицированного мелкозернистого бетона*

Режим	Продолжительность виброобработки, с	Средняя плотность, кг/см <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа
Виброформование	60	2000	29,1
	90	2010	29,9
	120	2020	29,9
	150	2025	30,4
Виброформование с пригрузом	60	2020	29,7
	90	2030	29,8
	120	2035	31,2
	150	2040	31,9
Вибропрессование	15	2040	33,5
	30	2055	39,5
	45	2060	40,1

Проведенные исследования показали, что применение вибропрессования значительно сокращает время вибрационной обработки и позволяет получать бетон большей плотностью (рис. 3).



а

б

в

Рис. 3. Макроструктура модифицированного мелкозернистого бетона, уплотненного: *а* — вибрированием; *б* — виброформованием с пригрузом; *в* — вибропрессованием

Как известно, в системах, полученных смешением разномодальных, разноплотных, разнообъемных компонентов проявляется другой, более мощный, чем аддитивность, эффект — синергизм, обусловленный ориентацией структурных звеньев связующего. Результаты исследований, направленных на замену песка в модифицированных мелкозернистых бетонах отходами производств (стеклобой, обточка), представлены на рис. 4.

Проведенные исследования показали, что оптимальным количеством вводимого стеклобоя является 35...45 %. Обточка в количестве от 10 до 55 % увеличивает прочность и может полностью заменить заполнитель в бетоне.

Строительно-эксплуатационные характеристики модифицированных мелкозернистых бетонов оптимальных составов приведены в табл. 8.

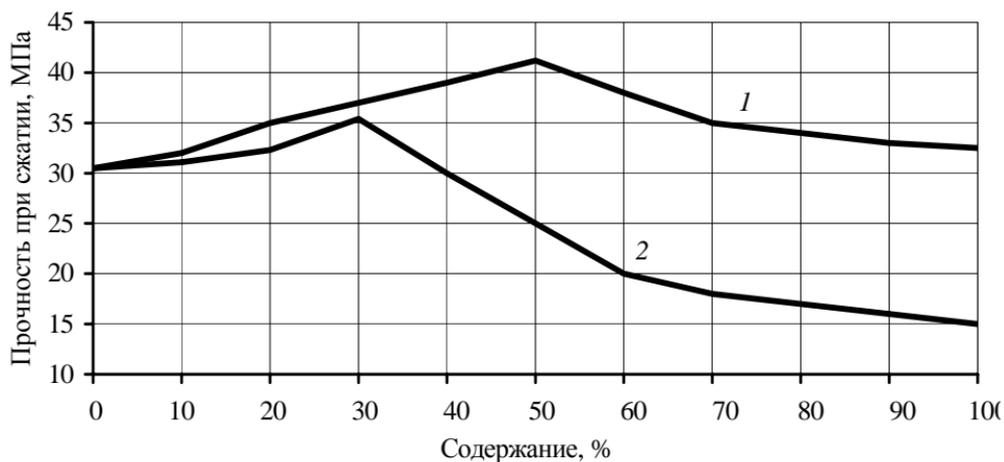


Рис. 4. Зависимость изменения прочности при сжатии от вида количества наполнителя: 1 — обточка; 2 — стеклобой

Т а б л и ц а 8

*Основные строительно-эксплуатационные характеристики модифицированных мелкозернистых бетонов*

Вид наполнителя	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Водопоглощение, %	Истираемость, г/см <sup>2</sup>	Морозостойкость, цикл
Песок с $M_k=1,5$	30...32	6,2...6,5	6...8	0,13	200
Обточка	35...41	7,5...8,2	3...4	0,08	более 200
Стеклобой	31...35	5,4...6,1	5...6	0,14	более 200

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности применения разработанных бетонов для дорожных покрытий и облицовочных изделий, технико-экономическая эффективность изготовления которых продиктована высокими эксплуатационными характеристиками.

© Майорова Л.С., Акчурин Т.К., 2007

УДК 697. 98

*Н.В. Мензелинцева, Н.Ю. Карапузова, Л.И. Плеханова***АППАРАТ ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ**

Для повышения эффективности улавливания твердых частиц пыли предложен аппарат на базе зернистого фильтра, где в качестве первой ступени может использоваться циклон, либо жалюзийный пылеуловитель. Аппарат позволяет использовать крупные, и средние фракции пыли, уловленной циклоном, в качестве зернистого фильтрующего материала. Вся уловленная пыль возвращается в производство.

For increase of efficiency of catching of solid fractions the device based on the granular filter is offered, where as the first step the cyclone or jalousie dust collector can be used. The device allows using large and average dust fractions caught by a cyclone as a granular filtering material. The usage of such device allows achieving high efficiency of air clearing (95...98%). All caught dust comes back into production.

Интенсификация процессов производства в различных отраслях промышленности сопровождается значительным ухудшением качества окружающей среды, в частности, воздушного бассейна. Существенный вклад в загрязнение атмосферы вносят предприятия строительной индустрии, одним из основных компонентов выбросов которых являются твердые частицы. Пыли данных производств различны по дисперсному составу и свойствам.

Проведенный анализ показал, что содержание твердых частиц в выбросах в атмосферу значительно превышает ПДК, что говорит о неэффективной работе пылеулавливающих систем.

Попытки решить проблему за счет совершенствования технологического процесса или изменения состава сырья не позволяют в полной мере достичь желаемого результата, что вызывает необходимость совершенствования систем пылеулавливания [1].

В настоящее время для улавливания твердых примесей выбросов применяют различные аппараты, в том числе гравитационные, фильтрующие, промывные, а также электрофильтры. Среди фильтрующих установок достаточно часто используются зернистые фильтры. На предприятиях используют зернистые фильтры с неподвижными и подвижными слоями.

Важными преимуществами зернистых фильтров являются простота конструкции, доступность материалов, возможность работать при очень высоких температурах и в условиях агрессивной среды, выдерживать большие механические нагрузки и перепады давлений, а также резкие изменения температуры [2].

Зернистый слой фильтров регенерируется путем перемешивания обратной продувкой. Регенерация фильтров обратной продувкой слоев требует значительного количества газа с более низкой температурой, что в условиях высокотемпературного фильтрования приводит к конденсации влаги, из-за чего снижается эффективность очистки в аппаратах.

Для повышения эффективности улавливания твердых частиц разработан аппарат на базе зернистого фильтра, где в качестве первой ступени может использоваться циклон, либо жалюзийный пылеуловитель.

На рис. 1 представлен двухступенчатый пылеуловитель, где в качестве первой ступени используется циклон. Аппарат включает в себя фильтр 2, содержащий зернистый фильтрующий материал, циклон 1, пылевыгрузочное устройство 3, патрубки подвода запыленного 4 и отвода очищенного 5 воздуха. Циклон выполнен в прямоточном исполнении и расположен над фильтром. Аппарат позволяет использовать крупные и средние фракции пыли, уловленной циклоном, в качестве зернистого фильтрующего материала.

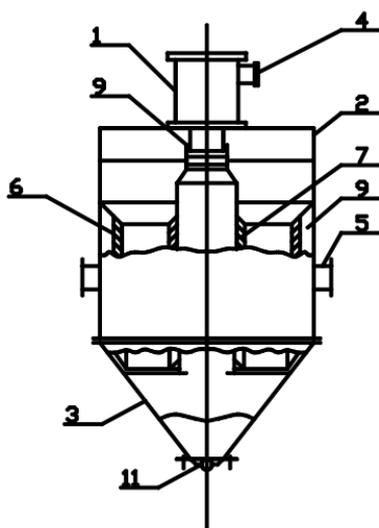


Рис. 1

Процесс очистки воздуха от пыли осуществляется ступенчато. Запыленный поток воздуха подается через входной патрубок в циклон, где происходит первая ступень очистки, под действием сил гравитации крупные и средние фракции пыли оседают между коаксиально расположенными жалюзийными решетками 6 и 7 фильтра и, накапливаясь, образуют зернистый фильтрующий слой частицами с размером от 100 до 25 мкм, обуславливающими высокую насыпную плотность за счет увеличения объема пор и пустот между частицами пыли. Вторая ступень очистки воздуха осуществляется в фильтре. Поток с тонкодисперсными фракциями пыли проходит через зернистый фильтрующий слой, при этом очищенный воздух проходит через отверстия в наружной жалюзийной решетке, скапливается в зазоре 9 и затем отводится через патрубок 5, а фильтрующий зернистый материал с уловленной тонкодисперсной пылью под действием сил гравитации опускается вниз и скапливается в конусе пылевыгрузочного устройства 3, откуда удаляется по мере необходимости при срабатывании весового дозатора 11.

На рис. 2 представлен двухступенчатый аппарат, где первой ступенью очистки является жалюзийный пылеуловитель. Основным элементом жалюзийного пылеуловителя 1 является жалюзийная решетка 2, жалюзи которой располагаются под углом естественного откоса к направлению движения воздуха. Данный аппарат снабжен патрубком ввода запыленного 3 и отвода очищенного 4 воздуха. Жалюзийный пылеуловитель соединен с зернистым фильтром воздухоприемным устройством 5, которое представляет собой разделительный конус с жалюзиями и переходной втулкой.

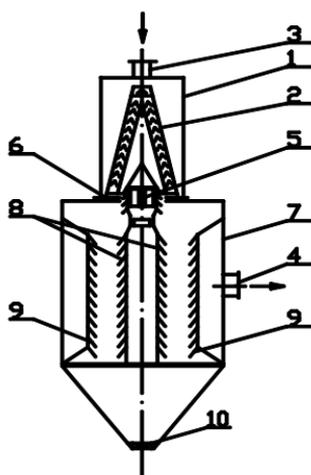


Рис. 2

Процесс очистки воздуха осуществляется ступенчато. Запыленный воздух подается через входной патрубок в жалюзийный пылеуловитель, где происходит первая ступень очистки воздуха от пыли. Поток запыленного воздуха, обтекая жалюзийную решетку разбивается на тонкие струйки, каждая из которых совершает поворот, при этом крупные и средние фракции пыли оседают в направлении щелей 6, соединяющих жалюзийный пылеуловитель с фильтром 7. Под действием сил гравитации они оседают между коаксиально расположенными жалюзийными решетками 8 и 9 фильтра 7. Поток воздуха с тонкодисперсными фракциями пыли попадает во внутреннюю часть жалюзийной решетки и, проходя через жалюзи воздухоприемного устройства, поступает в центральную часть фильтра. Оттуда поток воздуха проходит через отверстия во внутренней жалюзийной решетке, затем через зернистый фильтрующий слой. Очищенный воздух, проходя через отверстия в наружной жалюзийной решетке, отводится через патрубок 4, а фильтрующий материал с уловленной тонкодисперсной пылью опускается в пылевыгрузочное устройство 10, откуда удаляется.

Регенерация фильтра осуществляется путем постоянной или периодической подачи свежей зернистой загрузки, что обеспечивает непрерывность работы устройства без необходимости установки дополнительных секций для регенерации. Использование такого аппарата позволяет достичь высокой эффективности очистки воздуха (95...98 %). Вся уловленная пыль возвращается в производство [3, 4].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов фильтрами / В.Н. Ужов, Б.И. Мягков. М.: Химия, 1970.
2. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды / А.И. Родионов, Н.С. Клушин, Н.С. Торгешников. М.: Химия, 1989.
3. Аппарат двухступенчатой очистки воздуха от пыли / Патент № 2238124, Оpubл. 10.06.2004, бюл. № 16. В.Ф. Желтобрюхов, Е.В. Желтобрюхов, Н.Ю. Карапузова, Е.С. Круподерова.
4. Фальстр-циклон. Патент №2177820, опубл. 2002, бюл. № 1.

УДК 621.928.9

**В.Т. Фомичев, В.Н. Азаров, А.С. Лукьянсков**

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ЦЕХОВ АНОДНОЙ МАССЫ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Проведено полное обследование существующих систем вентиляции. Проанализированы свойства пыли в воздухе рабочей зоны и в системах аспирации. Проведены исследования работы пылеуловителей в условиях производства анодной массы, определены минимальные расходы аспирационного воздуха. Результаты исследования использованы при реконструкции существующей систем аспирации. Достигнут положительный эколого-экономический эффект.

We have spent full inspection of existing systems of ventilation. We have analyzed properties of a dust in air of a working zone and in ventilation systems. We have spent researches of work of dedusters in conditions of manufacture of anode mass, have determined the minimal charges of ventilation air. Results of research are used at reconstruction existing ventilation systems. Positive ecological-economic benefit is achieved.

Массу анодную углеродистую изготавливают в цехе анодной массы, состоящем из отделений предварительного дробления, дробильно-размольного и смесительного.

Технологический процесс производства анодной массы связан с обработкой, измельчением и транспортированием углеродистых материалов и сопровождается интенсивным образованием и выделением пыли как в производственные помещения, так и в атмосферный воздух.

Системы вентиляции в обследуемом цехе представлены в основном местными вытяжными системами (системы аспирации).

Для оценки технологического оборудования цеха как источника пылевыведения в окружающую среду был проведен ряд исследований:

проведены замеры аэродинамических характеристик и запыленности воздушных потоков существующих систем аспирации;

для оценки вклада каждого источника выделения пыли в загрязнение воздушной среды производственных помещений проведены замеры запыленности в рабочей зоне отдельно у каждой единицы технологического оборудования [1];

для расчета систем аспирации и разработки эффективных мер по борьбе с выделяющимися вредностями была определена экспериментально величина пылевыведений от технологического оборудования [2, 3] по методике профессора Е.И. Богуславского и В.Н. Азарова [4].

Анализируя результаты исследований, можно установить, что при работе технологического оборудования имеет место превышение ПДК коксовой пыли в рабочей зоне цеха. Максимальная итнесивность пылевыведения фиксируется у оборудования, не оснащенного системами аспирации.

Превышение значений ПДК коксовой пыли в воздухе рабочей зоны обусловлено тем, что существующие в цехах анодной массы системы аспирации не удаляют необходимого количества воздуха от оборудования. Анализ проектных решений показал, что фактические расходы аспирационного воздуха соответствуют проектным. Однако, как показывают наши исследования, проектные значения расходов воздуха, удаляемого из оборудования определяют-

ся типом аспирируемого оборудования и не учитывают свойств транспортируемого и обрабатываемого материала. Кроме того, существуют системы аспирации для которых характерны ступенчатые изменения расхода загрязненных газов, поступающих в системы аспирации в зависимости от нагрузки по сырью технологического оборудования. В частности такой является система аспирации сушильного барабана.

Установлено, что проектные расходы воздуха, отсасываемого от различных единиц оборудования цеха как недостаточны, так и завышены. Завышенные значения приводят к большому уносу пыли из технологического оборудования, и в результате неэффективной очистки аспирационные установки выбрасывают в атмосферу значительное количество пыли. Заниженные значения приводят к тому, что от технологического оборудования поступает в рабочую зону значительное количество пыли.

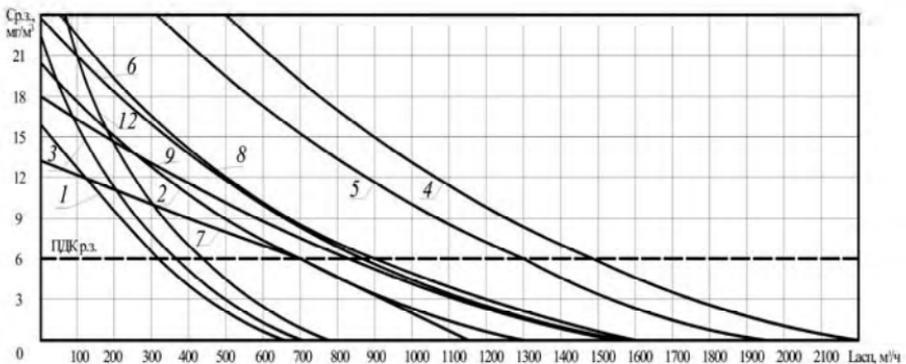


Рис. 1. Зависимость концентрации коксовой пыли в воздухе рабочей зоны от расходов аспирационного воздуха у технологического оборудования: 1 — конвейер винтовой  $\varnothing$  200 мм; 2 — конвейер винтовой суммирующий  $\varnothing$  300 мм; 3 — бункера сортовые  $V=15; 20; 85; 110 \text{ м}^3$ ; 4 — головка элеватора ЛГ-350,  $H=26 \text{ м}$ ; 5 — зумпф элеватора ЛГ-350,  $H=26 \text{ м}$ ; 6 — головка элеватора ЛГ-350,  $H=19 \text{ м}$ ; 7 — дробилка двухвалковая Г-100 $\times$ 55; 8 — транспортер ленточный В-650; 9 — транспортер ленточный В-650; 10 — питатель ленточный; 11 — питатель ленточный; 12 — течка грохота; 13 — мельница шаровая

В ходе опытно-промышленных исследований существующих систем аспирации на основании метода, предложенного В.Н. Посохиным [5], были определены минимальные объемы воздуха, отсасываемого от оборудования цеха. Суть метода заключается в обеспечении интенсивности отсоса воздуха от оборудования, при котором концентрация коксовой пыли в воздухе рабочей зоны и технологического оборудования не превышает ПДК. Также были установлены зависимости изменения концентрации коксовой пыли в воздухе рабочей зоны у каждой единицы оборудования от расхода воздуха, отсасываемого от него (см. рис. 1).

Определены дисперсный состав коксовой пыли, витающей в воздухе рабочей зоны, в системах аспирации оборудования; плотность, удельная поверхности, углы естественного откоса, морфологический состав и фактор формы частиц пыли.

Для очистки аспирационного воздуха в цехах анодной массы применяются только сухие методы, т.к. пыль углеродистых материалов плохо смачивается [6]. Применяется двухступенчатая пылеочистка, что обусловлено вы-

сокими концентрациями пыли и присутствием в ней крупных и тонких фракций [7, 8]. На первой ступени очистки установлены циклоны различных типов, а на второй — рукавные фильтры или электрофильтры.

В ходе обследования систем аспирации было установлено, что работа пылеулавливающего оборудования систем аспирации неудовлетворительна. Эффективность улавливания коксовой пыли циклонами систем аспирации не превышает 58 %, рукавными фильтрами — 89, электрофильтрами — 98.

Низкая эффективность работы циклонов обусловлена размером частиц пыли в очищаемом воздухе, медианный диаметр которой составляет 30...70 мкм. Также значительное влияние на процесс улавливания пыли оказывает расход очищаемого газа. Диапазон изменения расхода воздуха составляет 4800...16200 м<sup>3</sup>/ч и зависит от стадии технологического процесса.

Была поставлена задача выбора пылеуловителей с учетом особенностей режима и физико-химических свойств пыли, а также исследование устойчивости выбранного аппарата при наличии изменений входных параметров системы аспирации.

Проведена оценка фракционной эффективности улавливания пыли различными аппаратами (рис. 2). Установлено, что аппарат ВЗП обеспечивает гораздо большую степень улавливания мелких частиц, чем циклон.

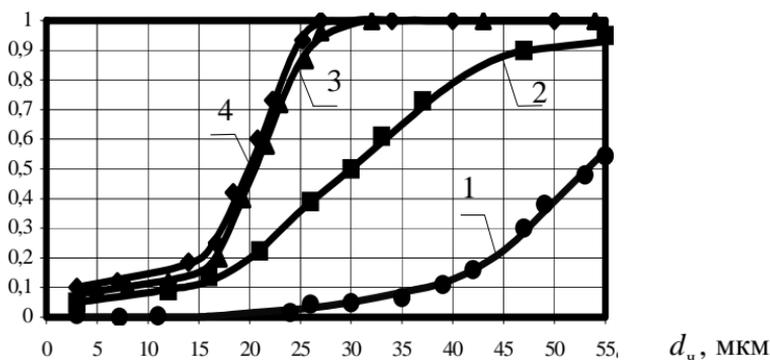
$$\eta(d_q)$$


Рис. 2. Фракционная эффективность пылеуловителей: 1 — циклонов; 2 — вихревых инерционных аппаратов со встречными закрученными потоками; 3 — рукавных фильтров; 4 — электрофильтров

Проведена оценка устойчивости работы вихревых аппаратов при наличии отклонений расхода очищаемого газа от проектного значения.

Поведены экспериментальные и опытно-промышленные исследования работы вихревых пылеуловителей при ступенчатых изменениях расхода очищаемого воздуха. Найдены зависимости, представленные на рис. 3, 4.

Установлено, что применение аппаратов ВЗП в качестве первой ступени очистки в системах аспирации цеха анодной массы обеспечит большую эффективность улавливания коксовой пыли, чем циклоны.

В системах аспирации производства анодной массы в качестве второй ступени очистки используются рукавные фильтры марки СМЦ-40 с импульсно-регенерацией фильтровальной ткани. Воздух очищается проходя снаружи внутрь рукавов. Рукава одеты на металлические пружинные каркасы.

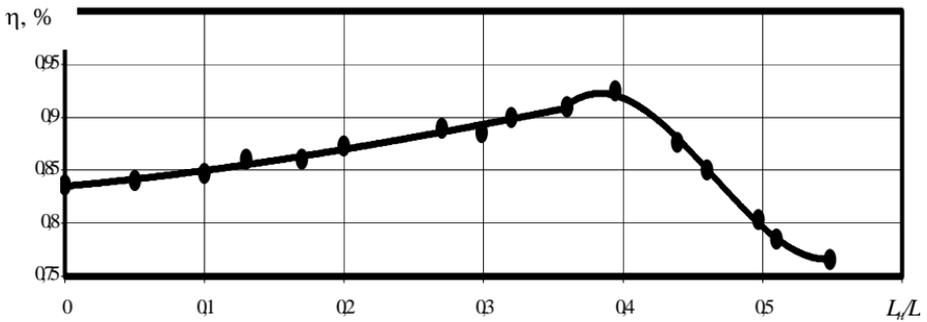


Рис. 3 Зависимость эффективности пылеулавливания от соотношения расходов воздуха, подаваемого через нижний ввод аппарата, и общего, поступающего на очистку в пылеуловитель ВИП-600

Низкая эффективность улавливания коксовой пыли рукавными фильтрами объясняется несоответствием условий фильтрации характеристикам фильтровального материала. Срок службы фильтровального материала в рукавных фильтрах цеха анодной массы не превышает 6 месяцев, хотя, как правило, срок службы фильтровальных материалов составляет: отечественных производителей — 1 год, зарубежных — 2 года.

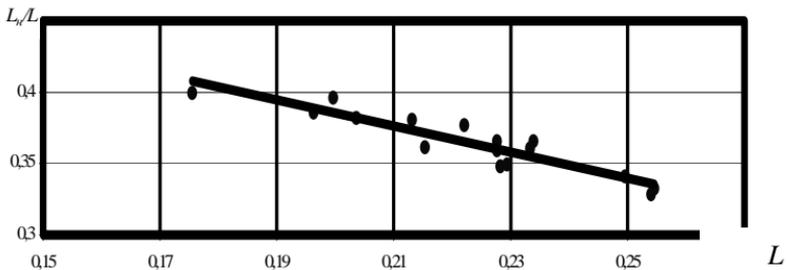


Рис. 4 Зависимость доли расхода воздуха, подаваемого через нижний ввод аппарата, от изменения общего расхода воздуха, поступающего на очистку в пылеуловитель ВИП

Проведенные исследования работы рукавных фильтров систем аспирации показали, что удельные газовые нагрузки на фильтровальный материал завышены и составляют 1,8...2,5 м/мин. Однако, для большинства материалов номинальной является нагрузка 0,5...1 м/мин, редко 1,5 м/мин. Превышение удельных газовых нагрузок приводит к снижению пылеулавливающей способности фильтровальных материалов. В ходе визуального обследования были обнаружены разрывы фильтровального материала в местах соприкосновения его с каркасом. Вероятно, разрывы материала образовались в результате трения фильтровального рукава о металлический каркас в момент импульсной регенерации. Очевидно несовершенство конструкции каркасов рукавов, что приводит к малому сроку их службы. Также отверстия в фильтровальных материалах могут появляться в результате прогорания рукавов, в случае если температура очищаемого воздуха выше допустимой температуры для ткани.

По результатам экспериментов (рис. 5) оптимальным фильтровальным материалом было выбрано иглопробивное фильтровальное волокно марки «Рунит».

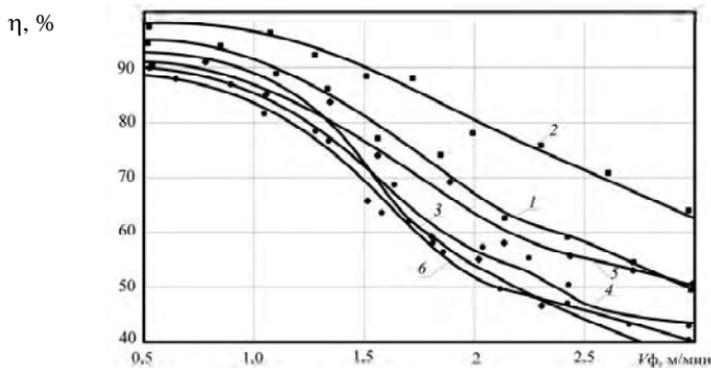


Рис. 5. Зависимость эффективности улавливания коковой пыли фильтровальными материалами от скорости фильтрации: 1 — СМОГ, 2 — Рунит, 3 — ФЛ-4, 4 — 86031; 5 — Основовязанный, 6 — ФТ-4

Для повышения эффективности улавливания коковой пыли рукавными фильтрами проведены эксперименты по подбору оптимального фильтровального материала. Разработана экспериментальная установка — рукавный фильтр с импульсной регенерацией и металлическими каркасами рукавов. Для максимального приближения условий фильтрации к производственным установка была подключена к существующей системе аспирации. Исследовано 6 различных фильтровальных материалов. Параметрами оптимизации являлась эффективность улавливания коковой пыли материалами, варьируемым фактором являлась скорость фильтрации. Также, были установлены зависимости скорости фильтрации от перепада давления на входе и выходе установки. На основе анализа дисперсионного состава пыли в воздухе до и после очистки в установке определена фракционная эффективность улавливания пыли для каждого материала. Проведена оценка фракционной эффективности улавливания коковой пыли фильтровальными материалами (рис. 6).

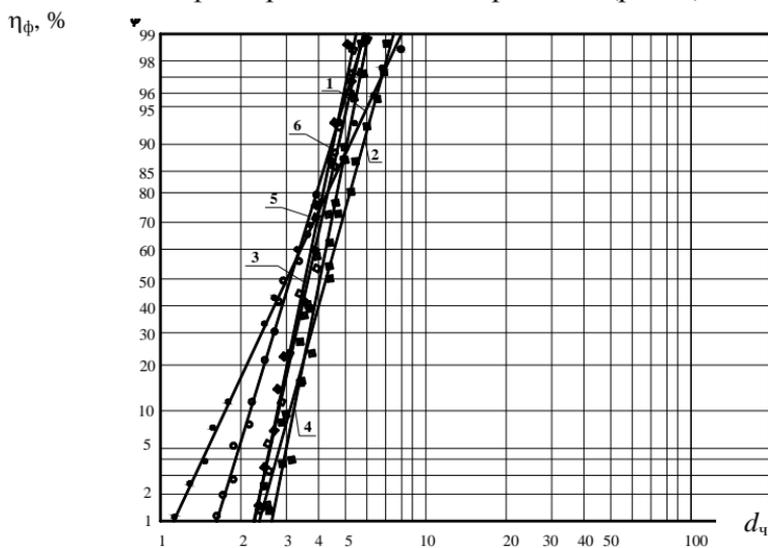


Рис. 6. Фракционная эффективность улавливания коковой пыли фильтровальными материалами: 1 — СМОГ; 2 — Рунит; 3 — ФЛ-4; 4 — 86031; 5 — Основовязанный; 6 — ФТ-4

Результаты проведенных исследований были использованы при реконструкции существующей системы аспирации. Изменены расходы воздуха, отсасываемого от оборудования. Существующие циклоны и рукавный фильтр заменены на аппараты ВЗП и новый рукавный фильтр, с нагрузкой по воздуху 1,0 м/мин и более качественными фильтровальными материалами.

Реконструкция этой системы позволила обеспечить нормируемые параметры воздуха рабочей зоны у оборудования, обслуживаемого этой системой, снизив ПДК коксовой пыли ниже  $6 \text{ мг/м}^3$ . Применение новых пылеулавливающих аппаратов позволило повысить общую эффективность очистки с 82 до 98 % и значительно снизить выброс коксовой пыли в атмосферу.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азаров В.Н. О распространении аэрозоля в атмосфере цехов с технологическими площадками // Всесоюзное совещание по проблеме охраны воздушного бассейна от выбросов предприятий химической промышленности и промышленности строительных материалов. Ереван, 1986. С. 14.
2. Белов С.В. Оздоровление воздушной среды / С.В. Белов, И.В. Переездчиков, А.А. Строков. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1987.
3. Азаров В.Н. Обеспыливание воздушной среды производственных помещений при производстве и использовании технического углерода : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.26.01. Защищена 17.06.97 ; утв. 16.01.98. Ростов-на-Дону, 1997.
4. Вероятностно-стохастический подход к проблемам охраны окружающей среды. Кн. 1. Основы подхода / Е.И. Богуславский и др. Ростов-на-Дону, 1997. 207 с.: ил.
5. Посохин В.Н. Местная вентиляция : учеб. пособие / В.Н. Посохин. Казань : КГАСУ, 2005. 73 с.
6. Руденко К.Г. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых / К.Г. Руденко, А.В. Калмыков. М. : Недра, 1973. 193 с.: ил.
7. Брукат В.С. Охрана окружающей среды в районе расположения алюминиевых заводов Урала // Цветная металлургия. 1996. № 9—10. С. 34
8. Юдашкин М.Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии. М. : Металлургия. 1984. 102 с.: ил.

© Фомичев В.Т., Азаров В.Н., Лукьянсков А.С., 2007

УДК 621.928.9

А.С. Лукьянсков, В.Т. Фомичев

## О РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ РЕГЕНЕРАЦИИ РУКАВНЫХ ФИЛЬТРОВ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА АНОДНОЙ МАССЫ

Приведено математическое описание процесса регенерации пылевого слоя в условиях выпадения влаги в целях сохранения пылеотделяющих свойств фильтровальной перегородки.

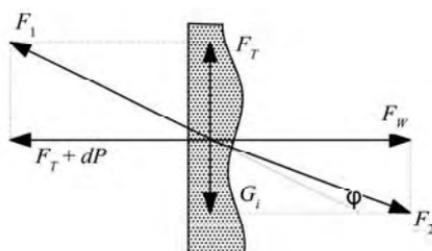
Sieve effect is the major mechanism of the dust fall in the sack filter. When the filter works it is necessary to carry out the regeneration, which consists in dust elimination from the surface of the filter baffle plate. Powers, which influence the dust layer, maintain and tear it off from the surface of the filter cell. There is a tearing force amount dependence of the air impulse, as applied to impulse regeneration.

Основным механизмом осаждения пыли в рукавном фильтре является ситовый эффект. По мере осаждения пыли на поверхности фильтровального материала образуется пылевой слой с порами, размер которых не превышает размера частиц. Этот слой и является основой отделения частиц пыли от очищаемого газа, а сохранение его является необходимой гарантией высокоэффективной очистки промышленных газов [1].

В цехах анодной массы алюминиевых производств отмечается повышенное аэродинамическое сопротивление рукавных фильтров вследствие выпадения влаги на поверхности фильтровальных рукавов. Температура воздуха внутри фильтров находится выше точки росы. Выпадение влаги происходит при смешивании очищаемого воздуха с воздухом, подаваемым в фильтр во время регенерации.

По мере роста пылевого слоя на поверхности материала гидравлическое сопротивление фильтра увеличивается, и в определенный момент возникает необходимость проведения регенерации. Процесс регенерации заключается в удалении пыли с поверхности фильтровального материала. Однако излишнее удаление слоя пыли приведет к некоторому снижению пылеотделяющих свойств фильтровальной перегородки [1]. Поэтому удалить необходимо столько, чтобы снизить сопротивление фильтра, сохранив его пылеотделяющую способность на допустимом уровне.

Для математического описания процесса регенерации в условиях выпадения влаги на поверхности фильтровального материала можно использовать модель, предложенную рядом авторов [1, 2] (рис.).



Силы, действующие на пылевой слой в процессе регенерации фильтровального материала

На пылевой слой действуют следующие силы, удерживающие его на поверхности (рис.):  $F_1$  — сила сцепления с поверхностью, обусловленная адгезивно-аутогезионными свойствами пыли и силой давления набегающего потока  $\Delta P$ , Н/м<sup>2</sup> фильтруемого воздуха; силы, срывающие его с поверхности:  $G_i$  — сила тяжести, кг/м<sup>2</sup>,  $F_w$  — сила, возникающая в процессе регенерации.

В случае выпадения влаги сила  $F_1$  будет обусловлена не только адгезивно-аутогезионными свойствами, но и силой сцепления частиц с поверхностью материала и между собой, которая возникает при их смачивании.

В свою очередь

$$F_1 = \overline{F}_n + \overline{F}_T + \Delta P, \quad (1)$$

где  $F_n$  и  $F_T$  — нормальная и тангенциальная составляющие силы сцепления соответственно.

Существует показатель, характеризующий эффективность регенерации, который выражается следующей формулой:

$$\eta = \frac{G_i}{G}, \quad (2)$$

где  $G_i$  — удаляемая при регенерации масса пыли;  $G_0$  — остаточная масса пыли.

Тогда, условие отрыва пыли от поверхности фильтровального материала будет таким [1]:

$$\cos\varphi \cdot \left[ (gG_i)^2 + F_w^2 \right] > F_T^2 + (F_n + \Delta P)^2, \quad (3)$$

в режиме равновесия  $\cos\varphi = 1$ .

Поделив левую и правую части уравнения на  $(gG)^2$ , характеризующую общую массу пыли на пористой перегородке перед её регенерацией, а именно  $G = G_i + G_0$ .

Преобразовав неравенство (3), получим [1]:

$$\eta < \frac{1}{g} \left[ \frac{F_w^2}{G^2} - \frac{F_T^2 + (F_n + \Delta P)^2}{G^2} \right]^{0.5}. \quad (3a)$$

Если на фильтрующую перегородку не действует сила давления набегающего потока, т.е. регенерация осуществляется после отключения газового потока, то неравенство (3) приобретает вид [1]

$$\eta < \frac{1}{g} \left[ \frac{F_w^2 - F_T^2}{G^2} \right]^{0.5}. \quad (4)$$

Из неравенства (4) следует, что регенерация не осуществима при  $F_w < F_1$ , поэтому условие эффективной регенерации при отключенном газовом потоке записывается в виде [1]

$$F_w > F_1. \quad (5)$$

При наличии газового потока условие регенерации записывается в виде

$$F_w > \left[ F_T^2 + (F_n + \Delta P)^2 \right]^{0.5}. \quad (6)$$

Применительно к импульсной регенерации значение  $F_w$  определяется из уравнения импульса силы, возникающей в результате кратковременного истечения газа через сопло в объем фильтровального элемента. Преобразованием формул (4)—(6) получено условие, характеризующее регенерацию фильтровальной поверхности в зависимости от давления воздуха, сечения сопла и аутогезионных свойств пылевого слоя [2].

$$0,03 \frac{fP\sqrt{P}}{q_\phi\sqrt{\rho}} > F_1, \quad (7)$$

где  $P$  — абсолютное давление газа в сечении сопла, Н/м<sup>2</sup>;  $\rho$  — плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $f$  — площадь узкого сечения сопла, м<sup>2</sup>;  $q$  — объем фильтровального элемента, м<sup>3</sup>.

Для осуществления регенерации фильтрующей перегородки в рукавном фильтре необходимо превышение величины сил, отрывающих слой с поверхности над величиной сил, удерживающих его на поверхности. Степень этого превышения зависит от показателя эффективности регенерации.

Очевидно, что при выпадении влаги на поверхности фильтровального материала значение силы, срывающей слой пыли, будет больше, чем при сухой фильтрации.

Применительно к импульсной регенерации значение отрывающей силы определяется из уравнения импульса силы и зависит от давления воздуха, сечения сопла и аутогезионных свойств пылевого слоя.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чекалов Л.В. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов. Я. : Русь, 2004.
2. Куркин В.П. Исследования процесса импульсной регенерации фильтровальных перегородок / В.П. Куркин, И.К. Горячев // Промышленная и санитарная очистка газов. 1975. № 1. С. 1—5.

УДК 621.928.9

*С.В. Беломутенко, А.В. Котов, С.И. Голубева, П.А. Лукин***ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ СЕПАРАЦИИ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ  
В НЕОДНОРОДНОМ ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ ГАЗА**

Получено математическое описание закономерностей движения частиц в поле действия центробежных сил в процессе пылеотделения в кольцевых циклонных камерах.

The article provides mathematical formulation of regularities of particles movement in centrifugal force field during dust separation in circular cyclone chamber.

Движение пылевых частиц в центробежных пылеотделителях определяется весьма сложным совокупным воздействием ряда неоднородных сил. Поэтому для математического описания закономерностей движения частиц в поле действия центробежных сил приходится принимать ряд упрощающих допущений, позволяющих формализовать процесс до вида типизированных моделей, исключающих влияние определенных сил.

В большинстве случаев при теоретическом анализе не учитываются силы тяжести, подъемная и электростатическая силы, влияние сил трения при скольжении пылинок по стенкам, движение потока считается стационарным с усредненной скоростью и отсутствием интенсивного турбулентного обмена. Также не учитывается влияние радиального стока и вторичных вихрей, увлекающих мелкие частицы к центру вращения. Предполагается, что центробежная сила инерции действует на пылинки в радиальном направлении, а тангенциальные скорости частиц и среды в каждый момент времени равны между собой. При теоретических расчетах учитывается преимущественно действие на частицы центробежных сил инерции и вязкого сопротивления среды, характеризуемого законом Стокса.

В ряде случаев, обусловленных разностью скоростей потока и капель, необходимо учитывать воздействие на частицы сил тяжести, Кориолисовых сил и сил противодействия.

При установлении теоретических зависимостей сепарации дисперсной фазы из неоднородного потока газа предполагалось, что траектории движения частиц мало отличаются от условий движения газа.

Для частиц, подчиняющихся вязкому режиму обтекания, определяемому законом Стокса, при

$$\text{Re}_{(\delta)} = \frac{\vartheta_{r(p)} \delta \rho_1}{\mu} \leq 0,1 \quad (1)$$

принято, что коэффициент аэродинамического сопротивления  $\psi$  изменяется обратно пропорционально критерию Рейнольдса  $1/\text{Re}_{(\delta)}$  и определяется равенством

$$\psi = \frac{K}{\text{Re}_{(\delta)}} = \frac{K\mu}{\vartheta_{r(p)} \delta \rho_1}, \quad (2)$$

где  $K$  — постоянная величина, зависящая от формы частиц.

Преобразуя общее дифференциальное уравнение движения с учетом равенства (2), получим

$$\frac{\mathfrak{G}_{r(u)}^2}{R} = \frac{\mathfrak{G}_{r(p)} \max}{T}. \quad (3)$$

Входящий в уравнение (3) так называемый параметр течения равен

$$T = \frac{2\delta\rho_2 V}{K\mu F} = \frac{2\delta m_q}{K\mu F}, \quad (4)$$

где  $V$  и  $F$  — объем и площадь миделева сечения частиц. Гомогенная величина  $T$  характеризует частицы и не зависит во времени от движения.

Если на частицу с массой  $m_q$  действует центробежная сила инерции  $m_q (\mathfrak{G}_{r(p)}^2) / R$ , а радиальная скорость ее  $\mathfrak{G}_{r(p)}$  мала, то в период  $t = 0$  абсолютное значение  $\mathfrak{G}_{r(p)}$  также будет равна нулю. Тогда, проектируя ее на радиус кривизны траектории, имеем

$$m_q \frac{d\mathfrak{G}_{r(u)}^2}{dt} = m_q \frac{\mathfrak{G}_{r(u)}^2}{R} - m_q \frac{\mathfrak{G}_{r(p)}}{T}, \quad (5)$$

где  $m_q (\mathfrak{G}_{r(p)}) / T$  — сила вязкого сопротивления среды. Уравнение (2.29) можно представить в следующем виде

$$\frac{d\mathfrak{G}_{r(p)}}{dt} = \frac{1}{T} \left( \frac{\mathfrak{G}_{r(u)}^2 T}{R} - \mathfrak{G}_{r(p)} \right) = \frac{1}{T} (\mathfrak{G}_{r(p)\max} - \mathfrak{G}_{r(p)}) \quad (6)$$

Решение равенства (6) подобно решению уравнений при перемещении частиц с относительно скоростью  $\mathfrak{G}_{r(p)}$  в однородном потоке газа того же направления.

Если данный момент времени  $\tau = 0$  и  $\mathfrak{G}_{r(p)} = 0$ , тогда решение уравнения (3) будет

$$\mathfrak{G}_{r(p)} = \frac{\mathfrak{G}_{r(u)}^2 T}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) = \mathfrak{G}_{r(p)\max} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad (7)$$

а пройденный путь частицы в относительном движении составит

$$x = \int_0^t \mathfrak{G}_{r(u)} dt = \mathfrak{G}_{r(u)\max} \left[ \tau + T \left( e^{-\frac{t}{T}} - 1 \right) \right]. \quad (8)$$

Из (8) следует, что так называемый параметр течения  $T$  представляет собой постоянную времени и позволяет оценивать динамику, с которой относительная скорость частиц в радиальном направлении  $\mathfrak{G}_{r(p)}$  приближается к предельному значению  $\mathfrak{G}_{r(p)\max}$ . Следовательно, теоретически проблема

улавливания мелкодисперсных частиц пыли сводится к определению параметра их течения  $T$ . Абсолютные значения параметра течения характеризуют степень улавливаемости пыли. Однако теоретический расчет параметра течения  $T$  может быть выполнен только в простых случаях, для приближенной оценки пыли. Количественное значение параметра течения  $T$  для различных пылей можно установить только экспериментальным путем.

В рассматриваемой модели течения двухфазного закрученного пылегазового потока механизм улавливания частичек пыли определяется условиями их соприкосновением с наружной поверхностью кольцевой камеры аппарата. При этом время  $\tau$ , необходимое для достижения частицей наружной поверхности кольцевой камеры, находящейся на расстоянии  $R_1$  от оси вращения, должно быть меньше  $t_0$ , которое она пройдет путь  $\ell$  в осевом направлении.

Преобразуя уравнение (3) с учетом равенства  $\vartheta_{r(p)} = \frac{dR}{dt}$ , имеем

$$\tau = \frac{1}{T} \int_{R_1}^{R_2} \frac{R}{\vartheta_{r(u)}^2} dR, \quad (9)$$

или, подставляя  $x = R_1 / R_2$  и вводя коэффициент формы частиц  $\varphi$ , получим

$$\tau = \left( \frac{R_2^2}{T \vartheta_{r(u)}^2} \right) \int_{x_1}^1 \frac{x}{[\varphi(x)]} dx. \quad (10)$$

Для постоянного значения осевой скорости  $v_0$  время равно

$$\tau_0 = \frac{\ell}{v_0}. \quad (11)$$

Тогда условия улавливания частиц пыли в прямоточных аппаратах можно представить

$$\frac{R_2^2}{T \vartheta_{r(u)}^2} \int_x^1 \frac{x}{[\varphi(x)]^2} dx \leq \frac{\ell}{v_0}, \quad (12)$$

или

$$\int_x^1 \frac{x}{[\varphi(x)]^2} dx \leq \frac{L}{R_2} \cdot \frac{\vartheta_{r(u)}}{v_0} \cdot \frac{\vartheta_{r(u)} T}{R_2}. \quad (13)$$

Величины  $\ell / R_2$  и  $\vartheta_{r(u)} / v_0$  зависят от геометрических размеров аппарата и кинематики движения газа, а параметр  $\vartheta_{r(u)} T / R_2$  характеризует собой аэродинамическое воздействие потока на частицы.

Для шарообразных частиц пыли при  $K = 24$  уравнение (13) имеет следующий вид:

$$\int_x^1 \frac{x}{[\varphi(x)]^2} dx \leq \frac{1}{18} \cdot \frac{\vartheta_{r(u)}}{v_0} \cdot \frac{\delta^2}{R_2^2} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot \frac{\vartheta_{r(u)} \ell}{v_0}. \quad (14)$$

Эффективность работы прямооточных пылеотделителей определяется исходя из условий, что все частицы, находящиеся в кольцевой зоне между  $R_1$  и  $R_2$ , улавливаются в аппаратах:

$$\eta = \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_2^2} = 1 - x^{(1)^2}. \quad (15)$$

Вычисляя интеграл  $H = \int_{x'}^1 \frac{x}{[\varphi(x)]^2 dx}$  и принимая закон распределения

тангенциальной скорости  $\omega = \frac{\vartheta_r}{R^\alpha} = \text{const}$ , получим

$$\eta_1 = 1 - \left[ 1 - 2\beta \frac{\ell T_1 \vartheta_{r(u)}^2}{R_2^2 \vartheta_0} \right]^{1/\beta}, \quad (16)$$

где  $\beta = \alpha + 1$  — число между 1 и 2.

Эффективность пылеотделения в прямооточных аппаратах равна единице, если

$$2\beta = \frac{\ell T_1 \vartheta_{r(u)}^2}{R_2^2 \vartheta_0}. \quad (17)$$

По уравнению (17) можно определять размер частиц, полностью улавливаемых в аппарате, с параметром течения, равным

$$T_1 = \frac{R_2^2 \vartheta_0}{2\beta \ell \vartheta_{r(u)}^2}. \quad (18)$$

Частицы пыли с параметрами  $T_i > T_1$  и  $T_i < T_1$  будут соответственно полностью или частично уловлены.

Подобный расчет можно сделать для частиц с параметрами течения  $T_2, T_3, \dots$  и получить  $\eta_2, \eta_3, \dots$ , а затем и полную эффективность установки.

Для шарообразных частиц диаметром  $\delta$  и плотностью  $\rho_c$  уравнение (14) имеет следующий вид:

$$\eta = 1 - \left[ 1 - \frac{\beta}{9} \cdot \frac{\vartheta_{r(u)}^2}{\vartheta_0} \cdot \left( \frac{\delta_1}{R_2} \right)^2 \cdot \frac{\rho_c}{\rho_r} \cdot \frac{L}{v} \right]^{1/\beta}. \quad (19)$$

Критический диаметр улавливаемых частиц определяется по уравнению

$$\delta_1 = R_2 \sqrt{\frac{9}{\beta} \cdot \frac{\vartheta_0}{\vartheta_{r(u)}^2} \cdot \frac{\rho_c}{\rho_r} \cdot \frac{v_1}{L}}. \quad (20)$$

Очевидно, что все частицы диаметром  $\delta_i > \delta_1$  будут уловлены в процессе сепарации.

Полученные формулы устанавливают аналитическую зависимость между минимальным размером отделяемых частиц и расстоянием до наружной поверхности кольцевой циклонной камеры газоочистного аппарата [1].

Рассмотренные аналитические зависимости показывают, что эффективность центробежного пылеотделения в кольцевых циклонных камерах является комплексной функцией параметров кинематики движения газа, геометрических размеров аппарата, характеристики пыли и условий аэродинамического воздействия потока на частицы. Однако условия их получения базируются на принятии достаточного числа формализующих процесс допущений. Поэтому теоретические формулы дают достаточно приближенные, но качественные характеристики процесса. Конкретные зависимости между аппаратурно-режимными параметрами определенных конструкций пылеотделителей могут быть получены только из сопоставительного анализа данных экспериментальных исследований.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Диденко В.Г.* Оценка определяющих факторов сепарационного разделения закрученных запыленных потоков аспирационного воздуха [Текст] / В.Г. Диденко, С.В. Беломутенко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Технические науки. 2004. Вып. 3(13). С. 107—109.

© Беломутенко С.В., Котов А.В., Голубева С.И., Лукин П.А., 2007

УДК 541.183

**А.Б. Голованчиков, М.Ю. Ефремов, В.В. Шишлянников****РАСЧЕТ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ АДСОРБЦИИ  
ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Рассматриваются вопросы интенсификации и расчета непрерывного процесса адсорбции при действии электрического поля.

In the article consider the problems of intensification and calculation of a continuous process of adsorption.

Адсорбционные методы очистки газов и паров широко применяются в различных отраслях промышленности. Данный метод незаменим и при защите окружающей среды, так как в отличие от абсорбционных методов позволяет проводить очистку сильнотоксичных отходящих газов при повышенных температурах.

Развитие адсорбционного метода очистки газов в мировой практике идет в основном по двум направлениям. Одно из них связано с аппаратным оформлением адсорбционных установок, другое — с твердыми поглотителями.

Основным типом адсорбционных процессов в подавляющем большинстве производств являются процессы периодического действия, имеющие следующие недостатки: периодичность, трудность автоматизации, громоздкость аппаратуры, неполную отработку адсорбционной емкости, несовершенство стадии адсорбции. Большое внимание в последние годы уделяется непрерывно действующим установкам с движущимся слоем адсорбента. Такие установки обладают рядом существенных преимуществ: достаточно высокие скорости обрабатываемых потоков, компактность оборудования, высокий коэффициент использования адсорбента, отсутствие затрат на периодическое нагревание и охлаждение одного и того же аппарата, большая гибкость процесса при изменении соотношения адсорбент — газ. Кроме того, непрерывные процессы сравнительно просто и полно автоматизируются и обслуживаются [1].

При малых концентрациях поглощаемого вещества, когда основное сопротивление массопереносу сосредоточено в газовой фазе, процесс адсорбции можно интенсифицировать известными технологическими приемами: увеличить рабочее давление или снизить температуру проведения процесса. Но данные методы приводят к использованию крупногабаритных компрессоров и холодильных установок, что увеличивает в конечном итоге, расход электроэнергии и затраты на ремонт сложного вспомогательного оборудования.

Если процесс адсорбции проводить в электрическом поле, то к скорости массоотдачи, обусловленной разностью концентраций в ядре газового потока  $c$  и на границе раздела фаз  $c_{гр}$ ,

$$v_c = \beta(c - c_{гр}) \quad (1)$$

добавляется скорость массоотдачи за счет дрейфа ионизированных газовых молекул [2] в электрическом поле (по аналогии со скоростью дрейфа заряженных частиц в электрофильтрах)

$$v_E = \frac{0,6 \times 10^{-18} E^2}{\mu}, \quad (2)$$

где  $E$  — напряженность электрического поля;  $\mu$  — динамическая вязкость газа.

Общая скорость массоотдачи со стороны газовой фазы возрастет (сопротивление массопереносу при этом снизится) и определится выражением

$$v_r = v_c + v_E. \quad (3)$$

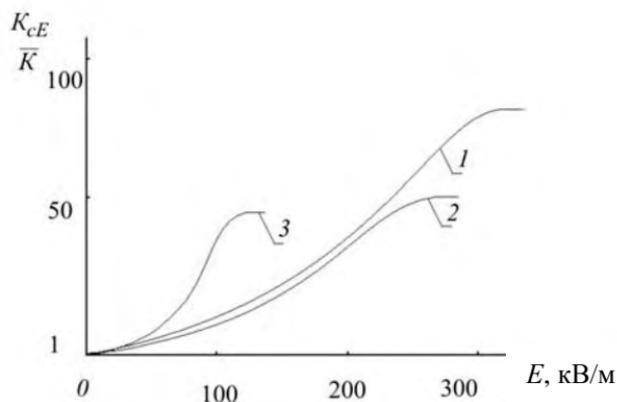
Скорость массоотдачи в твердой фазе запишется

$$v_a = \beta_a (a - a_{rp}). \quad (4)$$

Условие равенства скоростей массопереноса в газовой  $v_r$  и твердой фазах  $v_a$  будет иметь вид

$$v_c + v_E = v_a \quad (5)$$

Дополнив алгоритм расчета на ЭВМ непрерывной адсорбционной установки [3] скоростью массоотдачи за счет дрейфа ионизированных газовых молекул в электрическом поле, получим алгоритм расчета непрерывного адсорбера в условиях действия электрического поля.



Увеличение относительного коэффициента массоотдачи в газовой фазе для некоторых веществ при действии электрического поля: 1 — фенол; 2 — ацетон; 3 — диоксин

Проведенные расчеты для фенола, ацетона и диоксина показывают значительное увеличение коэффициента массоотдачи в газовой фазе (рис.) при действии электрического поля по сравнению с обычным процессом адсорбции. Это позволяет снизить количество твердого сорбента, используемого при проведении непрерывной адсорбции, а следовательно, уменьшить габариты аппарата.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. М. : Химия, 1989. 512 с.
2. Мак-Даниэль И. Подвижность и диффузия ионов в газах / И. Мак-Даниэль, Э. Мэзон, под ред. Б.М. Смирнова. М. : Мир, 1976. 424 с.
3. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : учеб. пособие для вузов / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов, О.М. Флисюк, М.И. Курочкина. СПб. : Химия, 1993. 496 с.

УДК 628.33

*Н.О. Сиволобова, А.Б. Голованчиков*

## **ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ В ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Приведены результаты исследований по обеззараживанию воды электрическим полем. На основании полученных данных определены условия, необходимые для эффективной обработки воды, — обеспечение непрерывного режима, равномерной структуры потока, оптимальных токовых параметров. По результатам оценки даны рекомендации о возможности применения методов в процессах водоподготовки и очистки сточных вод.

The article presents results for disinfection of water by electric field. According to the data obtained certain condition were specified which are necessary for effective water processing, such as providing continuous procedure, uniform structure of the stream and optimal current parameters. According to the results of assessment recommendations are given on the possibility of using these methods in the course of water preparation and water treatment.

В настоящее время технология обработки воды стала очень сложной многоплановой отраслью инженерной техники. Методы, используемые для очистки и обеззараживания воды, весьма разнообразны. Выбор способа обработки зависит от характера загрязнений, требований к качеству, соображений экономического порядка и т.д.

Обеззараживание воды является, как правило, последней стадией ее обработки после очистки от макропримесей механическими методами (отстаиванием, фильтрованием, флотацией) и биологической очистки.

Существует большое разнообразие способов дезинфекции воды: химические, безреагентные, адсорбционно-адгезионные, электрохимические, комбинированные и др. Для их реализации разработаны устройства, позволяющие проводить обеззараживание различных объемов воды в периодическом или проточном режимах [1].

Несмотря на большое количество научно-технических разработок в области обеззараживания, на практике используются в основном химические методы.

Электрические методы перспективны в виду доступности электрической энергии, простоты реализации и автоматизации. Достоинством названных методов является их экологическая безопасность. Они не требуют использования химических реагентов, что позволяет упростить технологию обработки и исключить загрязнение окружающей среды этими реагентами как в результате эксплуатации, так и в результате аварий.

Для выявления возможности проведения обеззараживания прямым воздействием на обрабатываемую среду был выполнен ряд лабораторных исследований. Они направлены на поиск оптимальных режимов обработки и технического решения проведения процесса обеззараживания.

При обеззараживании воды непосредственно электрическим полем решающими факторами являются его параметры (сила тока, напряжение, градиент напряжения, плотность тока). Задачей исследований является выявление параметров, позволяющих достигать высокой степени обеззараживания и способов создания необходимых режимов обработки.

При выборе конструкции лабораторной установки учитывались следующие требования: возможность работы в проточном режиме, возможность прогнозирования и управления параметрами электрического поля и режимами течения, возможность масштабирования. Данным требованиям отвечает конструкция типа «труба в трубе».

Экспериментальная установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 1, состоит из устройства для обеззараживания воды 1, изготовленного из нержавеющей стали, расходомера 2 для определения расхода обрабатываемой жидкости, выпрямителя В-24 3, подающего постоянное напряжение на электроды, амперметра 4 и вольтметра 5 для измерения токового режима, запорного вентиля 6 для регулирования подачи воды и насоса 7.

Устройство для обеззараживания воды представляет собой рабочую камеру 1, имеющую цилиндрическую форму, и являющуюся катодом, по центральной оси которой расположен цилиндрический стержень 8, закрепленный с помощью диэлектрических крестообразных шин 9, исполняющий роль анода.

Установка работает следующим образом: вода, требующая обработки, с помощью насоса 7 подается в устройство для обеззараживания. Вентилем 6 по показаниям расходомера 2 устанавливается необходимый расход воды. Через выпрямитель 3 на корпус 1 и цилиндрический стержень 8 подается постоянное напряжение, которое регулируется по показаниям амперметра 4 и вольтметра 5.

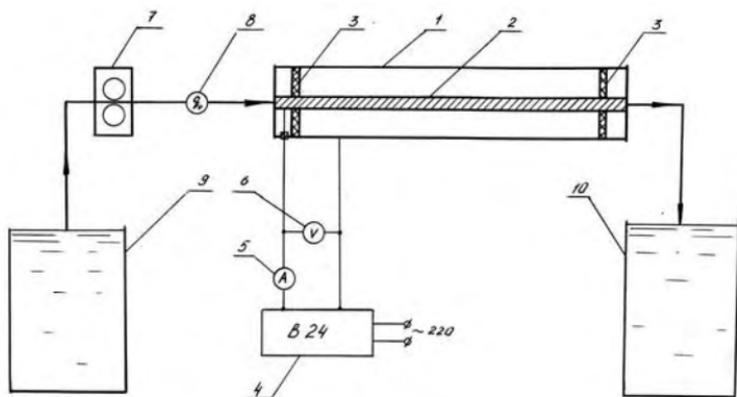


Рис. 1. Схема лабораторной установки

Исследования проводились со стерильной водопроводной водой, зараженной кишечной палочкой до концентрации 104 особ/л. Были использованы два штамма кишечной палочки (*E. coli*): 24-часовые культуры, выращенные на МПА при 370С. Из этих культур готовили суспензии по стандартному образцу мутности 5 СОС 42-28-29-86. Суспензию вносили в автоклавированную водопроводную воду. Бактерицидный эффект оценивался по стандартной методике [2].

В эксперименте определялось влияние на процесс обеззараживания следующих параметров: силы тока  $I$ , напряжения электрического поля  $U$ , плотности тока  $i$ , градиента напряжения  $E$ , времени обработки жидкости  $t$ .

Последовательность работы была следующей: исследовались зависимости степени обеззараживания от силы тока  $I$ , напряжения  $U$ , градиента напряжения  $E$ , плотности тока  $i$ , времени пребывания  $t$ .

Исследования проводились на постоянном токе при постоянном расходе жидкости, равном половине максимальной производительности лабораторной установки  $q_v=0,5$  л/мин. При этом бактерицидный эффект  $\eta$  в процентах определялся по формуле:

$$\eta = 1 - \frac{e_n}{e_d} 100, \quad (1)$$

где  $e_n$ ,  $e_d$  — общие колиформные бактерии КОЕ/100 мл после и до обеззараживания соответственно.

В результате экспериментов выявлено:

1) возможно проведение обеззараживания прямым воздействием электрического тока на обрабатываемую среду, степень обеззараживания  $\eta$  достигает 98...99,8 %;

2) при электрообработке наблюдается достижение токовыми параметрами оптимальных значений в пределах:  $U$  (36...60 В),  $I$  (2,88...6 А),  $E$  (50 В/м),  $i$  (300 А/м<sup>2</sup>). Оптимальное время обработки  $t$  составляет 50—70 с. Превышение этих параметров не приводит к видимому увеличению бактерицидного эффекта  $\eta$ , %, но приводит к возрастанию энергозатрат;

3) бактерицидный эффект не наблюдается при большом удельном сопротивлении  $R$ , независимо от приложенного напряжения.

Для количественной оценки взаимосвязи степени обеззараживания с исследованными параметрами были рассчитаны коэффициенты корреляции, которые приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

*Оценка взаимосвязи параметров процесса и степени обеззараживания*

Зависимость	Коэффициент корреляции
Ток — Бактерицидный эффект	0,777
Напряжение — Бактерицидный эффект	0,741
Время обработки — Бактерицидный эффект	0,779
Удельное сопротивление — Бактерицидный эффект	0,761

Как видно из табл. 1, коэффициенты корреляции больше 0, что говорит о существовании в исследованных зависимостях стохастической связи. При этом величина корреляционной связи бактерицидного эффекта со всеми исследованными параметрами велика и примерно одинакова. Это дает возможность сделать вывод о необходимости исследования влияния комплекса параметров на обеззараживание, характеризующего удельные затраты электроэнергии на обеззараживание. Они составят:

$$E_1 = \frac{IUt}{V}, \text{ или } E_1 = \frac{U^2}{qR} \text{ Дж/м}^3, \quad (2)$$

где  $V$  — объем лабораторного аппарата, м<sup>3</sup>.

Обратная величина это — бактерицидный комплекс, который характеризует затраты электроэнергии, на единицу объема обеззараживаемой воды.

Коэффициент корреляции составил 0,84, что превышает значения коэффициентов других исследованных зависимостей. Таким образом, комплекс параметров  $qR/U^2$  может быть использован в качестве критерия при моделировании процесса электрообеззараживания.

Зависимость бактерицидного эффекта от комплекса  $qR/U^2$  описывается уравнением:

$$\eta = a_1 \cdot \exp\left(-\frac{a_2 q R}{U^2}\right). \quad (3)$$

При моделировании процесса рассматривались значения бактерицидного эффекта  $>20\%$ , представляющие практический интерес. Для определения коэффициентов уравнения 3 приведем его к линейному виду логарифмированием и применим метод наименьших квадратов (рис. 2). В результате получены следующие значения коэффициентов:  $a_1 = 1,51$ ,  $a_2 = 79,32$ .

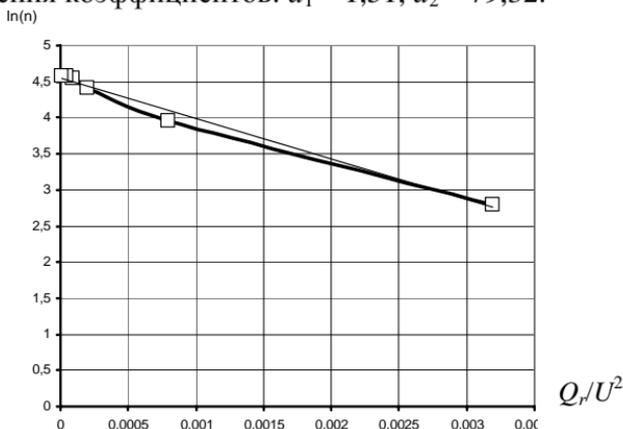


Рис. 2. Зависимость логарифма бактерицидного эффекта от комплекса  $qR/U^2$

Оценить насколько правильно данное уравнение описывает опытный материал, не нужно ли его усложнить, можно с помощью статистического анализа. Анализ заключается в сравнении разброса опытных данных относительно расчетных с ошибкой эксперимента, найденной из параллельных опытов. Если разброс одного порядка, что и ошибка параллельных опытов, то его можно объяснить случайными ошибками: уравнение адекватно. Если разброс значителен, то он, очевидно, не сводится к ошибке опыта, а связан с неадекватностью уравнения.

Т а б л и ц а 2.

*Критерии оценки математической модели*

Критерий	Расчетное значение	Табличное значение	Оценка
Фишер	2,0	4,1	Уравнение адекватно
Кохрен	0,3568	0,4661	Дисперсия воспроизводимости однородна
Стьюдент:			Коэффициенты значимы
$t_0$	36,75	14,09	
$t_1$	1924,0	14,09	

Как видно из табл. 2, полученная математическая модель адекватна и позволяет определить влияние комплекса токовых и гидродинамических параметров на степень обеззараживания [3].

Уравнение имеет вид, аналогичный уравнению Аррениуса. При этом значение коэффициента  $a_1$  характеризует максимально возможную степень обеззараживания при бесконечно больших затратах электроэнергии. В ре-

зультате проведенных экспериментальных исследований по обеззараживанию воды в постоянном электрическом поле установлено:

1) наличие критического значения удельной энергии, при котором бактерицидный эффект достигает 99,8 %;

2) коэффициент корреляции зависимости бактерицидного эффекта от удельной энергии превышает значения коэффициентов корреляции от частных энергетических и технологических параметров, что подтверждает комплексное влияние этих параметров на процесс обеззараживания;

3) экспоненциальная зависимость бактерицидного эффекта от удельной энергии, математическая обработка этой зависимости показывает ее адекватность эксперименту.

Экспериментальные исследования по обеззараживанию воды энергетическими полями и их математический анализ позволяют проектировать промышленное оборудование. На основании полученных данных можно выделить условия, необходимые для эффективной обработки: проведение обеззараживания в непрерывном режиме; обеспечение равномерности структуры потока; создание и поддержание оптимальных параметров энергетического поля.

С учетом этих условий предложен ряд устройств для обеззараживания воды на конструкции, которых получены патенты России [4, 5, 6].

Разработанные электродные модули позволяют проводить безреагентное обеззараживание жидкостей с помощью электрического поля и могут быть использованы в процессе водоподготовки и для создания экологически чистых сбросов бытовых и технических вод, безотходных технологических вод, дезинфекции воды плавательных бассейнах и др.

Решение проблемы обеззараживания воды возможно только при комплексе мероприятий, таких как усовершенствование и создание крупных станций водоподготовки и обеззараживания сточных вод, внедрения небольших, локальных установок по обработке воды на уровне района, предприятия, фермы, больницы и т.п.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев С.В. Технология электрохимической очистки воды / С.В. Яковлев, И.Г. Краснобородько, В.М. Рогов. Л. : Стройиздат, 1987. 264 с.
2. МУК 4.2.671–97 Методы санитарно-бактериологического анализа питьевой воды. М. Изд-во стандартов 1997., 183 с.
3. Голованчиков А.Б. Математическая модель процесса обеззараживания воды / А.Б. Голованчиков, Н.О. Сиволобова // Процессы и оборудование экологических производств: сб. тр. IV традиционной науч.-техн. конфер. стран СНГ. Волгоград: Политехник, 1998. С. 20—22.
4. Авт. св. 1776637 СССР Устройство для обеззараживания воды / А.Б. Голованчиков, Г.Л. Дахина. ВолгПИ, опубл.27.06.92. Бюл. № 43.
5. Пат. 2042640. Российская Федерация Устройство для обеззараживания воды / А.Б. Голованчиков, Н.О. Сиволобова, Г.Л. Дахина; заяв. и патентооблад. ВолгГТУ; опубл. 20.02.95. Бюл. № 14.
6. Пат. 2069187. Российская Федерация : Устройство для обеззараживания воды / Голованчиков А.Б., Сиволобова Н.О., Дахина Г.Л. ; заяв. и патентооблад. ВолгГТУ; опубл. 16.04.96. Бюл. № 32.

УДК 628.3

*С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, С.И. Блажко***ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СХЕМЫ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

Описана новая технология двухступенчатой физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, предусматривающая их последовательную коагуляционную обработку и глубокую доочистку методом каталитической деструкции. Практически доказана возможность интенсифицирования процесса хлопьеобразования перемешиванием сточных вод комбинированной крупнопузырчатой-мелкопузырчатой пневматической системой. Показана высокая эффективность хлорного железа при его использовании в качестве катализатора восстановления кислородосодержащих соединений хлора.

The authors have described a new technology of two-stage physical-and-chemical treatment of domestic sewage, which involves its subsequent coagulation treatment and deep aftertreatment by a method of catalytic destruction. They have proved in practice a possibility of intensifying the process of flocculation through mixing waste water by a combined fine bubbling/large bubbling pneumatic system. They have also shown high efficiency of ferric chloride when using it as a catalytic agent for reduction of oxygen-containing chloride compounds.

Современное жилищное строительство в малых населенных пунктах предусматривает полное санитарное благоустройство, что приводит к образованию сточных вод, которые должны в обязательном порядке подвергаться очистке. В качестве основных сооружений очистки сточных вод в этих случаях, как правило, используются аэротенки. Опыт эксплуатации аэротенков показал, что значительное колебание расхода сточных вод, отводимых с территории небольших населенных пунктов и концентраций содержащихся в них органических загрязнений (изменяющихся в пределах 20...150 мгБПК/л) не позволяет обеспечить нормальную удельную нагрузку на активный ил. Колебание нагрузки на активный ил приводит к увеличению илового индекса, активный ил плохо осаждается во вторичных отстойниках и выносится из очистных сооружений. Кроме того, величины прироста активного ила и выноса его из вторичных отстойников соизмеримы, поэтому поддерживать заданную концентрацию взвешенного активного ила довольно сложно. Ситуация значительно усложняется крайней ненадежностью работы системы электроснабжения малых населенных пунктов. Кратковременные перебои в электроснабжении (более 3 часов) приводят к гибели активного ила. В нормальный режим эксплуатации очистные сооружения после этого могут быть выведены в течение нескольких недель пусконаладочных работ. Для повышения надежности работы канализационных очистных сооружений малых населенных пунктов в Пензенском государственном университета архитектуры и строительства (ПГУАС) была предложена новая технология двухступенчатой физико-химической очистки. Предложенная технология была реализована при реконструкции биологических очистных сооружений населенного пункта Пензенской области производительностью 200 м<sup>3</sup>/сут. Схема двухступенчатой физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод представлена на рисунке.

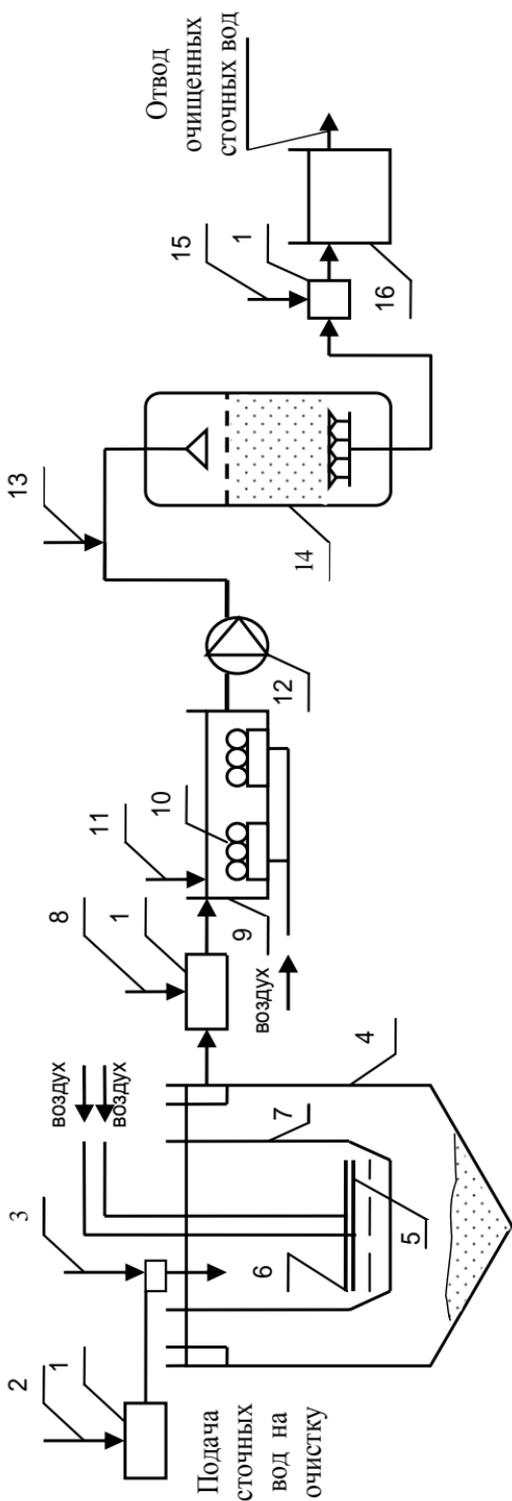


Схема двухступенчатой физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод: 1 — смеситель; 2 — подача коагулянта (АКВА-АУРАТ-30); 3 — подача флокулянта (КП-555); 4 — отстойник; 5 — мелкопузырчатая система пневматического перемешивания; 6 — крупнопузырчатая система пневматического перемешивания; 7 — камера флокуляции; 8 — подача  $\text{NaOCl}$  (окислителя); 9 — камера каталитической деструкции загрязнений; 10 — система мелкопузырчатого пневматического перемешивания; 11 — подача катализатора  $\text{FeCl}_3$ ; 12 — насос; 13 — отвод; 14 — подача флокулянта (КП-555); 15 — фильтр; 16 — подача  $\text{NaOCl}$  (дезинфектанта); 16 — контактная камера

С целью интенсификации процесса первичного отстаивания было предложено провести предварительную обработку сточных вод реагентами: коагулятом полиоксихлоридом алюминия АКВА-АУРАТ-30» и флокулянтom — катионитовым сополимером акриламида КП-555. В процессе коагуляции и отстаивания сточные воды очищались от органических и минеральных примесей, находящихся в грубодисперсном и коллоидном состоянии, фосфатов и части растворенных органических соединений. С целью интенсификации процесса хлопьеобразования камеры флокуляции была оснащена мелкопузырчатymi и крупнопузырчатymi системами пневматического перемешивания. Эффект интенсификации хлопьеобразования при пневматическом перемешивании сточных вод может быть обеспечен одновременным протеканием по крайней мере 4 процессов [1]:

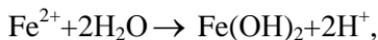
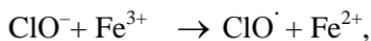
- 1) специфическим механическим перемешиванием воды всплывающими пузырьками воздуха;
- 2) образованием границы раздела фаз (газ — жидкость), обладающей избыточной поверхностной энергией;
- 3) десорбцией (отдувкой) из воды избыточных количеств углекислоты и других летучих соединений;
- 4) насыщение воды кислородом воздуха, приводящее к повышению уровня Eh и снижению электрокинетических потенциалов содержащихся в воде примесей.

Крупнопузырчатая система пневматического перемешивания представляет собой ряд перфорированных труб с диаметром отверстий 4 мм. Перфорированные трубы позволяют формировать пузырьки воздуха диаметром 12...20 мм. При всплывании таких пузырьков обеспечивается быстрое перемешивание всего объема камеры флокуляции — процесс макросмешения. В процессе макросмешения происходит равномерное распределение не микродисперсных частиц загрязнений, а элементов жидкости, имеющих различный состав. Размер этих элементов может быть ничтожно мал по сравнению с размерами камеры флокуляции, но велик по сравнению с размерами дисперсных частиц загрязнений. При таких условиях не происходит равномерного распределения концентраций дисперсных частиц загрязнений и микрохлопьев коагулянта, определяющих скорость протекания процесса коагуляции.

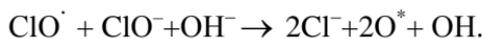
Перемешивания сточных вод на микроуровне позволяет достичь мелкопузырчатая система. Мелкопузырчатая система перемешивания представляет собой ряд трубчатых мелкопузырчатых аэраторов АКВА-ЛАЙН, которые формируют пузырьки воздуха диаметром 3...4 мм. В процесс всплывания таких пузырьков воздуха поддерживаются локальные градиенты скоростей турбулентных пульсаций на уровне  $G=2000 \text{ с}^{-1}$ , что обеспечивает перемешивание жидкости на микроуровне и интенсифицирует процесс хлопьеобразования [2]. Процессы коагулирования и отстаивания позволяют обеспечить эффект очистки, %, хозяйственно-бытовых сточных вод по показателям: БПК<sub>пол</sub> до 70...75, взвешенным веществам до 80...85, фосфатам до 95...97, азоту аммонийному до 50...55.

Удаление оставшихся растворенных органических веществ (в основном низкомолекулярных) и аммонийного азота было предложено осуществлять за счет проведения второй ступени физико-химической очистки сточных вод, на

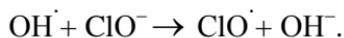
которой предусматривалось каталитическое окисление загрязнений сточных вод. В качестве окислителя использовался раствор гипохлорита натрия, получаемый путем электролиза раствора поваренной соли. Гипохлорит натрия имеет незначительный окислительный потенциал, вследствие чего он способен разрушить только лишь легкоокисляемую часть органических загрязнений. Повысить окислительный потенциал гипохлорита натрия можно за счет использования катализатора восстановления активного хлора. В качестве катализатора используются соли металла переменной валентности, например  $\text{FeCl}_3$ . Присутствие в сточных водах ионов  $\text{Fe}^{3+}$  стимулирует образование радикалов  $\text{ClO}^\cdot$  и протекание следующих реакций [3]:



Активные радикалы  $\text{ClO}^\cdot$  способствуют образованию атомарного кислорода  $\text{O}^\cdot$  и  $\text{OH}^\cdot$  радикалов



Процесс идет по механизму развивающейся цепной реакции. Дальнейшему развитию цепи способствует процесс формирования радикалов  $\text{ClO}^\cdot$ .



Появление в сточных водах активных радикалов  $\text{ClO}^\cdot$ ,  $\text{OH}^\cdot$  и атомарного кислорода  $\text{O}^*$ , обладающих повышенным окислительным потенциалом, приводит к существенному увеличению эффекта их деструктивной очистки.

Сточные воды, прошедшие две ступени физико-химической очистки осветлялись на напорном каркасно-засыпном фильтре и обеззараживались. Использование второй ступени физико-химической очистки сточных вод позволило обеспечить снижение концентрации, %, загрязнений: по БПК<sub>пол</sub> до 80...85, аммонийному азоту до 60...70.

Таким образом, предложенная двухступенчатая схема физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод обеспечила их очистку до уровня, позволяющего рассматривать эту схему как альтернативу технологии биологической очистки. При одинаковой себестоимости процесса очистки сооружения физико-химической обработки сточных вод более надежны в процессе эксплуатации в условиях нестационарности режима водоотведения, характерного для малых населенных пунктов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брагинский А.Н. Перемешивание в жидких средах / А.Н. Брагинский, В.И. Бегвчев. Л. : Химия, 1984.
2. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. М. : Наука, 1977.
3. Краснобородько И.Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей. Л. : Химия, 1988.

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

УДК 726.5 (571.61/64)

**Ю.В. Охотникова**

### **ОБЪЕМНО-ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ ХРАМОВ КОНЦА XIX — НАЧАЛА XX вв.**

На основе архивных данных рассматривается архитектура дальневосточных храмов конца XIX — начала XX вв. Анализируются объемно-пространственные решения и структурная пластика церквей Приморья и Приамурья. Предпринимается попытка выявить региональные особенности культовых построек Дальневосточного региона.

On the basis of archival data the architecture of Far East temples is considered in the end XIX — the beginnings of XX centuries. Are analyzed volumetric-spatial decisions and structural plasticity of churches of Primorski Krai and Priamurski Krai. Attempt to reveal regional features of cult constructions of Far East region is undertaken.

История строительства культовых сооружений Дальнего Востока сравнительно коротка в общерусском культовом зодчестве. Практически полностью утраченный к настоящему времени, этот пласт русской культуры заслуживает особого внимания исследователей, так как имеет некоторые особенности и черты своеобразия. Возникает необходимость тщательного изучения церковных сооружений региона, определение их значения в развитии русской культовой архитектуры.

Освоение Дальневосточного региона во второй половине XIX в. характеризуется интенсивным строительством населенных пунктов. Особая роль в этом процессе принадлежит культовому зодчеству. С конца XIX в. начинается возведение первых каменных церквей в городах Приморья и Приамурья.

Многие памятники, указанные в данной статье, не сохранились до настоящего времени. Часть культовых сооружений — это постройки, изображения которых выявлены в архивных материалах.

Одним из первых каменных храмов на территории Приморья и Приамурья был Никольский собор (1879—1883 гг.) в городе Благовещенске. По некоторым данным, он послужил композиционной основой для Успенского собора (1884—1886, 1906 гг.) города Хабаровска, который в свою очередь стал прообразом Успенскому собору (1887—1889 гг.) города Владивостока. Объемно-пространственная композиция этих церквей имеет схожие черты. Схема компоновки плана перечисленных памятников — продольная.

Апсиды во всех трех памятниках решены индивидуально. У более ранней постройки (Никольская церковь) наблюдается алтарь, состоящий из трех

полукружий (редко встречаемый элемент объемной композиции дальневосточных храмов). Во владивостокском храме объем алтаря решен в виде прямоугольной апсиды, оформленной полукруглым фронтоном. В хабаровском Успенском соборе к 1906 г. пристроена округлая апсида, объем которой усложнен гранеными приделами по бокам, тем самым функционально увеличилось пространство алтаря, соответственно расширилась и площадь храма.

Центральное ядро храма у всех трех памятников имеет форму четырехгранника, на южном и северном фасадах данного объема незначительно выступают ризалиты. В Никольской церкви ризалит оформлен треугольным фронтоном. В соборах Хабаровска и Владивостока ризалиты центрального объема усложняются лучковыми полуфронтами, которые поднимаются над горизонталью карниза, придавая выразительный силуэт центральному четверику храма.

Необходимо отметить, что слабо выступающий ризалит, углы которого акцентируются пилястрами в хабаровском соборе и в остальных рассматриваемых церквях, свидетельствует о внутреннем строении объема, его пространственной структуре. Внутри каждой исследуемой церкви находились несущие колонны, оси которых проецировались на оси пилястр ризалита. Структурная пластика поверхности равновысотного блока: алтарь, храм, трапезная — хабаровского и владивостокского соборов схожа. Применялись идентичные пилястры, зрительно закрепляющие углы сооружения и активные карнизные тяги, ограничивающие плоскость нижнего блока храма от восьмериков. Пластика строгого и лаконичного декора связана с конструктивной основой этих культовых построек.

Важную роль в объемно-пространственной композиции культового сооружения играет завершение храма. Центральный, компактный объем всех трех памятников выделен пятью восьмериками, которые венчаются шатрами. Гармоничнее и стройнее стали боковые шатры в хабаровском и владивостокском соборах, в Никольской церкви эти элементы более приземисты и силуэт их менее выразителен. Небольшие люкарны, которые расположены на каждом шатре Никольской церкви, не повторяются в соборах. Однако в хабаровском и владивостокском соборах увеличиваются декоративные главки, венчающие шатры. Тем самым силуэт завершения в этих культовых постройках стал более изящным и лаконичным.

Трапезной в соборах отводилась скромная роль нейтральной связки между ядром храма и колокольной. Размер трапезной в поперечнике меньше ширины центрального четверика храма. Так небольшие размеры трапезных ограничивают вместимость всего сооружения. Трапезные этих соборов идентичны — оформлены схожим декором и составляют единый равновысотный блок: трапезная, ядро храма, алтарь, объединенные развитой горизонталью карниза.

Большую роль в объемной композиции многих культовых сооружений играет колокольня, которая замыкает композицию храма с западной стороны. Колокольни всех трех памятников имеют схожий восьмериковый ярус со звонами, венчающийся шатром с декоративной главкой. Однако высота колоколен меняется относительно завершения храма. В благовещенской церкви и Владивостокском соборе схема построения колокольни в два яруса — восьмерик на четверике, в хабаровском соборе была трехъярусная колокольня.

Размеры основания колокольни владивостокского собора меньше ширины трапезной. Высота яруса звона колокольни находится на одном уровне с центральным шатром собора. Тем самым колокольня имеет небольшой объем и не является акцентом данной постройки, создается равномерное композиционное развитие всего сооружения. Ярус звона колокольни благовещенской церкви несколько ниже центрального восьмерика храма и придает объемно-пространственной композиции церкви компактность. Самая стройная и интересная в композиционном отношении колокольня появилась в хабаровском Успенском соборе к 1906 г. Четверик основания колокольни возвышается над трапезной, следующий четверик меньшего поперечника и имеет по спаренному световому проему с каждой стороны. Заканчивает композицию блока возвышающийся восьмериковый ярус, увенчанный шатром с декоративной главкой. В данной колокольне, при значительной высоте сквозного яруса и завершения, выразительно читается ее силуэт. Колокольня этого памятника значительно выше завершения храма. Она придает стройность и динамику объемной композиции сооружения и несет в себе роль градостроительной доминанты.

Следующая группа церквей возводилась спустя десятилетие: Иннокентьевская церковь в Хабаровске (1897—1898 гг.), Вознесенская церковь в Благовещенске (1898 г.), Покровская церковь во Владивостоке (1900—1902 гг.). Последняя была построена по аналогу Вознесенской церкви. Объемные композиции перечисленных церковных зданий имеют значительное сходство между собой. Схема компоновки плана данной группы храмов — продольная.

Пятигранная апсида — характерный элемент в объемной композиции этих памятников. Однако в Иннокентьевской церкви пятигранный объем апсиды усложнен небольшими по высоте прямоугольными приделами, которые создавали иллюзию трехгранности апсиды.

Центральное ядро храма, к которому примыкает объем алтаря, имеет квадратный план. В целом это наиболее распространенный тип четверика каменной церкви в дальневосточных городах. Он органично входил в любую объемно-пространственную композицию культового сооружения. В Иннокентьевской церкви центральный четверик приподнят над алтарем и трапезной. Компактный центральный объем церкви активно усложнен пространственно-силуэтными элементами. Плоскость фасадов прорезана двумя ярусами света. Иначе декорированы Вознесенская и Покровская церкви, однако пластика декора этих сооружений весьма схожа. Слегка выступающий ризалит свидетельствует о внутренней, конструктивной структуре церкви. Внутри Покровской и Вознесенской церкви находились несущие колонны. В Вознесенской церкви членение световыми проемами плоскости фасада четверика проходило в два яруса. Отсутствие круглых окон второго яруса в Покровской церкви придало тяжеловесность и напряжение верхней части стеновой конструкции.

Одинаковый тип завершения — пятиглавие, которое часто встречается в русском культовом зодчестве XV — начала XX вв., применен в Покровской и Вознесенской церквях. Завершение Иннокентьевской церкви, также выполнено в виде пяти луковичных глав, четырехскатное покрытие над центральным четвериком подчеркивает движение силуэта завершения.

Трапезная выделена в самостоятельный элемент объемной композиции только в Иннокентьевской церкви. Она имеет ширину храма, и, как отмечалось ранее, значительно ниже центральной его части и менее декорирована, составляет равновысотный блок с нижним ярусом основания колокольни и апсидой.

Замыкающий композиционный элемент церкви — трехъярусная шатровая колокольня, превышающая по высоте пятиглавое завершение храма. Она придает выразительный контраст объемам (сочетание круглых барабанов с луковичными главами и восьмигранного яруса звона) в Иннокентьевском и Вознесенском храмах. Восьмигранный ярус звона, венчающийся шатром с декоративной главкой, обогащает силуэт всего культового сооружения, и колокольня играет роль господствующего элемента в объемной композиции и придает динамику всему храму. Шатер Вознесенской церкви усложнен люкарнами, а декоративная главка стоит на узком и высоком барабане. Отсутствие люкарн на шатре, изменение пропорций декоративного барабана в Иннокентьевской церкви придает завершению колокольни лаконичность. Колокольня Покровской церкви, в отличие от своего аналога, имеет несколько иной набор объемно-пространственных элементов, хотя в целом между этими колокольнями наблюдается значительное сходство. Колокольня состоит из трех ярусов, которые поднимаются уступами. Правда, нижний ярус основания, имеющий в плане прямоугольник, не возвышается до уровня основного ядра храма (как в Вознесенской церкви), а останавливается несколько выше середины фасадной плоскости четверика. Завершает композицию колокольни ярус звонов в виде барабана, который венчается главкой. Размеры и пропорции данного элемента очень близки с размерами центрального барабана храма. С заменой шатровой колокольни на однотипную форму круглого яруса звонов силуэт данной культовой постройки стал менее выразительным, и колокольня не несет в себе композиционного акцента.

Следующая значимая группа родственных храмов строится в административных центрах Дальнего Востока: Николаевский собор (1894—1900, арх. Жигалковский) в Никольск-Уссурийском, Троицкая церковь (1906—1911, арх. М.М. Осколков) в Благовещенске. По некоторым данным, прообразом Николаевскому собору и Троицкой церкви стала церковь Богоявления (1892—1897) на Гутуевском острове в Санкт-Петербурге, арх. В.А. Косяков, инж. Б.К. Правдзик.

Рассмотрим общность объемно-пространственных и планировочных особенностей данных церквей, которые являлись наиболее представительными и интересными в архитектурно-художественном решении, а также в определенной степени были уникальными для Дальнего Востока.

Перечисленные дальневосточные храмы крестообразные, однако, схемы компоновки планов решены индивидуально: планировочная структура Троицкой церкви — в виде латинского креста с удлиненной западной частью; схема компоновки плана Николаевского собора — в форме греческого креста с удлиненной западной ветвью.

При детальном анализе объемно-пространственной композиции этих церквей обнаруживаются не только ряд схожих черт, но и некоторые различия. Так центральное ядро храма у более ранней постройки (Николаевский собор) решено в форме восьмигранника. Массивный восьмерик ядра, являясь центром

усложненной объемной композиции храма, органично вписывается в структуру церковного здания. Данный элемент возвышается над остальными объемами: трапезной, алтарем, южным и северным боковыми приделами. Центральный восьмигранный объем основания храма — пример уникальный для каменных церквей Дальнего Востока. Подобный прием пространственной композиции встречался довольно редко и только в деревянных храмах (кафедральный собор 1864 г. в Благовещенске, церковь (1902 г.) в ст. Черняева Амурской обл.). Иное композиционно-пространственное решение имеет восьмерик Троицкой церкви. Восьмигранник непосредственно входит во внутреннюю структуру храма, с фасадной части виден только его верхний ярус.

Центральные объемы указанных церквей активно усложнены пространственно-силуэтными элементами. Однако и здесь имеются различия. Плоскости восьмигранника Николаевского собора отмечены арочными киотами, которые обрамляются килевидными архивольтами, завершается данный ярус небольшими кокошниками. В Троицкой церкви данная пластика отсутствует, восьмигранник обработан прямоугольными киотами, которые обрамлены декоративными наличниками и подвесными арками с малыми гирьками. Хотя киоты решены по-разному в данных сооружениях, но в обоих храмах указанные элементы акцентируются активными тягами, венчаются восьмигранники развитым карнизным поясом.

В указанных церковных сооружениях также наблюдаем и различный тип храмовых завершений. Широкий, выразительный, богато декорированный барабан Троицкой церкви с множеством световых проемов покрывается луковичной главой. Цилиндрический объем завершения усложнялся пространственно-силуэтными добавками: подвесные арки с небольшими гирьками и кокошники над световыми проемами, вертикальное членение всего барабана — все это придавало тектоничной форме некоторую облегченность. В Николаевском соборе храмовое завершение решено иначе. На своды восьмерика основания опирается не барабан, а меньший по диаметру, но также богато декорированный восьмигранник. На каждой грани данного восьмигранника имеются световые проемы, и венчается он граненой луковицей. Мотив членения декора несколько схож с Троицкой церковью: профилированные архивольты завершаются подвесными арками с гирьками.

Барабан Троицкой церкви и восьмерик Николаевского собора имеют различное пропорциональное соотношение. Так, например, в николаевско-уссурийском соборе соотношение диаметра восьмерика основания к диаметру малого восьмигранника приблизительно как пять к трем. В благовещенском храме отсутствует подобное соотношение, здесь ярус восьмигранника и ярус барабана выглядят целостным объемом. В связи с чем завершение Николаевской церкви выглядит более облегченно, в Троицкой церкви барабан массивнее, тяжеловеснее. В обоих церковных зданиях центральное ядро с завершением является господствующим элементом всей объемно-пространственной композиции сооружения, благодаря чему подчеркивается образная роль собственно храма. В указанных церквях главы имеют очень крупные размеры, которые созвучны общей монументальности и тяжеловесности сооружения — этот прием вообще характерен для псевдорусских храмов.

Скромная роль нейтральной связки между ядром храма и колокольной отводилась трапезным, как в Троицкой церкви, так и в Николаевском соборе.

Трапезные указанных храмов идентичны: имеют схожую декоративную пластику и составляют единый равновысотный блок: трапезная, ядро храма, южный и северный приделы, объединенные развитым декорированным карнизным поясом.

Традиционно колокольня замыкает композицию храма с западной стороны, данные памятники не являются исключением. Колокольни исследуемых сооружений имеют как черты сходства, так и различия. В Троицкой церкви основание колокольни — широкий, массивный постамент, который образует единый объем с трапезной. В Николаевском соборе основание колокольни решено иначе: это компактный четверик, который примыкает к узкой трапезной и зрительно отделяется профилированной пилястрой. Завершения колоколен указанных храмов очень схожи между собой, их восьмериковые ярусы идентичны, как по пропорциям и размерам, так и по декоративной обработке. Над восьмериковым ярусом звона, увенчанным килевидными кокошниками, возвышается несколько меньший по диаметру и высоте восьмигранник с кокошниками наверху, который завершается шатром с декоративной главкой. Восьмериковый ярус обладает достаточно большой плавностью форм и гармонично сочетается как с граненым (Николаевский собор), так и с цилиндрическим (Троицкая церковь) объемом храмового завершения.

Колокольни Троицкой церкви и Николаевского собора не несут в себе роли главного вертикального элемента, в композиции господствует, как указывалось ранее, завершение собственно храма. Отметим, что шатровые колокольни обоих памятников гармонично дополняют объемно-пространственную композицию всего церковного сооружения, создавая определенное триединство с шатровыми завершениями боковых приделов.

Композиционная роль боковых приделов заставляет уделить особое внимание их объему и завершению. Они обогащали объемную композицию всего сооружения, дополняли трехмерную читаемость здания (обтекаемость и зрительное торможение), создавали привлекательный силуэт. Развитые приделы по оси север-юг позволяют относить храмы к двухосному, или центральному, типу. В Николаевском соборе объем боковых приделов решен в виде компактных четвериков, которые примыкают к южной и северной граням центрального восьмигранного основания. Иной композиционный строй имеют приделы Троицкой церкви: разделены карнизным поясом на два яруса, где нижний ярус — это прямоугольный в плане, вытянутый по оси запад-восток объем, верхний ярус — четверик, к которому примыкают с восточной и западной стороны трехгранные объемы. Приделы Троицкой церкви имеют более массивные формы, однако структурная пластика поверхности указанных объемов в обоих храмах схожа между собой. Переключался характер горизонтального и вертикального членения, применялось идентичное обрамление световых проемов, которое завершалось в виде кокошников. Венчались приделы восьмигранными шатрами с килевидными кокошниками у основания, завершались декоративными главками. Отметим, что пропорции и размеры шатров исследуемых церквей практически одинаковы, завершения приделов пропорционально связаны с соседними объемами здания.

Как указывалось ранее, прототипом исследуемых храмов являлась церковь Богоявления на Гутуевском острове в Санкт-Петербурге. При детальном изучении указанных сооружений обнаруживается большое сходство как в

объемно-пространственной композиции, так и в декоративной пластике фасадов Троицкой и Богоявленской церквей. Исключением являются небольшие изменения в пропорциях шатров над колокольной и приделами. В Троицкой церкви шатры стали несколько ниже, а в Гутуевской церкви эти элементы были более развиты по вертикали, также в Троицком храме прослеживается отсутствие декора, как на главе, так и на шатрах.

Силуэтное решение Николаевского собора близко к общекомпозиционной схеме Троицкой и Богоявленской церквей, и его можно отнести к данной группе храмов, однако приемы интерпретации форм отличают это сооружение от перечисленных выше.

Объемная композиция здания, в которой господствует собственно ядро храма, имеются два меньших по размеру боковых шатровых придела и многоярусная шатровая колокольня, примыкающая через небольшую трапезную-связку, наиболее соответствует местоположению собора на открытом со всех сторон месте, требующем равноценности всех фасадов. Как в Троицкой церкви, так и Николаевском соборе наблюдается тенденция к всефасадности сооружения. Соотношение основных объемов и конструктивных форм, богатство, разнообразие и повторение декоративных деталей на них усиливали впечатление целостности и монументальности указанных сооружений.

Дальневосточные храмы, исследуемые в статье, не принадлежат к числу общепризнанных шедевров русского зодчества. Но необходимо отметить, что типологическое сопоставление некоторых каменных церквей указывает на черты общности и своеобразия в архитектуре данного региона. Здесь ощущалось отсутствие архитекторов, вследствие чего при строительстве храмов за основу брались типовые проекты (Иннокентьевская церковь, г. Хабаровск). Происходило и повторное строительство, например Вознесенская церковь (г. Благовещенск) являлась прообразом для Покровской церкви (г. Владивосток), Успенский собор (г. Хабаровск) — для Успенского собора (г. Владивосток). Отсюда и возникает группа родственных вариантов храма. Памятники этой группы выделяются от архитектуры других регионов России в пропорциях и декоре. Местному своеобразию этих храмов порой сопутствовали нарушения архитектоники (Покровская церковь, г. Владивосток).

Наряду с этим, другая группа церквей: Троицкая (г. Благовещенск) и Николаевская (г. Никольск-Уссурийский) — свидетельствует о том, что в культовом зодчестве Дальнего Востока наблюдались также и иные композиционно-пространственные решения храмов, развитые не столько в вертикальной плоскости, сколько в горизонтальной. Со строительством данных сооружений появился достаточно гармоничный и колоритный тип храма. В пропорциях и декоре, как Николаевский собор, так и Троицкая церковь перекликаются, а порой мало чем отличаются от культовой архитектуры других областей России.

Эклектическое стилизаторство конца XIX — начала XX вв. ярко отразилось в культовых постройках региона. Практически все церкви строились в так называемом «русском стиле». Перечисленные факты свидетельствуют о провинциальном характере местного зодчества.

УДК 726.5(571.61/.64)

**Л.Е. Баклыская****ПЕРВЫЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЕ ВОКЗАЛЫ КАК ОТРАЖЕНИЕ СПЕЦИФИКИ  
РУССКОЙ АРХИТЕКТУРЫ РУБЕЖА XIX—XX вв.**

Рассмотрена архитектура первых железно-дорожных вокзалов на Дальнем Востоке, сделаны акценты на стилистических особенностях и образных решениях.

Освещен вопрос о влиянии архитектуры московских вокзалов на аналогичные сооружения вдоль Транссиба.

The stylistic features of the first Far East stations of Transib were by reflection of art processes in Russian architecture of the considered period. The first buildings were constructed at the end of XIX centuries and carried in itself eclectic features. Through 1,5 ten years many from them were reconstructed in larger and have got features of one of directions of modern — neorussian style.

Транссибирская магистраль (Великая сибирская магистраль), связавшая Челябинск с Владивостоком, а шире — Европу с Азией, а еще шире — Запад с Востоком, была построена в 1891—1916 гг. Она строилась на нескольких участках одновременно, параллельно возводились здания вокзалов. Поэтому первые вокзалы появились в начале 1890-х и на западных, и на восточных участках магистрали. Жизнь первых зданий была короткой: через 10—15 лет они перестали удовлетворять потребностям железной дороги и города, что сделало необходимым их расширение и строительство новых. За период в четверть века крупнейшие железнодорожные станции восточного участка: Уссурийск, Владивосток и Хабаровск — успели «поменять» свои архитектурные «одежды». Первые здания были построены соответственно в 1893, 1894 и 1897 гг., вторые возведены в 1908—1910, 1909—1911, 1926—1935<sup>1</sup> гг[1]. В 1913 г., после завершения строительства ветки Алексеевск — Благовещенск, открылся первый благовещенский вокзал.

Архитектура дальневосточных вокзалов, как первых, так и последующих, отразила в себе общие художественные процессы в русском зодчестве второй половины XIX — начала XX вв. Этот период на начальном этапе (1850—1890-е гг.) был отмечен деконструкцией еще действовавших архитектурных канонов классицизма, пестротой, сложностью и незавершенностью композиций и *многостильем как объективной приметой стилиевой общности эклектики* [2, с. 313]. Последующий этап (1900—1910-е гг.) характеризовался становлением модерна, и в России выделением особенно двух его направлений: неорусского и неоклассики. Стилистические особенности первых зданий дальневосточных вокзалов явно находились в русле эклектики, вторые же отмечены влиянием стиля модерн.

Хронологически первый из построенных вокзалов — Уссурийский, 1893 г. (в те годы станция с. Никольское) [3], ничем не отличался от других построек «кирпичного стиля», характерного для провинциальных общественных и жилых зданий конца XIX в. Симметричный объем прямоугольного

<sup>1</sup> По мнению проф. Н.П. Крадина, такое позднее появление постройки в русском стиле может быть объяснено тем, что «для здания вокзала в Хабаровске могли использовать проект, разработанный еще до начала революции и гражданской войны».

в плане здания, слабо декорированный карнизным поясом кирпичного орнамента и простыми наличниками окон, вряд ли мог служить визитной карточкой города, и тем более страны. Скорее, его архитектура отвечала лишь функциональным требованиям, причем только на первом этапе развития города. В начале XX в. Никольск-Уссурийский становится важным транспортным пунктом — узловой станцией на пересечении Уссурийской и Китайско-Восточной железной дороги [4]. И в 1908—1910 гг. строится новое здание вокзала (арх. В.А. Плансон, инж. А.А. Лебедев). Новое здание возводится в неоклассическом стиле (перестроено в 1930 г.) — так авторы проекта не только отдают дань одному из направлений модерна, но и утверждают значение здания как звена *транснациональной магистрали*, пусть и не очень крупного (рис. 1).



Рис. 1. Вокзал в Уссурийске. Современный вид. Фото автора

По-иному складываются образы вокзалов двух важных станций восточного участка Транссиба: Владивостока и Хабаровска. Значимость этих городов как форпостов страны на востоке предполагала, что архитектура их вокзалов должна была символизировать Россию. Но в 1890-х гг. «русский стиль» оставался одним из многих «стилей» эклектики. Специфической особенностью было «свободное сочетание „стилей“ европейских с „русским“ стилем» [2, с. 332], причем далеко не всегда черты последнего преобладали. Первый железнодорожный вокзал Владивостока (1894 г., арх. Е. Базилевский) можно считать примером такого свободного сочетания. Трудно сказать, «русского» или «готического» стилистического колорита больше в облике здания. Его протяженный объем отличается строгой симметрией. Обычная для классицизма трехчастная структура главного фасада образована одноэтажной средней частью, перекрытой куполом, и фланкирующими его двухэтажными объемами крыльев. На эту «классическую» структуру наложены инварианты декора русского стиля: навершия окон полуциркульного очертания с замковым камнем, в целом напоминающие кокошники, килевидные фронтончики парапета, дымники. Они сочетаются с деталями готического стиля: массивным венчающим карнизом со стилизованными машикулями, парапетными столбиками и аркатурным поясом. «Готицизм» придает зданию фактура стен, выложенных из серого гранитного песчаника.

Вероятно, трактовка образа вокзала в стиле готики объясняется двумя причинами. Первая заключена в этимологии слова «вокзал». Английское *Vauxhall* — увеселительное заведение близ Лондона, построенное в стиле поздней готики. И в России эпохи романтизма *воксхоллом* или *вокзалом* называли место для общественных увеселений. В начале XIX в. вокзалом стали называть здание (или комплекс зданий) для обслуживания пассажиров и управления движением. Первые русские вокзалы строились в «готическом стиле» [2, с. 330]. Наряду с огромной аркой, раскрывающей свод дебаркадера [5, с. 188], готические детали были знаками вокзала как типа здания. Достаточно вспомнить проект вокзала станции Новый Петергоф (1854—1857 гг., арх. Н.Л. Бенуа). Вторая причина — в том, что на первых этапах развития эклектики «готический» и «древний» были синонимами: «готическими» считались формы не только средневековой западноевропейской, но и древнерусской архитектуры [5, с. 168]. Отсюда равенство русских и готических форм в первых постройках эклектики. Возможно, этим и объясняется образ первого вокзала Владивостока, хотя провинциальный архитектор Е. Базилевский явно отстал здесь от архитектурной моды.

Первый вокзал Хабаровска (рис. 2) — деревянный — просуществовал дольше своих каменных ровесников в Усурийске и Владивостоке. По своему образу это ординарная провинциальная станция берегового типа, и не случайно ее композиция родственна композиции фасада хабаровской пристани (рис. 3).



Рис. 2. Первое здание хабаровского вокзала. Конец XIX в. Реконструкция автора

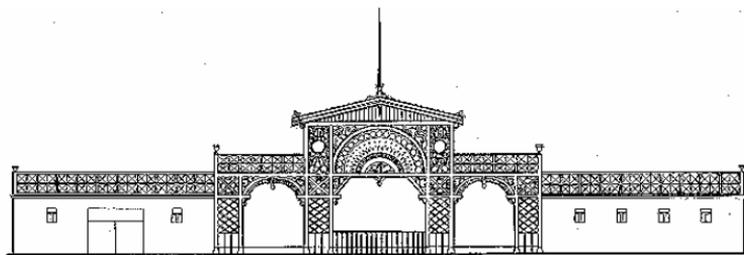


Рис. 3. Хабаровская пристань. Конец XIX века. Реконструкция автора

Одноэтажное протяженное здание вокзала утилитарно и аскетично. Пятичастная классическая структура напоминает проекты почтовых станций начала XIX в. [6]. Декор скуп и сводится к резному пропильному трехъярусному подзору карниза и деревянной накладной резьбе над проемами. Наличие и характер деревянной резьбы свидетельствует о том, что, при сохранении классического образа вокзала, присутствуют элементы псевдорусского стиля, а именно его «ропетовского» направления: крестьянского, фольклорного, «русского деревянного стиля».

Поиски национально-специфического, выразившиеся в одном из ведущих направлений русского модерна — неорусском стиле, нашли свое отражение в зданиях вокзалов, построенных после 1900 г. (рис. 4, 5, 6). В них ясно видны основные его черты: эпичность и монументальность образного ре-

шения, обобщенность и живописная неправильность крупных масс. Вокзалы представляют собой сложные группы пластичных объемов с укрупненным обобщенным декором. Проектирование «неорусских» зданий дальневосточных вокзалов велось под сильным влиянием московских вокзалов, Казанского и Ярославского, особенно последнего. Сходство архитектуры символизировало «родство» городов Дальнего Востока с Россией, их принадлежность единой транспортной сети страны.

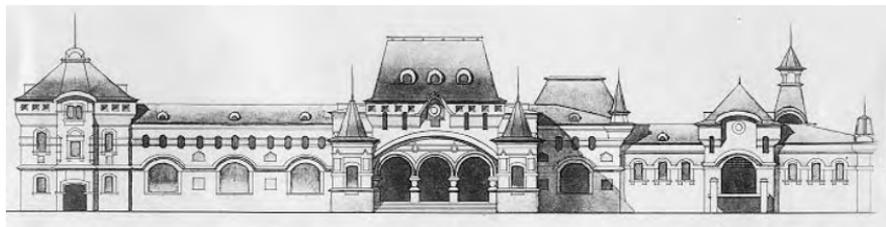


Рис. 4. Вокзал во Владивостоке. Современный вид



Рис. 5. Хабаровский вокзал. Построен в 1926—1935 гг. Не сохранился



Рис. 6. Вокзал в Благовещенске. Современный вид. Фото В. Цоффки [7]

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крадин Н.П. Памятники архитектуры Хабаровска. Хабаровск : Этнос-ДВ. 1996. С. 42.
2. Борисова Е.А. Русская архитектура и западноевропейское зодчество // Русская художественная культура. М., 1990. С. 313
3. Лыниа В.А. Архитектура старого Усурийска / В.А. Лыниа, О.Б. Лыниа // Дальний Восток : проблемы развития архитектурно-строительного комплекса : Третьи чтения памяти профессора М.П. Даниловского. Хабаровск, 2000. С. 112.
4. Обзор Приморской области за 1913 г. Владивосток, 1915. С. 27.
5. Иконников А.В. Историзм в архитектуре. М., 1997. С. 188.
6. Ожегов С.С. Типовое и повторное строительство в России в XVIII—XIX веках. М. : Стройиздат, 1984. С. 140.
7. Благовещенск // Города СССР. М. : Планета, 1989.

УДК 711.03:72.032.11

**Л.В. Задвернюк**

## **ГИПОТЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОЛИННОГО БОХАЙСКОГО ГОРОДА**

На основе выявленных градостроительных норм и правил Бохая построена гипотетическая модель долинного бохайского города. Доказано, что перенимая китайские традиционные идеологии и натурфилософские модели структурирования земной поверхности, бохайцы перенимали и адаптировали градостроительные нормы и правила Китая.

The article is devoted to construction of a hypothetical model of Bohai valley cities. The hypothetical model is under construction on the basis of the revealed Bohai town-planning norms and rules. Bohai town-planning norms and rules were generated under strong influence of the Chinese culture. Adopting the Chinese traditional ideologies and physiophilosophical models of structurization of a terrestrial surface, Bohai people adopted and adapted town-planning norms and rules of China.

Государство Бохай (678—928 гг.) существовало на территории Северо-восточной Азии. Его границы захватывали современные области северного Китая, Кореи и юг Приморского края России. Первые поселения на территории государства Бохай были родоплеменными и принадлежали различным этносам, наиболее развитыми из которых были племена мохэ. С образованием государства градостроительство этого региона перешло на качественно новый уровень.

К настоящему моменту планировочная структура городов Бохая практически не сохранилась. Однако их планировку, функциональную структуру, архитектуру можно реконструировать на основе гипотетической модели. Для создания модели бохайского города необходимо выявить основные градостроительные нормы и правила, которых придерживались бохайцы. Эти нормы и правила в свою очередь выявляются в процессе анализа особенностей формирования градостроительной культуры Бохая.

Историко-генетические особенности формирования градостроительства Бохая заключаются в использовании принятых в регионе градостроительных традиций, натурфилософских воззрений и пространственных космологических моделей. Градостроительная культура Бохая отличалась быстрым развитием. За короткое время была создана сложная иерархическая система городов и столичных центров, появились новые для Бохая типы градостроительных систем, планировка поселений обрела качественно новый уровень [1, с. 14]. Развитие бохайской культуры и градостроительства было напрямую связано с проникновением на его территорию китайских натурфилософских воззрений, что приводило к обретению ими общей с Китаем модели мироустройства. Это облегчало проникновение и адаптацию в Бохае китайских градостроительных норм и правил.

Формирование среды обитания в Китае было неразрывно связано с семантикой гармоничного мироустройства. Для развития градостроительства были важны идеальные пространственные модели, отражающие мировую гармонию. Основными источниками, в которых заключено описание этих моделей, являются канон перемен «И-Цзин» и практика «Фэн-шуй». Канон перемен явился обобщением знаний человека о тайнах мироздания и стал ос-

новой для развития пространственных представлений китайцев о мире. На базе «И-Цзин» развилось геомантическое учение «Фэн-шуй». Практика «Фэн-шуй» была неразрывно связана с космологией, и содержала свод рекомендаций и правил, используемых при создании искусственной среды обитания. Основные три модификации структурирования земной поверхности определились в середине I тыс. до н.э.:

- 1) пятичленная. Крестообразная, ориентированная относительно 4-х частей света — схема «Хэ-ту»: центр и четыре стороны света;
- 2) девятичленная. Квадратная схема «Лю-шу»: центр и восемь направлений по сторонам света;
- 3) девятичленная. Восьмиугольная схема «Ба-гуа»: центр и восемь направлений по сторонам света [2, с. 5].

Эти модели можно выявить на всех уровнях структурирования пространства древнего Китая. Каждая из них представляет собой центричную схему. Китай позиционировал себя как пространственный центр земной поверхности, поэтому центричные пространственные схемы отразились в градостроительных приемах Древнего Китая [3, с. 171]. Планы древних китайских городов, как правило, имели форму, близкую к квадрату или прямоугольнику. Планировка была регулярной, расположение градостроительных элементов: императорского города, жилых кварталов, сетки улиц — жестко регламентировалось.

Наиболее ранним источником, фиксирующим эти приемы как свод правил, является книга «Чжоу-Ли — Као-Гун-Цзи», написанная в эпоху династии западная Чжоу [4, с. 15]. «Као-Гун-Цзи» был основан на обобщении градостроительной практики и определил основные характеристики китайского города. Он регламентировал правила возведения города: принципы ранжирования размеров городов в зависимости от статуса, площадь города, форму, ориентацию по сторонам света, планировочную структуру, положение резиденции правителя и зданий управленческого аппарата, количество и ширину улиц, высоту городских стен, размещение торговых и сакральных функций в городе.

Главными улицами — проспектами являлись: центральная улица, идущая от центральных южных ворот города к внутреннему городу, улица, соединяющая восточные и западные ворота и идущая вдоль южной стены внутреннего города. Другие улицы более низкого статуса также сохраняли направление по сторонам света. Кроме того, улицы шли с определенным метрическим шагом, формируя, таким образом, одинаковые модульные ячейки — кварталы. Этот шаг зависел от размера «ли», который колебался от 400 до 500 м. Кроме главных проспектов в китайском городе существовали несколько второстепенных улиц, соединяющих второстепенные ворота города. Ворота соединялись главными магистралями города. Как правило, в столичных городах было по трое ворот в каждой из стен. В менее крупных городах ворот могло быть меньше, но их иерархия сохранялась.

Регулярная сетка улиц формировала в городах жилые кварталы. Размеры таких кварталов были кратны ли. Они представляли собой модуль членения городского пространства. В каноне «Као-Гун-Цзи» кварталы, называемые «Люй-Ли», были представлены двумя видами, имели регулярную планировку и модульные размеры, кратные 100 ли. Эти кварталы были «закрытыми», т.е. обносились по периметру стеной с воротами по сторонам света. Застройка в таких кварталах была рядовой и очень плотной [4, с. 17] (рис. 1).

Влияние китайских традиций в Бохэе в первую очередь отразилось на появлении кардинально иного принципа формирования городской структуры. Бохайцы стали строить «долинные» города на спокойном рельефе речных долин по образцу Китая: прямоугольные с регулярной планировкой. До этого основным типом поселений в Бохэе были «горные» города, расположенные на сопках, крутых прибрежных мысах и грядках [5, с. 150]. Ориентация Бохэя на китайские аналоги привела к доминированию типа долинного города в системе расселения и в системе иерархии городов.

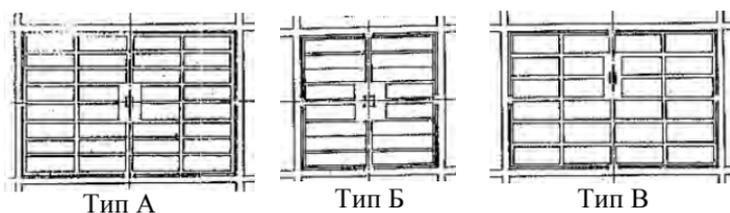


Рис. 1. Планировка «Люй-Ли» по канону «Као-Гун-Цзи»

Поскольку долинный город был заимствованным типом, то его основные структурные и планировочные характеристики соответствовали тем же признакам китайского города. Наиболее наглядно это проявилось в Верхней столице Лунцюаньфу (рис. 2). Здесь присутствует прямоугольная форма плана, ориентация по сторонам света, регулярная планировка, выделение внутреннего города, выделение широтных и меридиональных проспектов и главных улиц, соединяющих противоположные

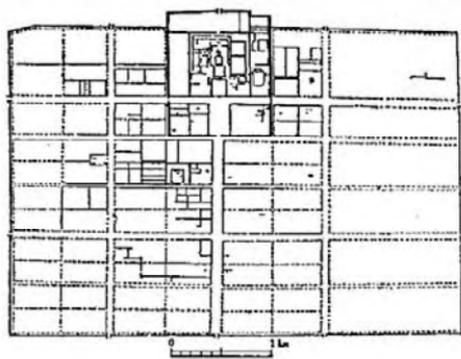


Рис. 2. План столицы Лунцюаньфу

ворота, квартальная разбивка территории города. Другие долинные города сохранились значительно хуже, однако имели схожие признаки: прямоугольные планы, внутренние города, прямые улицы, ворота на одной линии. К типу долинного города относились в основном административные центры. В системе иерархии бохайских городов наблюдается уменьшение размеров городов со снижением статуса. Самые большие по размеру были столицы, да-

лее по статусу и величине шли областные центры, далее префектурные центры и рядовые уездные города (рис. 3). Кварталы столицы имели размеры  $500 \times 250$  и  $500 \times 350$  м, ширина улиц была  $100 \dots 50$  м. Все эти величины кратны 50, что позволяет судить об использовании бохайцами градостроительного модуля. В этом случае должна была быть и пропорциональная система соотно-

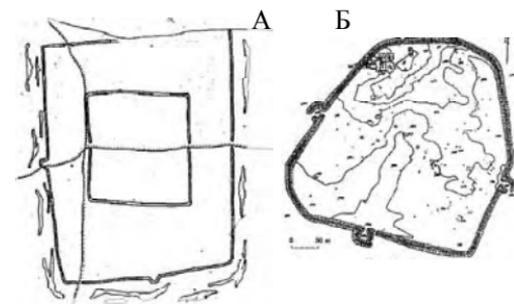


Рис. 3. План областного центра городище Сумичэн (А); план префектурного центра городище Краскинское (Б)

шения размеров городов и их элементов в системе иерархического соподчинения. Подобный принцип мог быть заимствован из китайского градостроительного искусства.

В настоящее время, для того чтобы оценить модульность внутренней структуры бохайского города, мы располагаем материалами нескольких в достаточной степени исследованных и сохранившихся городов: верхней столицы Лунцюаньфу, областного центра городища Сумичэн, префектурного центра городища Краскинское. Для выявления общего планировочного модуля бохайских городов необходимо провести сравнительный анализ размеров структурных элементов различных по статусу городов.

По остаткам Лунцюаньфу можно определить ее основной планировочный модуль. Размеры города составляли  $3500 \times 5000$  м, размеры внутреннего города  $1350 \times 1060$  м, дворцового города  $600 \times 700$  м. [6 с. 83]. С юга на север насчитывалось 3 главных и 4 второстепенные улицы, с востока на запад — 3 главные улицы и 7 второстепенных. Между главными улицами размещались 2 квартала по ширине и 4 квартала по длине. Соответственно шаг главных улиц составлял 500 м, шаг второстепенных — 250 м. в некоторых кварталах сохранились внутриквартальные улицы, разбивающие квартал на квадраты со сторонами  $250 \times 250$  м. Все эти величины кратны 5, 50 и 125. Поэтому условно можно принять в качестве модуля ячейку  $50 \times 50$  м.

Вторыми по размеру после столицы были областные города. На остатках областного центра — городище Сумичэн — сохранились стены внешнего и внутреннего городов, размерами примерно  $700 \times 600$  и  $350 \times 350$  м соответственно. Видно, что размеры областного центра также кратны 50. Кроме того, очевидно, что площадь областного центра была равна площади дворцового города столицы, а размеры внутреннего города были близки размерам столичного квартала.

Другой областной центр — городище Дачэнцзы — представляет собой в плане прямоугольник, вытянутый по оси восток-запад, его размеры составляют примерно  $1300 \times 600$  м, размер внутреннего города ориентировочно  $500 \times 350$  м (рис. 4). Так как от внутреннего города сохранился лишь выступ на северной стене, то точно определить можно его ширину; длину можно определить предположительно: от северной стены до широтной линии, соединяющей противоположные восточные и западные ворота, где мог проходить проспект. Можно заметить, что широтный размер города почти совпадает с меридиональным размером внутреннего города Верхней столицы. Прослеживается тенденция воспроизводства в областном центре параметров дворцового города столицы. Объяснить это можно тем, что бохайские градостроители использовали модуль и пропорциональное сокращение размеров городов.

Внутренний город Сумичэна составляет 29 % от общей площади, в Дачэнцзы он занимал 32 % от общей площади. Видно, что площадь внутреннего города в областном центре должна была составлять около 30 % от общей площади. Характерно, что дворцовый город Лунцюаньфу составляет 30 % от площади внутреннего города.

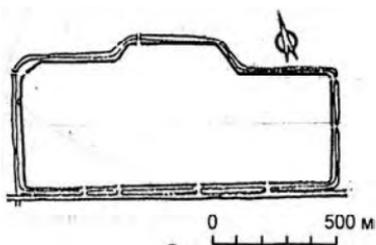


Рис. 4. План Дачэнцзы

Следующая иерархическая ступень — префектурные центры. В эту группу входят городища: Краскинское, Горбатка, Николаевское-1. Размеры городища Краскинское составляют примерно 350 м с востока на запад и примерно 400 м с юга на север. Эти размеры соответствуют размерам внутреннего города областного центра Сумичэна. Городище Горбатка имеет размеры примерно  $500 \times 360$  м [7, с. 12]. Эти размеры чрезвычайно близки размерам внутреннего города Дачэнцзы. Размеры городища Николаевское-1 составляют  $350 \times 300$  м. Видно, что этот город немного меньше остальных, однако его площадь приближается к площади внутреннего города Сумичэна. Можно сделать вывод, что префектурный центр был примерно равен по площади внутреннему городу областного центра и соответственно меньше областного центра в три раза.

Границ внутренних городов префектурных центров археологами пока не открыто. Однако их существование не оставляет сомнений. В городище Краскино в северной части наблюдается повышение рельефа, что можно объяснить тем, что там располагались общественные здания на платформе [8, с. 74] Кроме того, прием строительства внутреннего города характерен для градостроительства региона, и подобного типа зоны появлялись в городах последующих средневековых государств, причем не только в городах долинного типа, но и в горных поселениях [9, с. 170].

Процентное отношение площади внутреннего города префектурного центра к общей его площади можно предположительно определить исходя из выявленной закономерности уменьшения размеров городов со снижением статуса до размеров внутренних городов более высоких по статусу поселений, т.е. размеры внутренних городов префектурных центров должны быть близки размерам рядовых уездных городов. Из группы рядовых долинных поселений рассмотрим городища Высокое и Отрадное. Их размеры составляют соответственно  $225 \times 200$  и  $250 \times 200$  м. По площади они почти равны. Площадь городища Высокое  $45000 \text{ м}^2$ , что составляет 32 % от площади городища Краскино, площадь городища Отрадное  $50000 \text{ м}^2$ , что составляет 35 % от площади городища Краскино. Поэтому можно считать, что внутренний город префектурного центра, также как и областного центра, занимал 30 % от общей площади.

Для открытых на сегодняшний день внутренних городов бохайских поселений характерны следующие пропорции: внутренний город Лунцюаньфу  $1060:1350=0,8$ , т.е.  $4,9/6$ ; внутренний город Луньюаньфу  $700:800=0,87$ , т.е.  $5,2/6$ ; внутренний город Дачэнцзы  $350:500=0,7$ , т.е.  $4,2/6$ ; внутренний город Сумичэна  $350:350=1$ , т.е.  $1/1$ . Заметно, что в большинстве случаев эта пропорция стремится к значению  $5/6$ , хотя не исключен вариант пропорции  $1/1$ . Пропорция  $5/6$  характерна для тех внутренних городов, которые располагались в северной части поселения, а пропорция  $1/1$  характерна для центрального положения внутреннего города.

С помощью модуля и пропорциональных соотношений можно создать диаграмму разбивки территории бохайского долинного города. Модульная диаграмма является основой для планировочной структуры. Главным аспектом концепции планировки долинного бохайского города является ее регулярность и подчинение модулю, т.е. использование китайских градостроительных принципов. Кроме того, в моделировании учитывается количество проспектов, главных улиц, и соответственно, количество городских ворот.

Эти параметры определяются по аналогам: китайские средневековые города, Лунцюаньфу, Сумичэн. На основании анализа аналогов и предполагаемых пропорций можно сформулировать основные градостроительные принципы нормы и правила, которым следовали бохайцы:

Бохайские градостроительные правила для долинных городов:

1) долинные города имели планы прямоугольные или близкие к прямоугольнику. Пропорции плана 5/6;

2) внутренний город расположен в северной части города по меридиональной оси симметрии. Составляет 30 % от общей площади. Пропорции его размеров 5/6;

3) использование в планировке регулярной линейной схемы, подчиненной модулю. Регулярность обеспечивалась тем, что направление всех улиц соответствовало ориентации города. Улицы шли параллельно городским стенам с модульным метрическим шагом;

4) в городе должно было быть два проспекта: перед внутренним городом и центральный меридиональный проспект. Проспекты пересекались перед южными воротами внутреннего города;

5) не менее 2 широтных (одна из них проходит через внутренний город) и 2 меридиональных главных улиц:

а) главные меридиональные улицы проходили вдоль восточной и западной стен внутреннего города;

б) главные широтные улицы проходили: одна через внутренний город перед парадным комплексом, вторая в южной части города;

б) разбивка городской территории велась по квартальному принципу. Количество кварталов между улицами определялось исходя из метрического шага улиц, т.е. пространство между улицами делилось на равные промежутки. При этом пропорции квартала могли составлять 1/2 или 1/1. Через кварталы проходили переулки между участками застройки. Кварталы формировала плотная застройка, состоящая из одноэтажных зданий. Только общественные здания располагались на высокой платформе. Расположение домов происходило по одной линии, которая формировала улицы, глухие тупики отсутствовали. Северные кварталы были крупнее южных;

7) шаг улиц и размеры кварталов кратны 50.

*Выводы.* Принципы организации городской структуры бохайского долинного города были основаны на китайских натурфилософских пространственных моделях. Использование китайских моделей давало Бохаю схожие с китайскими градостроительные правила. Строительство городов в Бохае велось по образцу. Образцами для низших служили высшие. Меньшие города повторяли структуру больших не в полном объеме. Для воссоздания определенной модели города в меньшем масштабе уменьшались элементы городской структуры, сохраняя, однако принцип ее организации. Поэтому предлагаемая гипотетическая модель будет справедлива как для столиц, так и для рядовых долинных городов. Воспроизведение модели осуществлялось в разной степени полноты и совершенства. Все зависело от статуса и значимости того или иного города.

Гипотетическая идеальная модель являлась основой для реализации планировочной структуры долинного города на любом иерархическом уровне. В

основе организации соподчинения долинных бохайских городов лежал принцип субординации, восходящий к модели микрокосма, отвечающий божественному мироустройству. Это воспроизводство космологической модели «Ло-шу», заимствованной из китайской культуры. По этой схеме пространственный центр высшего объекта является местом положения следующего ниже по уровню, от положения государства в пространстве до положения центра здания. В бохайском градостроительстве этот принцип отразился в уменьшении размеров нижестоящего города до размеров внутреннего города вышестоящего. Это еще раз подтверждает важность градостроительной деятельности для Бохая и ее позиционирование как элемент, демонстрирующий имперское государство, а также как элемент, демонстрирующий сакральность власти.

Последовательное и точное выполнение рассмотренных правил моделирования при реконструкции бохайских долинных поселений поможет получить в результате представление об облике и структуре бохайского города.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А.В. Процессы урбанизации в бохайское и чжурчжэньское время (в южной части Дальнего Востока СССР) // Историко-культурные контакты народов алтайской языковой группы : сб. науч. ст. Новосибирск, 1990. С. 12—24.
2. Дорофеева В.В. «Ши-Цзин» как источник реконструкции пространственных представлений в древнем Китае : автореф. дис. ...канд. ист. наук. 1992. 22 с.
3. Исаева М.В. Представление о мире и государстве в Китае в III—VI вв. (по данным нормативных историописаний. М., 2000. 263 с.
4. Люй Фу-Сюйн Канон «Као-Гун-Цзи» и развитие традиционного китайского градостроительного искусства : дис. ...канд. архит. М., 1992. 131 с.
5. Болдин В.И. Результаты археологических исследований бохайских памятников Приморья 1994—1998 гг. / Древняя и средневековая история Восточной Азии. Владивосток, 2001. С. 72—76.
6. Болдин В.И. Столичные города Бохая / В.И. Болдин, А.Л. Ивлиев // Россия и АТР. 1997. № 3. С. 77—97.
7. Гельман Е.И. Исследования на городище Горбатка // Россия и АТР. 2001. № 1. С. 12—19.
8. Государство Бохай (698—926) и племена Дальнего Востока России / под ред. Э.В. Шавкунова. М., 1994. 219 с.
9. Шавкунов В.Э. Средневековые городища Южной части Приморского края // Из истории и археологии Дальнего Востока : сб. науч. тр. Владивосток, 2000. С. 166—173.

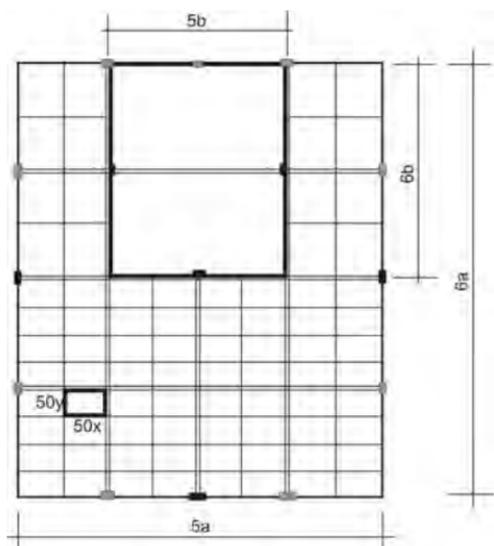


Рис. 5. Гипотетическая идеальная модель долинного бохайского города

УДК 726.71.061.75

**К.А. Соловьев****ГОРОДСКОЙ МОНАСТЫРЬ, ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ И МУЗЕЕФИКАЦИИ ПАМЯТНИКОВ ЦЕРКОВНОЙ СТАРИНЫ НА РУБЕЖЕ XIX—XX СТОЛЕТИЙ**

Освещены проблемы взаимодействия государственных музеев и религиозных организаций в деле сохранения памятников церковного искусства как общекультурного наследия.

The article highlights problems of interaction of state museums and religious organizations in preservation of old church buildings and artifacts as a part of cultural heritage.

В начале XX века в России шла жесткая полемика по вопросу полной ликвидации городских монастырей или превращения их в музеи между традиционалистами-консерваторами и либералами-интеллигентами. Дискутировали эту тему даже в стенах духовных учебных заведений России, «в 1902—1904 гг. происходили подобные полемические собрания в стенах Московской Духовной Академии»<sup>1</sup>.

Эта полемика неожиданно получила развитие в связи с проблемой сохранения памятников церковного искусства и старины. Большая часть памятников принадлежала Русской Православной Церкви, являлась православными святынями — реликвиями Веры — и находилась в ведении Святейшего Синода. В 1911 г. товарищ министра внутренних дел И.Я. Гурлянд направил в Государственную Думу проект положения об охране древностей. Предполагалось создание Особого Комитета по охране древностей при МВД. Согласно этому документу «памятники церковной старины получали особый статус и, согласно статьи 21 Положения, их охрана была возложена на местные епархиальные учреждения и значительные и наиболее известные городские монастыри, а регистрация данных памятников проводилась с ведома Святейшего Синода»<sup>2</sup>. Немедленно последовала резкая критика данного положения в либеральной и социал-демократической прессе. Однако Императорское Московское Археологическое Общество, Академия Наук России, академик А.И. Соболевский выступили в защиту права Православной Церкви и городских обителей на участие в охране древностей. Вопрос об отчуждении в государственную собственность памятников церковной старины поднимался председателем ИМАО графиней П.С. Уваровой в ее обращении к Государю Императору в 1908 г. На это обращение была положена резолюция Императора: «заслуживает серьезного внимания»<sup>3</sup>.

В 1910 г. появляется правительственный законопроект об охране древностей, предусматривавший создание при МВД комиссии по охране древностей, которая только с согласия Святейшего Синода устанавливала важность того или иного монастыря, или церкви, или Священного предмета с точки зрения истории. Статьи 27 и 29 этого законопроекта прямо затрагивали права городских мо-

<sup>1</sup> Гидони А.И. Законодательная охрана памятников старины и произведений искусства. 1912. № 12. С 111—112.

<sup>2</sup> Положение об охране древностей. Саратов, 1916. С. 46.

<sup>3</sup> Сохранение памятников церковной старины в России XVIII—XX веков : сб. док. М., 1997. С. 10—11.

настерьей, «которые должны были подвергаться археологической и исторической экспертизе в первую очередь»<sup>4</sup>. Однако концепция законопроекта рассматривала памятники архитектуры, имеющие общечеловеческое значение, как свидетельства «исторического развития Русской Православной Церкви, то есть, как ценность исключительно конфессиональную»<sup>5</sup>. В 1911 г. появилось Положение об охране древностей, в котором религиозные памятники были специально выделены в особую подгруппу. «Параграф 187 — пункт 1 этого положения специально говорил об экспертизе городских монастырей на предмет их исторической и культурной ценности, об их возможном дальнейшем использовании»<sup>6</sup>. Все эти проекты и положения отражали разногласия внутри русского общества в первом десятилетии XX в. в России, связанные с различными взглядами на судьбу русского Православия, монашества и монастырей.

В том же 1911 г. прошел очередной XIV археологический съезд в г. Чернигове и затем появился еще один проект об охране исторических памятников. Согласно этому проекту «при МВД создавался особый Комитет по охране памятников»<sup>7</sup>. Авторами данного проекта являлись граф А.А. Бобринский, Н.П. Кондаков и Н.В. Покровский.

Может возникнуть закономерный вопрос о роли городских монастырей в деле охраны памятников. Между тем, это очень интересный аспект бытия городских обителей в русских городах на рубеже XIX—XX столетий. Многие русские монастыри, пережив сложное время социальных и политических бурь начала XX в., смогли сберечь для грядущих поколений многие уникальные образцы русского культурного наследия. Однако в начале XX столетия выявилась очень сложная проблема. Выяснилось, что культурное наследие гибнет не только от войн и революций, но и от забвения, от неумения сохранить его, наконец — от бедности. Многие древние монастыри к началу XX в. находились в забвении, ученое монашество исчезало, монастыри «окрестянились». Мало кто из братии мог разбирать древние рукописи в монастырских архивах, помогать исследователям. Именно поэтому в первые годы XX в. из многих монастырей стали вывозить рукописи и архивы. Даже из столичных Чудова и Воскресенского монастырей в Синодальную библиотеку вывезли коллекцию старопечатных книг. Однако памятники фресковой живописи не поддавались перемещению, поэтому судьба их складывалась подчас трагически. Можно привести лишь два примера. В 1908 г. в Черниговском Елецком монастыре, в Успенском соборе, построенном еще в XI столетии, были обнаружены фрагменты древних фресок. Московское археологическое общество в письме на имя обер-прокурора П.П. Извольского просило помощи государственных властей в деле консервации и реставрации этих фресок. Однако епископ Черниговский Антоний сообщил, что «Елецкий монастырь по своей скудости не может взять на себя даже 10 % расходов»<sup>8</sup>. Фрескам Елецкого

<sup>4</sup> Зодчий. 1910 г. № 12. С. 414.

<sup>5</sup> Историко-правовые вопросы взаимоотношений Церкви и Государства в истории России. М., 1988. С. 55.

<sup>6</sup> Положение об охране древностей. Саратов, 1916. С. 48.

<sup>7</sup> Соловьев К.А. Проблемы взаимоотношений и взаимодействия государственных музеев Российской Федерации и Русской православной Церкви в начале XXI века : материалы Международ. науч.-практ. конференции городских музеев, посвященной началу III тысячелетия. М., 2000. С. 157—164.

<sup>8</sup> Моргилевский И. Дослід пам'яток старого Чернігівського будівництва — Елецький собор Елецького монастира // Україна. 1925. № 1—2. С. 231—233.

монастыря грозило забвение. Второй пример — это более удачные работы по сохранению фресок Ферапонтова женского монастыря. В 1904 г. этот монастырь был возобновлен как женский после своего столетнего упразднения. В монастыре подвизалось более 100 монахинь. Великолепные фрески Дионисия, написанные им в 1500—1502 гг., удалось сохранить, однако у монастыря не хватало средств на реставрацию Рождественского собора обители, где находились эти фрески. «Новгородский архиепископ Арсений (Стадницкий) 27 мая 1912 года выступил с инициативой Всероссийского тарелочного сбора для спасения фресок Дионисия. Собранных средств хватило на консервацию фресок и в апреле 1914 года был объявлен новый сбор»<sup>9</sup>. Эти примеры показывали, что дело восстановления памятников старины в громадной степени зависело в то время от общества верующих людей и от образованности высшего духовенства. «Монастыри и монашество могли сберечь свою старину лишь в единстве с верующим миром, а, не отгораживаясь от него»<sup>10</sup>.

В 1914 г. Специальная Комиссия Государственной Думы обратилась с письмом в Святейший Синод и высказала предложение о создании в Москве «в стенах некоторых древнейших монастырей (Донской, Симонов, Новоспасский) особого Национального Древлехранилища русских фресок и церковных древностей»<sup>11</sup>. Тем самым на государственном уровне была продолжена работа таких видных ученых, как И.Д. Мансветов, А.П. Голубцов, Н.В. Покровский, А.А. Дмитриевский, по соединению усилий Церкви и науки в деле сохранения памятников архитектуры и исторических церковных древностей — реликвий Русской Церковной истории и археологии. Как примеры подобных усилий можно привести «обязательное введение в программу гимназий, народных училищ, церковно-приходских школ и реальных училищ преподавания церковной археологии как вспомогательной исторической дисциплины.

Повсеместно в России стали организовываться церковно-археологические музеи и древлехранилища. На основе книжного собрания Киевской Духовной Академии и собрания древностей Киевского Богоявленского Братского монастыря в его стенах была открыта библиотека и археологический кабинет»<sup>12</sup>.

Только революционные события 1917 г. помешали созданию в стенах Троице-Сергиевой Лавры Императорского музея Древнерусской культуры, о проекте, которого уже шла речь в начале данной работы. И таких примеров было достаточно в предреволюционной России. Необходимо только отметить, что, несмотря на всю полемику вокруг проблемы сохранения памятников архитектуры, взаимодействия светской власти и Церкви в деле охраны древностей, роли и месте городских монастырей в подобном взаимодействии, выплеснувшуюся на страницы либеральных средств массовой информации того времени, позиции Церкви и государства, общества и Церкви по данному вопросу во многом совпадали. Это было возможно только в той России, которая продолжала сохранять понимание того, что такое Христианское обще-

<sup>9</sup> Новгородские Епархиальные Ведомости. Новгород, 1912. № 17. С. 525—538.

<sup>10</sup> Монастыри — культурные и духовные центры России и Европы, история и современность : междунар. монография. М., 2003. С. 48—60.

<sup>11</sup> Гидони А.И. Законодательная охрана памятников старины и произведений искусства // Зодчий. 1912. № 12. С. 111.

<sup>12</sup> Описания документов и дел, хранящихся в архиве Святейшего Синода. СПб., 1916. Т. 50. С. 116.

ство, Христианское государство и Христианская власть. Вопросы сохранения церковных, архитектурных и художественных памятников тесно связаны с вопросом музеефикации монастырей.

Большинство музеев на территории современной России расположены в православных монастырях. До сего дня не решен вопрос о взаимодействии музейных учреждений и православных монастырей. В музейной среде господствуют две точки зрения на решение этой проблемы. Одни музеи, в значительной степени провинциальные, за тесное сотрудничество музеев и церкви в деле духовного просвещения нации. Другие музеи стоят на той позиции, что музей есть всего лишь учреждение, хранящее, исследующее и экспонирующее тот или иной экспонат. Однако эта точка зрения не может считаться истинной, так как первенствующей ролью музеев является все же просветительская деятельность.

Одним из вариантов взаимодействия Церкви и музея может стать реализация резолюции I съезда монашествующего духовенства 1909 г. о создании на базе некоторых городских монастырей епархиальных церковно-государственных музеев традиционного древнерусского искусства и культуры. В наши дни идеи этого съезда постепенно претворяются в жизнь.

Например, удачным, но первым опытом создания подобного музея, хотя и только косвенно соответствующего теме, можно считать создание музея храма Христа Спасителя в 2000 г., который, являясь филиалом музея истории г. Москвы, в то же время является и музеем современного церковного искусства.

Также интересным опытом взаимодействия церкви и государственных музеев является создание в 1999 г. историко-культурного музейного центра «Курская Коренная пустынь», который живет в тесном сотрудничестве со знаменитым православным монастырем Рождественско-Богородицкой Курской Коренной пустынью.

К сожалению, споры вокруг необходимости подобных музеев до сих пор актуальны, так как в современной России нет ни одного серьезного музейного научно-исследовательского учреждения, занимающегося изучением и популяризацией именно русской духовной культуры и церковного искусства. Подобным учреждением мог бы стать Всероссийский Центр Русской Традиционной (Православной) культуры и церковного искусства. Аналогичные научно-исследовательские центры развития и изучения национальных культур есть во многих регионах Российской Федерации. Центра традиционной русской культуры нет в общегосударственном масштабе, что само по себе является серьезным тормозом, как в изучении русского Православия, так и в изучении истории и традиций Православных русских монастырей, являющихся традиционным элементом русской культуры. Между тем подобные центры есть во многих странах Европейского союза. Можно привести пример Финляндской республики, где с 1944 г. существует уникальный музейный центр православного искусства и культуры. Этот центр имеет статус церковно-государственного музея православного искусства и находится в ведении, как Министерства культуры Финляндии, так и Финляндской Православной Церкви. Речь идет о Финляндском Национальном музее Православного искусства в городе Куопио при резиденции Архиепископа Карельского и всей Финляндии. В этом музее в настоящее время пребывают многие Святыни Валаамского, Коневецкого и Линтульского монастырей. Помимо этих ценно-

стей в этом музее экспонируются уникальные иконы и предметы декоративно-прикладного искусства из многих православных храмов Финляндии. Примером может служить Коневецкая Икона Божией Матери, которая в настоящее время пребывает в пределах Финского государства.

Конечно, пример Финляндии — это пример страны, в которой Церковь не отделена от государства. Но аналогичные центры Христианского искусства есть и в других странах ЕС, где Церковь официально отделена от государства. Например, широко известен Епископский музей Христианских древностей в германском городе Трире. Этот музей является церковным музеем, однако на него распространяется музейное законодательство Федеративной Республики Германии.

Интересен статус многих Христианских Святынь, хранящихся в музеях бывшей Императорской Австрийской резиденции — дворце Хофбург в Вене. Эти Святыни находятся в совместном ведении государства, Церкви и бывшей Императорской Фамилии Австро-Венгерской империи. Они открыты как для музейного показа, так и для религиозного поклонения.

Наконец, еще в социалистической Болгарии в Бачковском монастыре был открыт церковно-государственный музей Библии и письменности. Современному Российскому государству необходимо использовать этот опыт взаимодействия государственных музеев и религиозных организаций, если оно хочет полноценно сотрудничать с Европейским Союзом в деле организации межкультурного диалога.

УДК 72.04

**Н.Ю. Васильев****ДИЗАЙН КАК ПРОТОТИП НОВОГО АРХИТЕКТУРНОГО ЯЗЫКА 1960—1990-х гг.**

Рассмотрены примеры концептуального дизайна, в котором зодчие во многих случаях раньше, чем в архитектуре, пытались высказать новые идеи формообразования.

The article deals with several cases of conceptual design when the architects used new ideas of form creation.

Специфика дизайна дала западным зодчим 1960—1990-х возможность свободного самовыражения. Задолго до реализации спроектированных зданий они смогли провести в жизнь свои новые концепции в виде ламп, столов, стульев, интерьеров. И везде с маниакальной последовательностью они применяли ордер. Изображали на тарелках и чашках исторический город. Украшали часы, браслеты, броши архитектурными обломами. Подсвечники превращали в соборы и дома. Тем самым именно в дизайне был анонсирован отказ от принципов модернизма.

Значительную роль в этом процессе сыграли архитекторы Италии, самой авторитетной страны в сфере промышленного дизайна. Феномен так называемого «итальянского дизайна» сложился на волне борьбы против массовых бытовых предметов и стереотипной архитектуры. Бывшие сотрудники фирмы «Оливетти» (по образованию архитекторы) заявили о себе, выступив с эпатажными работами для галереи «Студия Алхимия» (1970—1980-е гг.). Затем они объединились в группу «Мемфис», созданную ведущим дизайнером фирмы Э. Соттсассом (1980).

Эttore Соттсасс, возможно, дал первый импульс нового движения, так как еще в начале 1970-х гг. сформулировал новое отношение к интерьеру, посуде, декоративному стеклу. Его вазы составлены из огромных стеклянных бусин, тарелки разрисованы фломастером, а с кроватью соседствовал мотоцикл. Подобные вещи и других дизайнеров фирмы (А. Мендини, М. де Люкки) были основаны на образах, взятых из ранее запретных для профессиональной деятельности сфер: ограждение опасных объектов, «вынужденный дизайн» трущоб, сюрреализм и китч. К этой же тенденции относилось и увлечение «диким» по стилистике орнаментом. Так сложился «радикальный» дизайн с антифункциональными принципами проектирования, такими как поиск образа «рукотворного» предмета, служившего для создания неповторимого интерьера. Эту идею стали развивать не только итальянцы, но и зодчие-японцы (А. Исодзаки, Ш. Куромата, К. Ямашита), проектировавшие для «Студии Алхимии» и группы «Мемфис», а также для торговых фирм «Алесси», «Артемиды» и др., продвигавших на рынок антифункциональный и нетехнологичный дизайн.

Англичанин Ч. Дженкс своеобразно интерпретировал в дизайне историю архитектуры. Спроектированная им мебель и посуда обосновались в его собственном «Тематическом доме». Американские зодчие Р. Вентури и М. Грейвз в дизайне активно осваивали поп-арт и китч. Помимо этого, их за-

интересовала стилистика ар-деко как актуальный и широко представленный в США прототип. Вся англо-американская плеяда мастеров показала своеобразие отношение к сюрреализму, дадаизму, поп-арту, оп-арту и архитектурному ордеру.

Представитель миланской архитектурной школы Альдо Росси, казалось бы, никогда не шел на прямой эпатаж публики и в этом смысле не входит в число авторов итальянского «антидизайна», сложившегося в 1960—1990-е годы. Однако, несмотря на то, что Росси отрешивался от постмодернизма, его чайно-кофейный сервиз, созданный для фирмы «Алесси» (1987—1989), закономерно стал символом архитектурного дизайна именно этого направления. Таковы его сервиз Росси для фирмы «Алесси» и серия выполненных по его эскизам ковров (для фирмы A R S Studio, 1986—1988). Характерно, что на них показаны лестницы, причем, никуда не ведущие, а также кубы, шары и конусы, то есть абстрактные и типично архитектурные формы.

Монументальность, свойственная архитектуре Марио Ботты, в полной мере проявилась и в его дизайне. Торшер, спроектированный зодчим для фирмы «Артемиды», стал гимном цилиндру в декоративной полосатой черно-белой отделке. В его облике немало черт, сопоставимых с ар-деко своей упрощенной орнаментальностью. Подобные, последовательно проведенные во всех спроектированных предметах приемы формообразования придали стульям и креслам, созданным архитектором с применением цилиндрических вертящихся спинок, стилистическую цельность и величественность.

Менее известен дизайн Ричарда Мейера, так как слава зодчего-практика затмила иные проявления его таланта, хотя Мейер был приглашен по инициативе А. Мендини фирмой «Алесси» для участия в проектировании чайно-кофейных сервизов наравне с другими известными зодчими-дизайнерами, спроектировал еще ряд бытовых предметов и много внимания всегда уделял интерьерам своих сооружений.

Алессандро Мендини можно назвать главным идеологом нового направления. Он выступал не только как архитектор и дизайнер, но и как главный редактор влиятельных журналов «Казабелла» (Casabella, 1973—1976), «Модо» (Modo), основанного Мендини и руководимого им до 1981 г., «Домус» (Domus, 1980—1985). Здесь он постоянно публиковал свои рисунки и проекты, а также проекты единомышленников из «Студии Алхимия» и группы «Мэмфис». На Биеннале в Венеции 1980 г. Мендини организовал этапную выставку «Банальный объект» (“L’oggetto banale”). Он же работал директором по дизайну и коммуникациям в знаменитой (во многом в результате его деятельности) фирмы «Алесси» (Alessi), организовал ее проект «Чайно-кофейный сервиз» (Tea & Coffee Piazza), заказав их проекты десяти известнейшим архитекторам, а одиннадцатый сделал сам. В 1970 г. А. Мендини придумал стул из оргстекла, засыпанный комками земли («Земля», стул для «Кассина», 1972). Он устанавливал стул на пьедестал (рисунок фломастером, 1973, вариант для «Алхимии», 1981) и буквально превратил в памятник (реализация в Германии, 2000). И на пьедестале сжигал этот же стул в ходе перформанса (обложка журнала «Казабелла», 1975). В конце 1970-х гг. Мендини выполнил декларативную серию предметов редизайна, взяв за основу знаменитые стулья классиков современной архитектуры (Ле Корбюзье, М. Брейера, Г. Ритвельда). Его «Интерьер интерьера» (экспонировался в Милане, 1991), вы-

смеивает банальность — старинную мебель (кресло «Пруст»), шкафчики с безделушками, овальное зеркало в раме криволинейной формы, пестрые обои. Все это покрыто точечными рисунками, разработанными для ламината и также названными «Пруст». Такие, намеренно нелепые, рисунки дизайнер применил даже на циферблатах наручных часов и ремешках к ним. Последнее Мендини делал как арт-директор швейцарской фирмы «Свотч» (1990-е гг.).

Примечательно, что Мендини обрушивался на ордер с яростью, подобной поведению футуристов. Он уничтожал энтазис, базу и капитель, приравнивая друг к другу, превращая в одинаковые пирамидки. Можно было бы сказать, что это эстетика абсурда, действенность которой давно была открыта сюрреалистами, но теперь, под влиянием деятельности Мендини, широко применимая в архитектуре и дизайне. Причем, как в уникальном, так и массовом.

Микеле де Люкки обозначил своим творчеством связь с традиционным ремеслом. Он призывал к переосмыслению стандартного предмета, желая вернуть ему индивидуальность на уровне концепции и исполнения: «Я заменил слово „дизайн“ словами „обдуманное заранее“, чувствуя, что все наши действия вырастают из процесса пре-суждения, пре-выбора, пре-видения. (...) Жить означает — выбирать, означает — планировать, если жизнь — уникальная личная и абсолютно индивидуальная вещь, любой, кто проектирует для других — выбирает за других, практически, — живет за других. Абсурдная задача поручать это архитекторам». В этом заявлении выражался его отказ от модернизма с его навязыванием потребителю унифицированных образов, сложившихся в профессиональной среде. Однако де Люкки в своем дизайне делал художественные жесты, высмеивавшие мещанство. Например, он разработал софу «Лидо» как совмещение форм классического диванчика и ножек в виде вантузов, расцвеченную ко всему прочему в попугайчи цвета («Мемфис», 1981). «Идея состоит в том, — писал он, чтобы дарить веселый, человечный, раскрепощенный образ технологии и в результате использовать определенные формы и цвета для этих объектов. Я хочу уничтожить страх и благоговение, которые сопровождают технологии. (...) Я хотел показать, что можно создать технологически совершенные объекты, используя формы, принципиально отличные от привычных. Я хотел показать, что они могут иметь иные лица».

Япония — страна еще живой ремесленной культуры, как и Италия. Возможно, именно поэтому целый ряд японских зодчих и дизайнеров составил компанию итальянцам в их альтернативной по отношению к модернизму деятельности. Арата Исодзакки разработал для группы «Мэмфис» своеобразную мебель, но наиболее архитектурными были его ювелирные украшения для фирмы «Клето Мунари». Это кулоны в виде серебряных решеток с неожиданными по сочетанию бриллиантами и яркими эмалевыми элементами полуциркульных очертаний, а также яркие непрозрачные камни в форме цилиндров и параллелепипедов. Дизайн и архитектура, несомненно, отражают обще-композиционное видение мастера, во всех случаях он мыслит ассоциативно, выражая образы новых технологий, сопряженных с декоративным искусством. Многие формы, сходные с его дизайном, можно увидеть в архитектуре знаменитого офиса, спроектированного Исодзакки для компании «Дисней» (Team Disney Building) в США (Орlando, Флорида, 1987—1990). Здесь черты авангарда и сюрреализма слились воедино, дав абсолютно новый по

своим качествам гибрид. Узнаваемый образ мышонка с торчащими ушками превратился в почти беспредметный архитектурный элемент. М. Коллинз и А. Пападакис отмечали: «Японские архитекторы и дизайнеры, в том числе такие значимые как, Арата Исодзак, также учились у поп-арта и выходцев из политического климата 1960-х. Исодзак родился в 1931 году, работал у Кензо Танге до 1963 года, когда организовал свое бюро в Токио. Он женился на актрисе Аико Мияваки, которая была связана с японским нео-дада, и он узнал о таких культовых фигурах, как Марсель Дюшан и Фредерик Кислер. Исодзак участвовал в японских демонстрациях протеста 1968 года, в основном вдохновленными демонстрациями в Европе того же года». Важную формообразующую роль альтернативного дизайна в эволюции творчества А. Исодзак отметили те же исследователи: «1960-е сформировали фон для стула Исодзак „Мэрилин“. В своем дизайне Исодзак смешал стул с высокой спинкой Макинтоша с чувственными кривыми тела Мэрилин Монро. Это комбинация поп-арта с обращением к одному из пионеров мебельного дизайна 20-го века».

Дизайн Чарльза Дженкса не менее ярок, чем его архитектура и тексты, ее объясняющие. Произведения дизайна превосходят по числу его же архитектурные. Более того, они определенно концептуальны. Так, сервиз для «Алесси» — своего рода пособие по трансформации ордера. Мебель же — это видение исторического города, выстроенное профессиональным зодчим и историком архитектуры. Характерно название серии круглых табуреток и кресел с аркадами — «Колизей». Однако во всех случаях это вовсе не реконструкция старинных объектов, а достаточно отстраненное формообразование, причем, в весьма дорогостоящем исполнении, так как речь идет только об уникальных экземплярах.

Дизайн известного мастера архитектуры и историка римского барокко Паоло Портогези отличается, как и подобные произведения Дженкса, виртуозным ремесленным исполнением. Портогези так описывает свою раннюю работу — мебель для частного жилого дома 1960 г.: «Дом Балди это попытка объединить самую ясную и наиболее определенную из грамматик современного стиля — неопластицизма — с историческим наследием архитектурного языка города Рима. Другими словами, эта попытка отталкивается от желания объединить учение ван Дусбурга и Ритвельда с Борромини: в одной руке, свободный план и разъединение частей, в другой — кривизна как элемент, который позволяет нам воздействовать на пространство, сжимая или растягивая его». Он говорит о единстве своей архитектурной и дизайнерской концепции: «Мебель, спроектированная для дома, показывает попытку сделать ту же самую вещь в меньшем масштабе, попытку сделать современный язык, могущий символически выразить привычные ценности; не форма, которая механически следует за функцией, но форма, могущая праздновать функцию, рассказать ее поэтически...».

Роберт Вентури недаром начал свою деятельность как дизайнер. Его творческая манера отличалась широким применением коллажных композиций, направленных на остроту восприятия заезженных архитектурных тем. Он «коллекционировал» формы нарушения композиционных правил и на этой основе создал свой ордер. Вентури заочно полемизировал с Ле Корбюзье, Л. Мисом ван дер Роэ и другими основоположниками современной архи-

тектуры. Его интересовали барокко и маньеризм — тоже в аспекте нарушения правил Ренессанса. Он разработал большую серию стульев, высмеивая традиционные мебельные стили («Людовик XV», «Людовик XVI» и пр.), в которых свободно трактовал декоративность исторической стилистики, абсолютно не придерживаясь оригинала. История для Вентури только предлог для компоновки ранее неприменимых в современной архитектуре форм.

Майкл Грейвз учился не только в США, но, как и Вентури, в Риме. В 1981 г. он начал разрабатывать проекты вещей для итальянской группы «Мемфис», а с 1982 г. стал одним из главных дизайнеров фирмы «Алесси».

В 1982 г. вместе с другими известнейшими архитекторами он сделал свой вариант сервиза для «Алесси». Архитектор использовал здесь, помимо литого серебра, слоновую кость и бирюзу. Несмотря на цену в 25.000 долларов, его сервизов сразу же было продано более четырехсот штук. После этого успеха «Алесси» начала экспансию на американский рынок, привлекая Грэйвза как дизайнера, с тех пор он долгое время был менее известен как архитектор и проектировал предметы для фирм «Таргет» (бытовая электроника и посуда) и «Клето Мунари» (ювелирные изделия), а также для многих других фирм в США, Европе и Японии. В 1994 г. он открыл в Принстоне свой магазин Graves Design Store.

Главная особенность дизайна М. Грейвза — это архитектурные образы, наложенные на самые обыденные вещи, или превращенные целиком в игрушечное сооружение. Сервизы, часы, вазы представляют собой композиции с колоннами и антаблементом. Множество вещей подобного характера создал американский зодчий Стэнли Тайгерман: — кресла из трансформированных колонн всех основных ордеров, серьги в виде ионической капители, разрезанной пополам, браслет-колоннаду.

Итак, целое поколение зодчих постмодернизма, сделавших интерьеры и элементы оформления городской среды, сервизы, часы, ювелирные изделия для известных коммерческих фирм, высказало в дизайне свое понимание дальнейших путей развития архитектуры. Кульминацией этого процесса можно считать 15-е Триеннале в Милане и особый успех фирмы «Алесси» (1982—1983). К этому времени стало ясно, что к единой эстетике, к одному профессиональному языку американские и итальянские архитекторы пришли с разных сторон. Итальянцы эпатировали публику, а американцы, такие как М. Грэйвз, Р. Вентури, Ч. Дженкс, С. Тайгерман, делали популистский дизайн. Итальянцы переосмыслили авангард, наследие Баухауза и дизайнерской школы в Ульме, стиль 1930-х гг. и даже барокко. Для американцев же ар-деко было самым популярным и жизненным из наследия. Они акцентировали этот стиль, делая доступным и соединив с поп-артом.

В итоге можно сказать, что дизайн архитекторов это в первую очередь поиск и разработка нового архитектурного языка на основе особой аналитики. Образ объекта проектирования, будь-то предмет мебели, быта, или здание, подвергался разрушению, то есть, будто, переставал существовать, был разобран на части, разбит, растворен, перекрашен... Зритель вовлекался в игры «угадай, что это на самом деле», требующие знания специфического контекста. Именно архитекторы-эрудиты создали ряд ключевых произведений дизайна такого типа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Radice. Memphis — Research, Experiences, Results, Failures and Successes of New Design. Milano : Rizzoli, Gruppo Editorial Electa, 1984.
2. *Fiell C. & P.* Design of the 20th Century. Köln : Benedikt Taschen Verlag, 1999.
3. *Bulegato F., Polano S. Michele de Lucchi.* Milano : Electa, 2004.
4. *Alessandro Mendini.* Design and Architecture. Edited by P. Weiss. Milano : Electa, 2001.
5. *Kollins M., Papadakis A.* Post-Modern Design. London : Academy Editions, 1989.
6. *Jencks Ch.* The New Paradigm in Architecture. The Language of Post-Modernism. New Haven and London : Yale University Press, 2002.
7. *Швидковский Д.* Символический дом Чарльза Дженкса // Современный дом. 2002. № 8. С. 42—47.
8. Paolo Portogesi designer: Cura e testi C. Di Stefano, D. Scatena con un'autoversia di P. Portogesi. Roma : Diagonale, 1998.
9. *lovine, J. Michael Graves / Edited by M. Bartolucci, R. Cabra.* San Francisco : Chronicle books, 2002.

© Васильев Н.Ю., 2007

УДК 711.13(470.45)

**А.И. Соколов, И.И. Соколов**

## **НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАССЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГА РОССИИ**

Обозначены основные проблемы организации расселения на территориях Юга России, потребности населения в системе рекреационных территорий.

Определены основные принципы методики организации модели пространственного планирования рекреационных территорий.

The article indicates the main problems of settings on the territories of The South of Russia and the demands of the population of the South of Russia in the system of recreational zones.

The paper provides principles of modeling the space design of recreational zones.

Организации расселения на рекреационных территориях сталкивается с рядом трудностей и проблем. Расселение и миграция в настоящее время происходят по принципу сосредоточения мест приложения труда и их полифункциональной насыщенности, в условиях России фактор наличия высокой заработной платы играет решающую роль, фактор здорового образа и продолжительности жизни в условиях смены экономической формации уходит на второй план, большая часть населения работает на износ. Обостряются заболевания, называемые «болезнями цивилизации»: сердечнососудистые заболевания, сахарный диабет, заболевания нервного характера, как следствие увеличения медицинских расходов, которые в условиях России доступны не всем. Наблюдаются следующие тенденции:

ухудшение здоровья нации, злоупотребление спиртными напитками, высокая смертность населения;

усиление криминальной обстановки в связи с потерей рабочего места по состоянию здоровья и отсутствием другой возможности к существованию, происходит в местах увеличения плотности скопления населения.

В настоящий момент не происходит формирование комфортной и благоустроенной жизненной среды. Отсутствует концепция пропаганды здорового и активного образа жизни, неотъемлемой частью которого являются кратковременные или длительные виды отдыха, территории, потенциально пригодные для рекреационных целей, оккупируются промышленными предприятиями или высокоплотной жилой застройкой, что увеличивает вероятность усиления криминальной обстановки.

Большую часть проблем, обозначенных выше, возможно решить, опираясь на принципы теории пространственного планирования территорий:

человек — мера всех вещей,

здоровье человека — залог существования и развития нации,

здоровье человека должно оберегаться и улучшаться на протяжении всей его жизни, не зависимо от места работы и его социального статуса,

прогнозирование, предотвращение заболеваний и профилактика здоровья человека — основа продолжительности жизни, качественного труда и улучшения генофонда нации.

На этих основных принципах построена теория пространственного планирования территорий.

Оздоровление и улучшение состояния организма человека происходит за счет гармонии его взаимоотношений с природным окружением, что подчеркивает его природное начало и приводит к выводам, что рекреационная функция первична в теории пространственного планирования, вместе с тем она подвержена деградации, требует продолжительного восстановительного периода, может служить стержнем каркаса расселения.

На основе размещения рекреационных территорий, их емкости и потенциала происходит формирование основных направляющих коммуникационного каркаса. Сеть автодорог и железнодорожных магистралей должна быть самого высокого качества и обеспечивать возможность скоростного передвижения грузопассажирских потоков. В переходе в новую экономическую формацию самым дорогим товаром становится время, и экономия времени есть экономия значительных денежных средств, которые можно инвестировать в социальную сферу. Концентрация промышленных предприятий в одном месте не рациональна, наносит непоправимый ущерб территории дислокации, окружающей среде, не обязательно ее размещение в зонах добычи полезных ископаемых. Транспортные затраты соизмеримо ниже средств, которые будут затрачены на реабилитацию здоровья работающего населения. Высокоплотная застройка актуальна лишь в местах скопления торговых, деловых и производственных функций и нерациональна в жилищном строительстве. Высокоплотная застройка возникает в результате стремления человека быть приближенным к полифункциональному ядру в связи с отсутствием или недостатком функций в других местах или их длительной транспортной доступностью. Высокоплотная застройка способствует приобретению ряда «болезней цивилизации», обострению стрессовой ситуации, ухудшению микроклимата и усилению криминальной обстановки. Оптимальным вариантом является малоэтажная застройка, или застройка коттеджного типа с наличием индивидуального участка земли, комплексом функций культурно-бытового обслуживания и развитой сетью скоростных магистралей, как к месту приложения труда, так и к общественному центру поселения.

Промышленные предприятия должны быть вынесены за границы поселения по степени экологического загрязнения и характеру производства, по площади занимаемой территории с учетом площадей перспективного развития и находиться в пределах получасового, часового радиуса доступности, иметь избыточное количество парковочных мест для частного автотранспорта, инфраструктуру общественного питания, изолированные подъездные пути частного автотранспорта и промышленного, доставляющего сырье и производимую продукцию.

В целях улучшения состояния условий проживания и рекреации необходимым является:

- развитие рекреационной функций *как основной* в теории пространственного планирования, являющейся стержнем каркаса расселения;
- формирование селитебных территорий на границах рекреационных зон;
- малоэтажная или коттеджная застройка с выделением индивидуального земельного участка;
- увеличение набора функций обслуживания селитебных территорий;

размещение промышленных территорий в зонах, непригодных для селитебного и рекреационного использования;

развитие инфраструктуры высокоскоростного передвижения товаров, услуг и доступа трудовых ресурсов — основы экономии личного времени, снижении возникновения стрессовых ситуаций;

осмысленная политическая поддержка программ, направленных на улучшение экологических и социальных условий проживания населения.

Потребности населения Юга России в системе рекреационных территорий постоянно возрастают. Анализ рекреационной избирательности населением мест и видов отдыха выявил атрактивные места и виды отдыха, сезонную избирательность и наполняемость существующего фонда рекреационных учреждений. Существующие организованные рекреационные территории не справляются с рекреационными нагрузками, в основном имеют ориентацию на длительные стационарные виды отдыха. Не уделялось должного внимания кратковременной рекреации, в связи с чем отсутствуют система рекреационных территорий и система учреждений кратковременного отдыха.

Существующие площади рекреационных территорий не соответствуют нормативным показателям.

Потребности населения Юга России в местах массового отдыха будут увеличиваться, организация системы рекреационных территорий, выделение рекреации, как первичной градообразующей функцией позволит улучшить качество жизни населения, экологию, ситуацию в здравоохранении путем предотвращения болезней стрессового характера, нервных расстройств.

В результате попираания законов происходит несанкционированное наступление промышленно-селитебного комплекса на природные территории, приводя их к полной или частичной деградации.

Основные принципы методики организации модели пространственного планирования рекреационных территорий должно основываться:

на анализе исторических факторов, повлиявших на формирование территорий;

определении этапов градостроительной эволюции территорий;

определении факторов, тенденций, оказавших определяющее значение в процессе этапов градостроительной эволюции территорий;

определении национальной политики в области рекреации;

анализе эволюции приоритетов социальной политики общества на каждом этапе градостроительной эволюции территорий;

определении существующего баланса территорий;

экологическом мониторинге территорий;

определении транспортно-коммуникационного каркаса территорий, степени его разветвленности (плотности), мест прохождения его основных направляющих, зон влияния и степени комплексного ущерба, наносимого им;

определении социальных потребностей населения;

определении существующего состояния рекреационных территорий;

определении благоприятных территорий с превалированием рекреационного фактора;

выявлении превалирующих направлений передвижений населения на данных территориях, с целью закрепления их ветвями (основными направляющими) коммуникационного каркаса;

перераспределении и/или переносе, выносе селитебных и промышленных функциональных зон из сложившихся систем расселения;  
организации обоснованной планировочной структуры на основе перво-степенной функции рекреации;  
выделении территорий и закреплении за ними статуса территорий перспективного развития.

Комплексное использование основных принципов организации модели пространственного планирования рекреационных территорий, совершенствование системы управления устойчивым развитием и функционированием территорий позволит повысить экологическую устойчивость территорий, усилить их рекреационную составляющую — основу оздоровления и функционирования жизни общества.

© Соколов А.И., Соколов И.И., 2007

УДК 332.122.62:338.48+711.13(470.45)

**Ю.В. Чернявский, В.Ф. Сидоренко**

## **ВЛИЯНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НА СОСТОЯНИЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

По данным анализа социально-экономического состояния Волгоградской области выделен приоритет развития инфраструктуры социально-культурного сервиса, одного из главных компонентов градостроительных условий, раскрыты возможности территории по предоставлению круглогодичного отдыха и санаторно-курортного обслуживания, приведены возможные варианты прохождения процесса социально-экономического развития градостроительства региона в зависимости от возможных инвестиций, взаимодействия центра страны с регионом и общей экономической политики в сфере социально-культурного сервиса, с привлечением инвесторов в строительство новых градостроительных комплексов.

Analysis of social and economic conditions of the Volgograd region indicated the priority in development of social and cultural service infrastructure as one of the major component of the town planning. It reveals ways of providing all-year recreational services; and provides different schemas of the region development depending on the investment level, interaction of local and central government, and general economic policies in social and cultural services. The analysis considers involvement of investors into new city constructions.

Основная роль в стратегии социально-экономического развития России принадлежит региональному развитию отраслей производства. В каждом регионе индивидуальная специфика сложного взаимодействия социально-экономических, демографических, территориальных и природно-экологических структур формируется на естественно-историческом каркасе данной местности. Повышение эффективности состояния градостроительной отрасли регионов вызовет стимулирование образования прямых внешнеэкономических и социально-культурных связей. Комплексный анализ современной социально-экономической ситуации в градостроительстве Волгоградской области позволил выделить приоритеты стратегии развития сети социально-культурного сервиса и туризма. Это определяет необходимость формирования оптимального градостроительного режима развития благоприятных условий для туризма и индустрии гостеприимства. Одним из главных приоритетных направлений региональной экономической политики должно быть развитие инфраструктуры социально-культурного сервиса на межведомственной основе [2].

Социально-культурный сервис является одной из составляющих градостроительной отрасли, которая представляет собой сложный объект, формирующийся из взаимосвязанных социальных систем. Для выработки стратегической цели оптимального поведения по развитию социально-культурного сервиса области необходимо комплексное исследование современного социально-экономического состояния. До настоящего времени социальная ориентация, то есть учет региональных ситуаций, характеризующих уровень и качество жизни населения, — наименее учитываемый фактор при разработке целевых научных программ экономического развития.

Градостроительство влияет на все стороны материальной и духовной жизни общества, формирует среду общественной жизни и определяет первоочередность социальных задач. Большую часть широкой синтетической градострои-

тельной деятельности составляет анализ современных социально-экономических показателей, являющийся основой для принятия градостроительных решений и классификации градостроительных задач [5].

Динамика реального уровня потребления социальных благ, длительности жизни, параметров физического и духовного развития, образованности формирует главные результирующие показатели социально-экономического развития территории. При доминировании социальной ориентации градостроительства для обеспечения оптимального развития общества необходимо учитывать сбалансированность с природными, рекреационными, экономическими и другими ресурсами территории.

Задачи планирования социально-культурного сервиса и туризма взаимосвязаны с градостроительными условиями и их решение напрямую зависит от экономической базы региона. Перспективы социально-экономического развития территории могут быть представлены в виде научно обоснованной градостроительной программы, включающей мероприятия по практической реализации стратегии социальной направленности роста жизнеобеспечения населения. При разработке стратегии социально-экономического развития региона необходим комплексный анализ природно-ресурсного, экономического, научно-технического, социально-культурного потенциалов.

Комплексный подход к анализу современных экономических процессов на территории Волгоградской области позволил выявить следующую ситуацию. Градостроительные условия можно оценить как удовлетворительные. На территории области высокий уровень обеспеченности жильем, газификации сельских населенных мест. На территории развиты все виды транспорта, большая часть имеет высокий уровень транспортной доступности. Через область проходят основные железнодорожные, автомобильные, авиационные и водные пути, связывающие ее со всеми регионами России и странами СНГ.

На территории области, занимающей удобное политико-географическое положение, при благоприятных природно-климатических условиях, достаточно сложная демографическая ситуация, сопровождающаяся сокращением естественного прироста населения, трудоспособного населения и его старением. В настоящее время в Волгоградской области в 2...2,5 раза ниже, чем в сопредельных областях, плотность сельского населения, количество поселков городского типа на единицу территории.

В то же время по своему промышленному потенциалу Волгоградская область занимает одно из ведущих мест среди областей Поволжья и в Южном федеральном округе. В структуре промышленного потенциала более 80 % составляют отрасли тяжелой промышленности. Отрасли легкой промышленности, имеющие социальную ориентацию, составляют менее 20 %, что значительно ниже, чем в сопредельных субъектах РФ.

Такое развитие производства требовало интенсивного использования природных и трудовых ресурсов, что привело к концентрации производственных сил и населения в областном центре и зоне его влияния, к нарушению экологии природной среды, дисбалансу социального состояния на территории.

Экономическая система Волгоградской области в настоящее время продолжает терять комплексность развития. Изменения в политической структуре страны привели к снижению уровня градостроительного обеспечения и нарушению прежней системы социально-культурного и бытового обслуживания на-

селения. Актуальность восстановления и дальнейшего развития системы предприятий социально-культурного сервиса и туризма региона возросла и в связи с изменениями в общей геополитической обстановке России. Произошли потери традиционных курортно-рекреационных зон в Прибалтике, Крыму и на Кавказе. Рекреационные ресурсы Волго-Ахтубинской поймы и зон реки Дона мало использовались на местном уровне и не были в достаточной степени задействованы в санаторно-курортном и туристическом обслуживании страны.

Одновременно с усилением социально-экономической напряженности во многих районах и городах, на территории области возрос нерегулируемый поток неорганизованных туристов, который наносит ущерб не только природной среде, но и экономике региона. Такое положение усиливает необходимость формирования более полной сети современных объектов сервиса и туризма для контроля над антропогенными нагрузками и создания комфортности обслуживания отдыхающих [3, 5].

Преодоление кризисных процессов в градостроительной отрасли регионов возможно на основе глубокой теоретической разработки концепции развития социально-культурного сервиса и туризма применительно к каждому конкретному региону.

Волгоградская область представляет собой естественно историческое объединение, единую комплексную систему социальных, производственных, природных и исторических объектов и внутренних ресурсов, и обладает уникальными природно-климатическими, минерально-сырьевыми, рекреационными и бальнеологическими ресурсами. На ее территории сосредоточено большое количество объектов культового зодчества разнообразных конфессий и различных исторических периодов. В городах и поселках сохранились уникальные архитектурно-исторические памятники гражданского и промышленного строительства XVIII—XIX вв.

В отличие от западноевропейской части России, на юге еще существуют многочисленные уникальные уголки естественной природной среды, объявленные памятниками природы, а также археологические и палеонтологические объекты. Объекты духовной культуры, природно-исторические и военно-патриотические памятники охраняются государством, но практически не задействованы в системе туризма и культурно-познавательного сервиса.

На территории области сконцентрировано большое разнообразие бальнеологических ресурсов (минеральные воды различного состава, соли, лечебные грязи и др.), которые весьма ограниченно используются в курортно-санаторном направлении. В тоже время, система курортно-санаторных учреждений в регионе опирается на вековую традицию развития, но при этом обладает низким уровнем комфорта учреждений и малым количеством мест.

Современная система социально-культурного сервиса развивается медленно, за последние десятилетия созданы единичные курортно-санаторные и другие объекты отдыха. В тоже время существующие учреждения рекреации располагаются на культурно-историческом каркасе области, что предоставляет объективную возможность расширения сети сезонной рекреации туристическими маршрутами.

Система туризма области, существовавшая несколько десятилетий и опиравшаяся на военно-патриотические объекты, в настоящее время функционирует слабо и не использует возможности организации новых и воз-

рождения прежних туристических маршрутов. Ресурсные рекреационные возможности области многократно превосходят своим потенциалом функционирующие предприятия. Такое несоответствие в использовании ресурсов и их объемов объясняется сложившейся социально-экономической ситуацией, развитием новых государственных и региональных политико-экономических процессов.

Опираясь на базу существующих объектов социально-культурного обслуживания, необходимо предусматривать расширение этих предприятий по формам собственности, конструктивным системам и уровню комфортности. В настоящее время учреждения отдыха представляют собой два основных типа: для длительного отдыха (санатории, дома отдыха и др.) и кратковременного (базы выходного дня, спортивные лагеря и др.). Санатории располагаются вблизи бальнеологических ресурсов и в зоне влияния областного центра, с количеством мест около 2,5 тысяч, что почти в два раза меньше нормативного обеспечения жителей области. В тоже время бальнеологические ресурсы могут обеспечить лечение и отдых не только местного населения, но и жителей других регионов страны и иностранных туристов.

Изучение и анализ современного состояния сферы социально-культурного сервиса и социально-экономического положения региона позволяет предполагать несколько возможных вариантов дальнейшего развития (табл. 1).

Первый вариант возможен при финансовой поддержке федеральным правительством преимущественного физико-географического и социально-территориального положения Волгоградской области над другими регионами России. Это может обеспечить кратковременную поддержку в развитии, которая не в состоянии обеспечить системность функционирования объектов социально-культурного сервиса и туризма.

Другой вариант развития возможен при активизации социально-экономической жизни в регионе, связанной с ее уникальными ресурсными и геополитическими возможностями и дополнительным инвестированием на федеральном уровне. Улучшение формирования системы социально-культурного сервиса и туризма произойдет при поддержке кредитно-налоговой политики и взимании платежей за ресурсы, используемые экономически активными добывающими предприятиями и промышленностью, в региональный бюджет.

Наиболее оптимальным представляется вариант, базирующийся на созидательном использовании преимуществ уникальных рекреационных, культурно-исторических и бальнеологических ресурсов области, стимулировании развития предприятий сервиса и товаропроизводителей по переработке сельхозпродукции в периферийных районах региона, что способствует более полному использованию природно-ресурсного потенциала. Этот вариант развития предполагает взаимосвязь региона с социально-экономической политикой страны в целом по выводу из кризиса экономики, культуры и социально-экономического состояния населения. Реализация такой политики должна быть взаимно увязана администрацией субъектов региона с федеральным правительством по регулированию инвестиционного и миграционного поведения всех социально-территориальных групп населения, при приоритете развития туристско-рекреационной отрасли.

Влияние инвестиционных возможностей на социально-экономическое развитие Волгоградской области

Варианты финансового состояния	Сохранение существующего положения	Частичные инвестиционные вложения	Централизованное инвестирование	Оптимальное социально-экономическое развитие
Этапы реализации	Реализация отсутствует	Эпизодическая реализация отдельных мероприятий и решений	Целенаправленная реализация по решению узловых проблем	Планомерная реализация концепций устойчивого развития и социально-экономических, технологических и природоохранных программ
Социально-экономическая ситуация и варианты реализации территориально-градостроительных мероприятий	Усиление хозяйственного освоения экологически ценных территорий области, особенно в агломерации и приагломерационном районе; усиление нарушений природоохранных и санитарных режимов защитных зон разного назначения; дробление крупного промышленного и сельского производства; уменьшение централизованных решений крупных социально-экологических проблем, возникших от монопольной нагрузки; дальнейшее разрушение системы туризма и социально-культурного сервиса	Усиление хозяйственного освоения проблемных экологических ареалов на базе существующего производства и социально-экономической, инженерной инфраструктур с возможным превышением их мощностей; выборочная реконструкция экономически выгодных предприятий повышенного класса вредности; разрастание Волгоградской агломерации со значительным опережением возможностей инженерно-технической инфраструктуры; усиление территориально-градостроительных нерегламентированных нагрузок на экологически ценные территории; социально-культурный сервис сохраняется на существующем уровне	Сокращение наращивания антропогенной нагрузки; реконструкция устаревших производственных технологий и достижение лучших экологических характеристик; реконструкция и наращивание природоохранной инженерной инфраструктуры, оздоровление селитсных территорий; замедление роста агломерации и сокращение новых нагрузок на санитрующие территории; развитие межрайонных центров областной системы расселения с учетом экологических ограничений; развитие отдельных объектов туризма и социально-культурного сервиса	Организация системы охраняемых территорий области; реконструкция существующих и строительство новых объектов социально-культурного сервиса; сокращение загрязнения в связи с внедрением замкнутых технологий в промышленности; экологически обеспокоенное ведение сельского хозяйства; развитие социальной и инженерной инфраструктуры, направленной на рекреационные зоны, санаторно-курортную деятельность и системы туристского обслуживания; реконструирование и развитие всех городов — опорных центров областной системы социально-культурного сервиса с учетом экологических ограничений

Потенциальными инвесторами развития туристско-рекреационных и бальнеологических комплексов на территории области являются: государственный пенсионный фонд, негосударственные пенсионные фонды, бюджеты и иные фонды субъектов РФ, федеральный бюджет РФ, страховые компании, паевые инвестиционные фонды, инвестиционные банки, физические лица РФ и иных государств, коммерческие организации РФ и иных государств [1, 4].

По существующему положению в градостроительстве обеспеченность местного населения местами отдыха и лечения относительно норматива (4,5 тыс. мест) составляет немногим более половины (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

*Динамика количества мест в учреждениях длительного отдыха  
Волгоградской области  
(данные ФСГС по Волгоградской области, 2006 г.)*

	1980	1985	1990	1996	2000	2005
Санатории и дома отдыха, количество	14	14	15	12	14	19
Общее количество мест	2175	2254	2574	2129	2324	2500
В т.ч.: детских	960	875	960	800	800	960
взрослых	1215	1379	1614	1329	1524	1540

Развитие индустрии гостеприимства оказывает значительное влияние не только на улучшение градостроительных условий, но и на экономический рост, особенно эффективно, если строительство новых объектов происходит в слабо развитых районах.

Социальная ориентация экономического развития дает возможность повышения устойчивости развития общества за счет повышения продолжительности жизни при хорошем здоровье и оптимальном режиме духовного состояния посредством отдыха, оздоровления и культурно-познавательного направления туризма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Бюджет фонда социального страхования на 2005 год. Статья 4. М., 2004.
2. Сидоренко В.Ф. Рекреационные ресурсы в системе экологически устойчивого развития Волгоградской области / В.Ф. Сидоренко, Т.А. Чернявская, Г.А. Птичникова // Сертификация, экология, энергосбережение : материалы Междунар. Науч.-практ. конфер., Турция, Кемер / ВолгГАСА. Волгоград, 1998. С. 28—30.
3. Сидоренко В.Ф. Стратегия социально-градостроительного развития регионов России / В.Ф. Сидоренко, Ю.В. Чернявский, Т.А. Чернявская // Архитектура, строительство, экология. Материалы МНПК. Волгоград : ВолгГАСА, 2002. С.58—60
4. Федеральный закон «О федеральном бюджете на 2005 год». М., 2004.
5. Чернявский Ю.В. Социологическое исследование градостроительного развития Волгоградской области // Вестник Волгогр. Гос. архит.-строит. академии. Сер.: Стр-во и архит. 2002. Вып. 2 (5). С. 86—91.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА**

УДК 712.4:721.011.72

**Т.Г. Иванова**

### **КОМПОЗИЦИОННО-ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ СВОЙСТВА СРЕДСТВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ДВОРОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО РЕЛЬЕФА**

Рассмотрены особенности восприятия и трансформации существующих композиционно-художественных средств: ландшафтных посадок (газоны, живые изгороди, цветники) и малых архитектурных форм (перголы, трельяжи, беседки, фонари, скамьи, дорожки, лестницы и пандусы) озеленения дворовых территорий в сложных орографических условиях. Выявлены пути и возможности изменения этих средств для оптимизации условий жилых пространств.

At that time there are many publications about courtyard greens wideness, but all of them was stalling for territories, which have not bright expressive relief. This offering article has examinations specialties of receiving and transformation the real composition and artistically relationships: landscape settings (gasons, quickset hedges, flower beds) and small architectural forms (trellis-works, powers, lanterns, benches, stairs) by courtyard greens territories in compound orographical conditions. Aim of this article is to pass thought the ways and possibility of modifications this relationships for optimizations of conditions by courtyard territories.

В настоящее время существует множество композиционно-художественных средств озеленения дворовых равнинных территорий, которые помогают разнообразить и улучшить с эстетической и художественной точек зрения облик жилой застройки. Однако сложный рельеф обладает определенными композиционными свойствами и особенностями, оказывающими влияние на условия восприятия, экологические и художественно-эстетические качества этих средств. Автор в данном исследовании рассматривает возможные пути их трансформации в сложных орографических условиях.

Дворовая территория является местом коллективного отдыха жильцов. При интенсивных антропогенных нагрузках возникает утрата природного своеобразия жилой территории. В большинстве случаев во многих жилых районах дворовое пространство представляет собой композиционно-неорганизованную территорию, которая не всегда отвечает истинным запросам человека. Однако, необходимо стремиться к тому, чтобы она создавала удобную и уютную среду, где пространство и человек не должны диссонировать.

Композиционно-художественные средства способны смягчить и урегулировать конфликтную ситуацию, устранить психологический дискомфорт, а так же сделать дворовое пространство экологичным и наполнить его эмоционально-художественным содержанием.

1. Ландшафтные посадки (газоны, цветники, живые изгороди). Газоны — участки территории с естественным или искусственным травяным покровом, занимающие территории свободные от проездов, площадок и построек. Газоны оказывают благоприятное воздействие на человека, поглощая пыль, снижая уровень шума и температуру воздуха [1]. Для того чтобы в полном объеме выполнять свои функции, газоны должны быть ровными, однородными по цвету. В настоящее время все большую популярность приобретают газоны с невытаптываемой травой, которые предназначены для отдыха, пикников, хождения босиком.

В отличие от равнинных территорий на рельефе по проведенным натурным исследованиям, газоны трансформируются в *откосы* и *склоновые территории*. Откосы позволяют выявить пластику рельефа и подчеркнуть его выразительность (рис.1, 2). В направлении падения уклона рельефа газоны способствуют раскрытию перспективы восприятия и подчеркивают глубину озеленяемого пространства, в сторону повышения они могут исказить форму покрытой им территории.



Рис. 1



Рис. 2

Склоны вносят дополнительные и интересные особенности в участки дворовых территорий, дают более широкие возможности применения горных и каменистых садилов и ручьев. Существует два вида склоновых территорий: повышающиеся и понижающиеся.

*Живые изгороди* — кустарники или деревья, высаженные в один или несколько рядов на близком расстоянии друг от друга [2] по границам площадок, участков или вдоль проездов. Они оказывают положительное влияние на микроклимат, санитарные и эстетические качества, скрывая недекоративные элементы, а так же защищают от вытаптывания и механического воздействия придомовые территории. Изгороди бывают низкие (высота 30...40 см), средние (высота 1...1,5 м) и высокие (высота 1,5...2 м), однорядные и двурядные [3]. Ширина одного ряда 60...100 мм.

Проведенные автором исследования показали, что в условиях сложного рельефа, когда живые изгороди высажены поперек и вдоль склона, может изменяться их форма и тип стрижки, подчеркивающий наклонный характер территории (рис. 3). Иногда для их устройства могут потребоваться террасы.

При рядовой посадке вдоль склона форма живой изгороди не меняется, но при этом она служит визуальной преградой для обозначения границ откосов

(рис. 4). В данном случае значительную роль в восприятии живых изгородей играет высота растений. Когда они находятся ниже уровня глаз, они не ограничивают обзор, пространство воспринимается как открытое; выше уровня глаз — пространство воспринимается более замкнутым. Если ряды изгороди высажены вверх по рельефу, это способствует их видовому раскрытию, появляется многоплановость, видна конфигурация и направление. Если они ниспадают вниз, возникает искажение восприятия, видимость изгороди сокращается.



Рис. 3



Рис. 4

В случае, когда изгороди высаживаются по периметру территории, рельеф способствует раскрытию конфигурации плана (рис. 5), максимально подчеркивает основные направления организации пространства. Если растения высажены вниз по рельефу, тогда исчезает видимость, искажается и сокращается форма изгороди (рис. 6, 7). На сложном рельефе территория может быть разбита на несколько террас, или может иметь значительный уклон. В таком



Рис. 5

случае эффект восприятия будет зависеть от высоты изгороди и ширины образованных террас. Если высота ограждающих насаждений и рельефа преобладает над шириной пространства, возникает эффект зажатости, человек будет чувствовать себя в таком пространстве неуютно. Когда высота ограждения не превышает ширину пространства, рельеф будет способствовать тому, что пространство приобретет панорамное рас-

крытие. Форма живых изгородей в сложных орографических условиях ломается и искажается.

Цветники — декоративно-композиционное средство, из красиво цветущих однолетних и многолетних растений, помогающее украсить, разнообразить и организовать дворцовое пространство [2]. Цветники бывают регулярными (бордюры, клумбы, рабатки, арабески, модульные цветники), ландшафтными или пейзажными (рокарии, альпинарии).



Рис. 6

В условиях города Владивостока *клумбы* могут располагаться на террасах или откосах, декорируя их, делая более интересными. В отличие от клумб без рельефа, они не требуют возведения специальных устройств или использования разных по высоте растений для большей выразительности всех составляющих клумбы. На рельефе она как на ладони (рис. 8).



Рис. 7



Рис. 8

ний создаются наиболее благоприятные условия. Таким образом, клумбы придают большую декоративность подпорным стенкам. Они могут выступать в качестве акцентов, вводя цветочные контрастные пятна, создавать интересные композиционные элементы, разбивая стену на несколько уровней. Использование разнообразного колористического решения позволяет добиться различного психологического эффекта, при котором одни цвета придают торжественность, другие успокаивают, третьи производят обратный эффект.

Анализ существующей застройки показал, что на рельефе конфигурация *бордюров* и их расположение полностью зависят от условий размещения самой клумбы. Они так же могут подходить для декорирования откосов. Располагаясь вдоль или поперек верхнего или нижнего контура откоса, бордюр отделяет откос от остальной озеленяемой территории.

Исследования показали, что *рабатки*, цветники, располагающиеся вдоль аллей, дорог, улиц, зданий на рельефе, как и *клумбы*, приобретают панорам-

ное раскрытие, видна их конфигурация и декоративный рисунок, из-за того, что они высаживаются на поверхности откосов или склоновых территорий. Если рабатки высаживаются по контуру дорожек, которые поднимаются или спускаются по рельефу, они становятся ее своеобразным цветовым оформлением, повторяя все изгибы и повороты.

Высокие (приподнятые) клумбы — это более приемлемый способ размещения растений на мощеных участках, так как помимо декоративного и практического они имеют и функциональное значение. В них быстрее нагревается почва, в которой за счет этого поддерживается хорошая аэрация и не застаивается излишняя влага. Данный вид цветников позволяет высаживать растения ярусами [5].

В сложных орографических условиях, приподнятые клумбы не требуют устройства специальных лотков, они могут применяться для декорирования откосов и подпорных стен. При этом откос или стенка разбиваются на несколько ярусов, небольших террас или ступеней и включают цветочно-декоративные растения.

*Арабески* — цветники красивой извилистой формы, располагающиеся на стриженном газоне — на рельефе схожи с клумбами, бордюрами или рабатками, и служат для озеленения откосов и склоновых территорий, при этом, извилистая форма арабесок воспринимается целостно, раскрывается и приобретает больший декоративный эффект. Однако, при восприятии с нижних отметок рельефа они могут перекрываться вышележащими формами рельефа.

*Модульные цветники*, располагающиеся на месте вынутых из замощенного участка плит, подходят для озеленения территорий перед домами и могут складываться в интересный рисунок различной конфигурации [2]. По результатам авторских исследований, на рельефе модульные цветники применяются только на горизонтальных вымощенных террасах. На наклонных участках их применение исключается или требует устройства специальных конструкций для фиксации плит.

*Вазоны и контейнеры* в условиях южного Приморья не могут располагаться на склоновых территориях, для них требуется устройство террас или ступеней. Выстраиваясь вверх по ступеням или ниспадая вниз вазоны, придают дворовой территории парадный и ухоженный вид, а так же служат акцентом перепадов различных уровней рельефа. Вазонами и контейнерами украшают подпорные стенки, откосы, лестницы, скамьи, тропинки и дорожки, входы в дома и т.д. (рис. 9).



Рис. 9

Наличие рельефа оказывает наибольший эффект при устройстве Каменистых садов (рокарии, альпинарии), они выглядят более естественно. Большое значение при устройстве альпинариев и рокариев имеет ориентация. Основной озелененный склон должен быть ориентирован на восток или северо-восток, хотя можно подобрать ассортимент растений, подходящих и для других ориентаций. Основным материалом каменистых

садов является камень, лучше всего подходит туф или известковые породы, а так же для них необходим особый набор растений [1, 2].

*Зеленые скульптуры* (топиарии) по мнению автора, лучше располагать на террасах, откосах или склоновых территориях. Это способствует возникновению многоплановости и возможности видового раскрытия и значительно улучшает вид жилой территории.

2. Малые архитектурные формы с включением зеленых насаждений (скамьи, лестницы, перголы, трельяжи, фонари, водные устройства, беседки, скульптурные композиции, вазоны)

По результатам авторских наблюдений, *перголы* в условиях сложного рельефа устраиваются над пешеходными дорожками, лестницами, пандусами, ими оборудуются придомовые площадки. Форма пергол может быть разнообразной, в зависимости от назначения, рельефа и формы площадки. Если конструкция перекрывает пешеходную дорожку, идущую вверх или вниз по рельефу, это позволяет организовать удобные и изолированные от внешней среды переходы создает многоплановую композицию и способствует более четкому выявлению пергол в структуре дворового пространства, а также позволяет подчеркнуть разноплановый характер рельефа. Если перголы применяются для оборудования площадок, которые разбиты на несколько террас, это создается интересная с эстетической точки зрения разноуровневая нарастающая композиция. С помощью пергол можно изменить характер пространства, сделать его открытым или замкнутым, более удобным и изолированным от внешней среды.

Для дворовых территорий на сложном рельефе *трельяжи* используются для декорирования подпорных стенок, для ограждения небольших сооружений, беседок, пергол и т.д. Если трельяжи выстраиваются поперек рельефа, они могут при этом иметь ступенчатую нарастающую или понижающуюся конфигурацию. Из нескольких решеток можно соорудить уголок или создать три стены, ограждающие от жаркого солнца, или отгораживающие хозяйственные площадки и технические сооружения, но на сложном рельефе для этого требуется устройство террас.

*Беседки* являются оборудованием площадок для отдыха, и должны быть простыми по форме и сравнительно небольшими по величине. Их иногда закрывают трельяжными решетками или делают глухими, если они не защищены живой изгородью, что служит хорошей защитой от ветра и шума [9].

В сложных орографических условиях, исходя из авторских наблюдений, во дворах беседки выгодно располагать на возвышенностях, на верхних точках рельефа, так как здесь возникают условия панорамного, видового раскрытия окружающего пространства. Для беседок обязательно устраиваются террасы.

Правильно запроектированная система освещения дает возможности восприятия дворовых пространств и элементов озеленения в темное время суток. *Фонари*, так же как и перголы служат опорой для вертикального озеленения, что позволяет внести декоративную составляющую и разнообразить дворовое пространство [10].

Фонари, обвитые лианами, как и рядовые посадки деревьев, могут идти поперек и вдоль горизонталей рельефа. Если они поднимаются по рельефу, это позволяет уменьшить эффект глубинности пространства, а если спускаются, то увеличить. В некоторых случаях из-за большой крутизны склонов и увеличения

угла видимости, выстроенные в ряд фонари перестают восприниматься зрителем, теряют многоплановость и скрывают перспективу от зрителя.

Скамьи являются важным элементом благоустройства жилой территории. Ими оборудуются почти все придомовые площадки. Известно множество видов и типов скамей, они могут выполняться из камня, дерева, металла, бетона, пластика и т.д. Скамьи могут иметь и более оригинальное решение: пенек спиленного дерева, поваленное дерево, что привносит индивидуальность в решение дворового пространства. Существуют грунтовые скамьи с травяным покрытием [11]. Скамьи могут иметь разную конфигурацию, решение и используемые для изготовления материалы, могут быть обиты красивоцветущими лианами, что придает им эстетическую выразительность и декоративность.

На рельефе в качестве скамей может выступать невысокая подпорная стенка, или же скамьи могут устанавливаться в нишах откосов (рис. 10).



Рис. 10

Дорожки предназначены для обеспечения связи между площадками и различными уголками двора, то есть играют роль коммуникаций. Основным правилом при проектировании дорожек является грамотная организация пешеходных потоков. Дорожки выполняются из разных материалов: дерева, бетона и бетонных плит, брусчатки, щебня, естественных и искусственных камней, асфальта и т.д. [9].

На рельефе дорожки, в зависимости от крутизны уклона, могут включать ступени или превращаться в серпантин. Применение растений для их оформления позволит придать большую акцентировку. Использование вазонов, расставленных по контуру или на основных изгибах и поворотах дорожек, позволяет сделать их более декоративными, выделить из общего контекста дворовой территории. Посадка деревьев или кустарников по периметру дорожек превращает их в аллеи. Растения в данном случае служат декоративным оформлением пешеходных и транспортных направлений.

Лестницы и пандусы устраиваются для преодоления перепадов рельефа (рис. 11, 12). Они расчлняют дворное пространство и делают его сомасштабным человеку.

Лестницы и пандусы должны быть безопасными [2]. Так же как и другие элементы благоустройства дворовых территорий, они нуждаются в декоративном оформлении, поэтому для



Рис. 11



Рис. 12

придания им живописности между ступенями высаживают неломкие травы, обрамляют подпорными стенками с вьющимися растениями, цветочницами, камнями в сочетании с декоративными растениями.

Рассмотрев существующие композиционно-художественные свойства средств озеленения жилых территорий, автор, выявил, что в условиях сложного рельефа они приобретают совершенно новое звучание. Построение композиции во многом зависит от положения наблюдателя. При восприятии ансамбля с верхних отметок объект воспринимается целостно, становится понятным общий композиционный замысел: направления, оси, акценты. Исчезает фрагментарность, интимность отдельных ландшафтных композиций, характерная для равнинных территорий. С другой стороны, при восприятии с нижних отметок эффект замкнутости, изолированности отдельных фрагментов композиции усиливается за счет включения больших участков наклонной поверхности земли. Отдельные элементы озеленения перекрываются формами рельефа, теряя свою композиционную значимость. Многие средства трансформируются и приобретают ступенчатую структуру, состоящую из террас, откосов и подпорных стенок. Все это должно учитываться при проектировании озеленения дворовых территорий в городской застройке на сложном рельефе и требует дальнейших разработок по созданию новых приемов организации композиционно-художественных средств.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Озеленение пришкольных участков / отв. ред. О.В. Храпко. Владивосток, 2003.
2. *Авадяева Е.А.* Энциклопедия русской усадьбы. М. : Олма-Пресс, 2000.
3. *Мишин С.А.* Современное планирование и дизайн дачного участка. СПб. : Регата, 2000.
4. *Луниц Л.Б.* Городское зеленое строительство. М. : Стриздат, 1974.
5. *Анисимова А.* Декоративные детали сада. Москва. : Ниола 21-й век, 2004.
6. *Питер Мак-Кой.* Практическая энциклопедия. Ландшафтный дизайн. Планирование, проектирование и дизайн приусадебного участка / Питер Мак-Кой, Т. Ивелей. М. : Росмэн, 2001.
7. *Уильямс С.* Искусство выращивания декоративных горшечных растений. Минск : Беларусь, 1996.
8. *Громова О.* Легкая, стройная, изящная // Сад своими руками. 2001. № 11. С. 31—35.
9. *Горбачев В.Н.* Архитектурно-художественные компоненты озеленения городов. М. : Высш. шк. 1983.
10. *Калюжнюк Г.* «Ночь. Сад. Фонарь. Аллея» // Ландшафтный дизайн. 2001. № 6. С. 51—55.
11. *Залесская Л.С.* Справочник архитектора. Озеленение городов / Л.С. Залесская, В.Д. Александрова. М., 1957. С. 149.

УДК 711.2:551(470.44/.47)+338.483.11(21)

**В.А. Антюфеев**

## **МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ОТДЫХА И ТУРИЗМА ДЛЯ УСЛОВИЙ ВОЛГО-АХТУБИНСКОГО ПОЙМЕННО-ДЕЛЬТОВОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Разработаны модели объектов отдыха и туризма для размещения на территории Волго-Ахтубинского пойменно-дельтового образования с целью усовершенствования сети рекреационных объектов, повышения комфортности отдыха, привлечения большего количества рекреантов из Волгоградской, Астраханской областей, других российских регионов, ближнего и дальнего зарубежья.

The author has modeled objects for recreation and tourism to be located on the territory of the Volgo-Akhtubinskaya flood-plain area in order to improve the network of recreation centers, to increase the level of service, to interest a great number of tourists from Volgograd, Astrakhan and other Russian regions, as well as from CIS and non-CIS countries.

Волго-Ахтубинское пойменно-дельтовое образование (ВАПДО) — это единая экологическая система, состоящая из северного изголовья поймы, ее средней части и низовья с дельтой, разделенная административно-территориальными границами Волгоградской и Астраханской областей. Волго-Ахтубинское пойменно-дельтовое образование — последний сохранившийся естественный участок речной долины реки Волги. Это уникальная природная территория среди пустынно-сухостепного комплекса Нижнего Поволжья. В мире известно лишь несколько мест, которые по масштабу и силе средообразующего воздействия схожи с Волго-Ахтубинским пойменно-дельтовым образованием. К ним относятся Шатт-эль-Араб, нижнее течение рек Гвадалквивир и По, а по масштабам аллювиального процесса пойму и дельту Волги можно сравнить с поймой Нила и Амазонки. Волго-Ахтубинское пойменно-дельтовое образование обладает богатыми *предпосылками для развития* сети объектов отдыха и туризма:

уникальные природные ресурсы (водно-болотные экосистемы, пойменные луга, парковые дубравы, галерейные пойменные леса, ключевая орнитологическая территория международного значения «Ахтубинское поозерье», памятники природы, заказники, места концентрации редких птиц, последние сохранившиеся естественные нерестилища осетровых пород рыб, самые северные в мире лotosовые поля в дельте Волги);

объекты историко-культурного наследия (археологические объекты — ставки ханов Золотой Орды, XIII в.;

благоприятные для рекреационных целей климатические условия (умеренно сухой и очень теплый климат, теплообеспеченность на уровне субтропиков Крыма, более благоприятные микроклиматические условия по сравнению с прилежащими городскими и пустынно-степными территориями).

В настоящее время объекты отдыха и туризма тяготеют к местам с наибольшей плотностью населения или расположены вблизи интересных природных территорий. Следовательно, ВАПДО в данный момент угрожают не абсолютные рекреационные перегрузки, а повышенная загруженность отдельных участков. Современное состояние объектов отдыха и туризма на

территории ВАПДО не отвечает потребностям населения и богатейшим возможностям региона. Существующие объекты обладают рядом *проблем и недостатков*:

- нерациональное использование природных ресурсов;
- неравномерное освоение территории ВАПДО;
- хаотичность застройки;
- раздробленность освоенной территории;
- дублирование обслуживающих сооружений и инженерных сетей;
- редко учитываются ландшафтные особенности местности;
- недостаточное количество объектов отдыха и туризма, расположенных на воде (в исследуемом регионе расположены уникальные пойменные и дельтовые территории, на которых следует делать акцент при освоении и создании сети объектов отдыха и туризма);
- невыразительность архитектурного облика.

Комплексный анализ мирового опыта проектирования и строительства рекреационных объектов позволил разработать ряд *моделей объектов отдыха и туризма* для размещения на территории Волго-Ахтубинского пойменно-дельтового образования.

1. *Точка*. Данная модель подразумевает отдельно стоящий объект отдыха и туризма малой вместимости с небольшой рекреационной нагрузкой на природные территории. Такая модель подходит для точечного, компактного размещения небольших объектов отдыха и туризма. Могут размещаться изолировано от основных очагов организованной рекреации. Этой модели соответствуют следующие типы объектов: мини-гостиница, оздоровительный центр, индивидуальное загородное жилье, мотель, экологический отель. Вместимость объекта, соответствующего данной, модели составляет от 2 до 20 человек. Площадь, которую занимает объект — от 600 м<sup>2</sup> до 1 га; рекреационная нагрузка — от 0,25 до 3 чел/га.

2. *Сеть*. Группа небольших объектов отдыха и туризма, соединенных между собой пешеходными и транспортными связями, туристическими маршрутами. Следует размещать равномерно по всей территории Волго-Ахтубинского пойменно-дельтового образования. Может представлять собой объект размещения рекреантов, состоящий из отдельно расположенных жилых ячеек. Этой модели соответствуют следующие типы объектов: турбазы и базы отдыха, домики охотников и рыболовов, кемпинги, места для палаток, туристические приюты и хижины, смотровые площадки, индивидуальное загородное жилье. Вместимость объекта, соответствующего данной, модели составляет от 5 до 100 человек. Площадь, занимаемая объектом, — от 500 м<sup>2</sup> до 5 га; рекреационная нагрузка — от 0,25 до 4 чел/га.

3. *Линия*. Объект или группа объектов отдыха и туризма, расположенных вдоль какого-либо протяженного по длине природного или антропогенного образования, например, вдоль реки, параллельно берегу водоема, автомагистрали и т.д. Этой модели соответствуют следующие типы объектов: турбазы и базы отдыха, расположенные на берегу; прибрежный рекреационный объект; гостиница; мотели, учреждения автомобильного туризма, научные центры, детские и молодежные объекты отдыха и туризма, спортивные комплексы. Вместимость объекта, соответствующего данной модели составляет от 20 до

70 человек. Площадь, которую занимает объект — от 1000 м<sup>2</sup> до 3 га; рекреационная нагрузка — от 1 до 5 чел/га.

4. *Мобиль.* Объект отдыха и туризма, который возможно перемещать в зависимости от различных условий (определенное время года, сезонная затопляемость, популярность конкретных участков рекреационной зоны, перегруженность отдельных фрагментов природного комплекса и необходимость уменьшения рекреационной нагрузки и т.д.). Данная модель занимает минимальную площадь и обладает минимальной рекреационной нагрузкой. Этой модели соответствуют следующие типы объектов: плавучий отель, плавучая база рыболовов, передвижная лаборатория, мобильная индивидуальная жилищная ячейка. Вместимость объекта, соответствующего данной модели, составляет от 1 до 5 человек. Площадь, — от 10 до 50 м<sup>2</sup>; рекреационная нагрузка — от 0,05 до 0,25 чел/га.

5. *Зона.* Объект отдыха и туризма, состоящий из большого по площади фрагмента природной территории и одного либо нескольких зданий и сооружений. Отличительная особенность данной модели состоит в «приспособляемости» к меняющимся сезонным рекреационным потребностям. То есть в период максимальной нагрузки на природные территории (пик отпусков) объект может быть заполнен на 100 %, а в менее популярное для отдыха время — гораздо меньше. Этой модели соответствуют следующие типы объектов: пространство для проведения фестивалей, инсталляций, выставок, пикников и др., палаточные лагеря, спортивные комплексы, объекты молодежного отдыха. Вместимость объекта, соответствующего данной модели составляет от 50 до 500 человек. Площадь — от 5 до 25 га; рекреационная нагрузка — от 2 до 10 чел/га.

6. *Комплекс.* Многофункциональный объект отдыха и туризма. Может включать в себя различные типы объектов: гостиницы, оздоровительные и спортивные центры и др. Все функции могут быть размещены в отдельном блоке (централизованная, компактная планировочная схема) либо в нескольких соединенных между собой объемах (блокированная, павильонная планировочная схема). Этой модели соответствуют следующие типы объектов: рекреационный комплекс, крупный спортивно-оздоровительный центр, университет с общежитиями, санаторий, научный центр, молодежный комплекс. Вместимость объекта, соответствующего данной модели, составляет от 100 до 300 человек; площадь от 20 до 60 га; рекреационная нагрузка — от 3 до 8 чел/га.

*Вывод.* Разработанные модели объектов отдыха и туризма для размещения на территории Волго-Ахтубинского пойменно-дельтового образования помогут усовершенствовать сеть рекреационных объектов, что будет способствовать повышению комфортности отдыха; принесут социальный и экономический эффект, который заключается в возможности привлечения большего количества рекреантов из Волгоградской, Астраханской областей, других российских регионов, ближнего и дальнего зарубежья; станут стимулом для развития культуры местного населения и улучшения их экономического состояния; будут способствовать более рациональному использованию уникальных природных ландшафтов.

УДК 711.4:628.517.2

**О.А. Ганжа****ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА УРОВЕНЬ ШУМА В ЗОНЕ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ В ОДНОМ УРОВНЕ**

На основе метода системного анализа — метода анализа иерархий (МАИ) — проведена оценка факторов, оказывающих влияние на уровень шума в зоне регулируемого перекрестка.

Based on the method of system analysis – hierarchy analysis method (HAM) – the author has estimated factors influencing the noise level in the zone of a signal-controlled junction.

Основным источником акустического загрязнения городской среды крупных и крупнейших городов — мегаполисов являются транспортные потоки, создающие высокие уровни шума, которые отмечаются на городских транспортных магистралях, особенно в зоне их пересечений, являющихся узлами в планировочной структуре города и оказывающие влияние на формирование акустической среды прилегающей территории.

Современной градостроительной наукой изучены условия распространения звука в городской среде и его изменения в зависимости от отдельных градостроительных условий и природно-климатических факторов, разработаны методы оценки шума транспортного потока.

Анализ публикаций по составу факторов, оказывающих влияние на уровень шума, выявил группу факторов и большое количество параметров, которые оказывают ту или иную степень влияния на общий уровень шума. Большинство авторов публикаций указывают на взаимосвязь и взаимозависимость отдельных параметров, что очень сложно учесть при проведении анализа акустического режима регулируемого перекрестка. Общий уровень транспортного шума на городских транспортных пересечениях и территории, прилегающей к магистрали, будет зависеть от сложного взаимодействия целой группы факторов: транспортных, планировочных и природных. Группу транспортных факторов составляют факторы, которые оказывают прямое влияние на формирование уровня шума. В группу планировочных факторов вошли факторы, определяющие уровень шума. В число природных факторов отнесены факторы, оказывающие влияние на распространение шума (рис. 1).

При исследовании структуры шума от транспортного потока на регулируемом перекрестке необходимо определить факторы, в наибольшей степени влияющие на формирование уровня шума. Они должны быть связаны с акустическими характеристиками автотранспортных средств, учитывать неоднородность состава транспортного потока и состояние поверхности дорожного покрытия. Эти факторы определены в ходе анализа дорожного движения, характеристик транспортного потока и улично-дорожной сети и являются определяющими критериями для оценки факторных составляющих шумового режима пересечений. Часть факторов практически неуправляема, имеет количественное или качественное значение, но их учет необходим в осуществлении градостроительной деятельности. Таким образом, представленная группа факторов выявлена на основе реально определяемых параметров и используется для проведения анализа акустического режима регулируемых перекрестков.

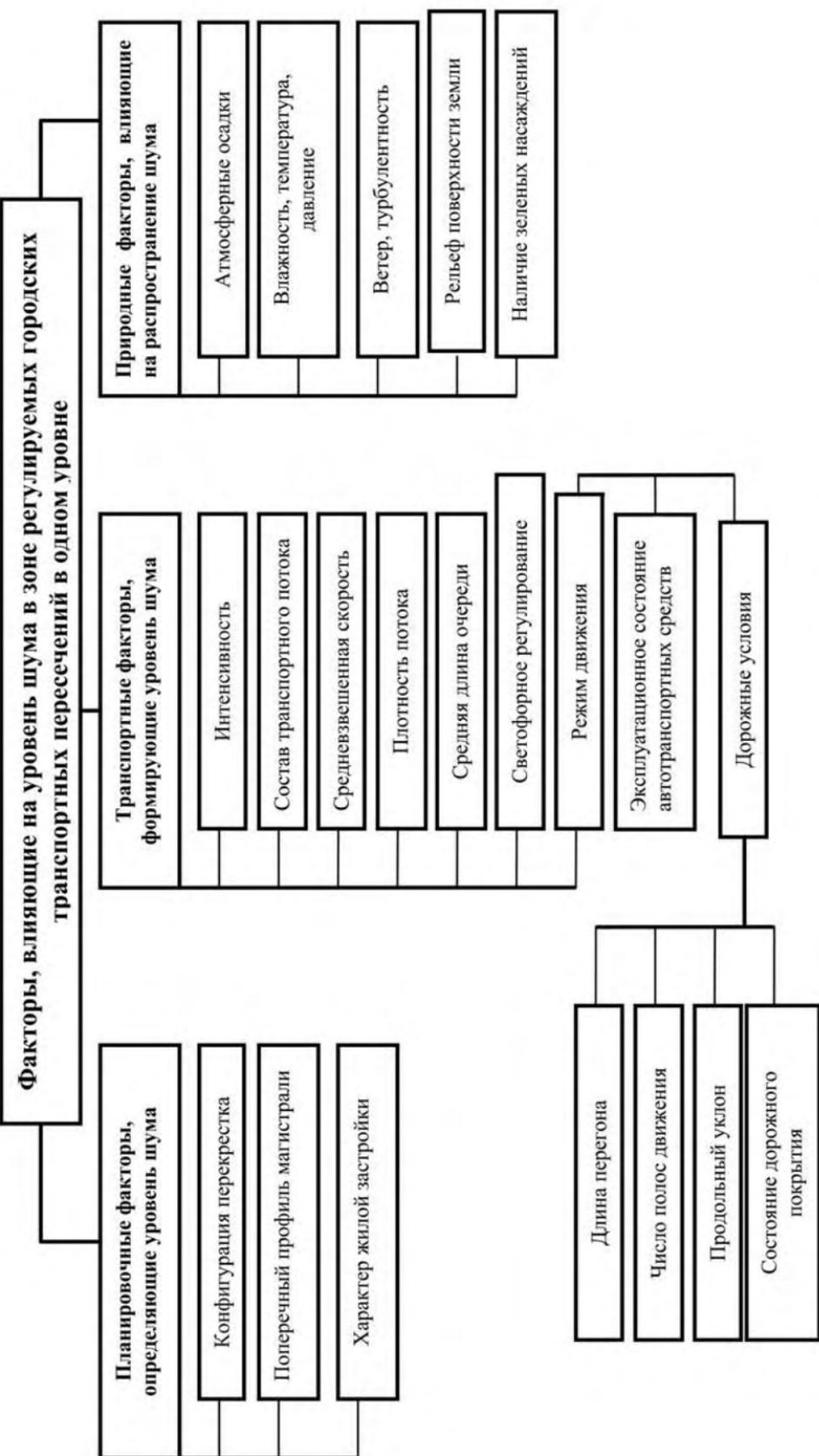


Рис. 1. Факторы, оказывающие влияние на уровень шума в зоне регулируемого пересечения в одном уровне

Необходимость определения степени значимости отдельно каждого фактора ставит задачу проведения анализа каждой группы факторов и их оценки.

При решении задачи оценки группы факторов и параметров были применены метод регрессионного анализа и *метод анализа иерархий (МАИ)*, которые позволили принять адекватные решения по отбору факторов и параметров, влияющих на общий уровень шума от транспортного потока в зоне перекрестка.

Транспортный поток, являющийся объектом управления в системе управления дорожным движением, обладает некоторыми свойствами.

Во-первых, это стохастичность — характеристики транспортного потока допускают прогноз только с определенной вероятностью. Транспортный поток движется по транспортной сети, которая также обладает определенными характеристиками, допускающими более или менее строгое описание.

Во-вторых, это нестационарность, т.е. колебания характеристик в трех циклах: суточном, недельном и сезонном.

В-третьих, неполная управляемость — отсутствие полной информации о потоках и возможности информирования водителей о необходимых действиях.

В-четвертых, наличие множественности характеристик и критериев движения транспортного потока, таких как: средняя скорость движения, интенсивность, плотность, задержка в пути, средняя длина очереди, объем вредных выбросов в атмосферу и т.д. Каждая из характеристик движения транспортного потока имеет влияние на уровень шума. Большинство характеристик движения взаимосвязаны, и выделить какую-либо одну не представляется возможным. Данный объект сложен с точки зрения управления его свойствами и характеристиками. Поэтому для проведения предварительной оценки факторов, оказывающих влияние на уровень шума, когда невозможен сбор большого статистического массива данных, необходимого для реализации метода регрессионной оценки возможно применение методики оценки на основе МАИ.

Известно, что метод анализа иерархий является системной процедурой для иерархического представления элементов, определяющих суть любой проблемы. Метод состоит в декомпозиции проблемы на все более простые составляющие части и дальнейшей обработке последовательности суждений лица, принимающего решение (ЛПР) по парным сравнениям. В результате может быть выражена интенсивность взаимодействия элементов в иерархии. Эти суждения затем выражаются численно. Метод анализа иерархии включает процедуры синтеза множественных суждений, получения приоритетности критериев и нахождения альтернативных решений. Решение проблемы есть процесс поэтапного установления приоритетов.

Основой для моделирования любого процесса при помощи метода анализа иерархий являются принципы *идентичности и декомпозиции*, а также принципы *дискриминации, сравнительного суждения и синтезирования* [2].

*Принцип идентичности и декомпозиции* предусматривает структурирование проблемы в виде иерархии (рис. 2), что является первым этапом применения МАИ к решению поставленной нами проблемы. Иерархическое представление модели формирования шумового режима пересечения строится с вершины (цель — с точки зрения управления — оценка влияния группы факторов на уровень шума на регулируемом перекрестке), через промежуточные уровни (параметры, создающие и определяющие уровень шума, от которых зависят последующие уровни) к самому низкому уровню (который является перечнем альтернатив — регулируемые перекрестки различного назначения и конфигурации Центрального административного района Волгограда).

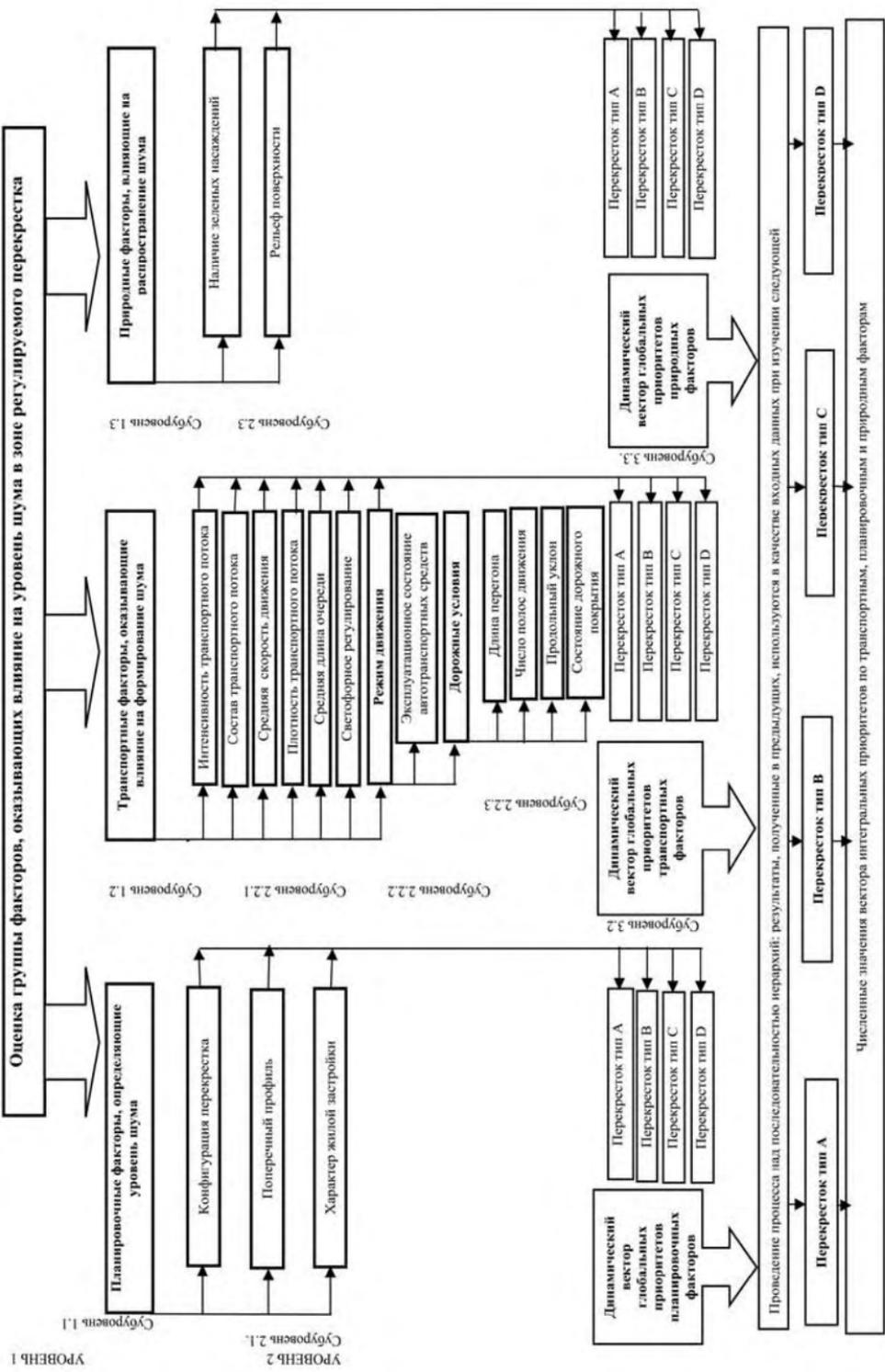


Рис. 2

Основная цель реализации методики заключается в ранжировании регулируемых перекрестков и определении наиболее значимых факторов и параметров, оказывающих влияние на уровень шума.

Первый шаг состоит в декомпозиции и представлении задачи в иерархической форме. *На первом уровне* находится общая цель «оценка влияния группы факторов на уровень шума в зоне регулируемого пересечения в одном уровне»; *на втором уровне* — 3 фактора, уточняющие цель (транспортные, планировочные, природные); *на третьем уровне* — 4 объекта (перекрестка), которые оцениваются по отношению к критериям второго уровня. Для более глубокого исследования группы факторов произведена иерархическая декомпозиция каждого из факторов, создающих и влияющих на уровень шума. Поэтому второй уровень иерархии разбит на субуровни со следующими заданными целями *на первом субуровне*: оценка транспортных, планировочных и природных факторов. *На втором субуровне* следует определение критериев вспомогательного уровня иерархии. *На третьем субуровне* находятся 4 объекта — перекрестки, которые должны быть оценены по отношению к критериям второго субуровня.

Таким образом, в нашей модели создана полная динамическая иерархия, в которой каждый элемент заданного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градостроительные меры борьбы с шумом / Г.Л. Осипов, Б.Г. Прутков, И.А. Шишкин, И.Л. Карагодина. М. : Стройиздат, 1975. 215 с.
2. *Saati T.* Аналитическое планирование: организация систем : пер. в англ. / Т. Саати, К. Кернс. М. : Радио и связь, 1991. 224 с.

УДК 711.2:551(470.44/.47)

*Т.А. Черняевская*

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

Рассматривается системность территориального проектирования с применением геоэкологического подхода. Естественные и антропогенные процессы на территории Нижнего Поволжья тесно взаимосвязаны; антропогенные нагрузки, превосходящие экологическую устойчивость естественных территорий, обязывают при проектировании учитывать разнообразные особенности ландшафтов, чтобы сохранить среду жизнеобитания человека. Проведен анализ различных подходов к изучению ландшафтов и использование существующих методик применительно к территориальному проектированию регионов.

The article considers territory development as a systematic process involving geo-ecological approach. Natural and anthropogenic processes in the Low-Volga Region are closely connected. Anthropogenic loads exceeding ecological sustainability require considering landscape features for design. This consideration allows environment preservation. The article analyzes different ways of landscape study and demonstrates different methods of territory development.

Юго-Восточный регион в равнинной части европейской территории России включает степную, сухостепную, полупустынную и пустынную природные зоны. Это обширная территория Нижнего Поволжья, объединенная бассейном реки Волги, является одним из районов мира, имеющих уникальные природные комплексы, мало устойчивые к антропогенным воздействиям и подвергающиеся разрушению неблагоприятными природно-климатическими процессами. Загрязнение окружающей среды, продолжающиеся процессы водной и ветровой эрозии наносят большой урон народному хозяйству и здоровью людей. Снижение антропогенного пресса возможно только при условии рационального природопользования, то есть оптимизации использования естественных ресурсов с помощью современных научно-технических достижений на основе комплексной территориальной организации природных комплексов, системы расселения и размещения производительных сил.

Наука и практика ландшафтной экологии убеждает в возможности противодействовать негативным явлениям с помощью комплекса эколого-градостроительных мероприятий, основой которых служит геоэкология. Следовательно, геоэкологические знания являются важным звеном экологической стратегии территориального проектирования для сохранения и воспроизводства природно-ресурсных богатств государства [1].

Необходимо предусматривать в территориальных проектах планировочные решения, позволяющие перейти от неуправляемых процессов изменения физико-географических систем к формированию их равновесного состояния, обеспечивающего оптимальные условия труда, быта и отдыха людей.

Для достижения этого очень важно изменить и отношение к градостроительству. Настала пора решать экологические проблемы не только технологическими мероприятиями, которые не обеспечивают достаточного результата, но и методами территориального градостроительного проектирования.

Бытовавшее долгие годы мнение, что создание мощной индустрии за счет временных жертв — ближайший путь к созданию высокого уровня бла-

госостояния общества, привело к резкому ухудшению экологической комфортности окружающей среды, росту заболеваемости, особенно в больших промышленных городах. К тому же стало совершенно ясно, что причина наших экологических бед кроется в сфере общей экономической политики и градостроительного проектирования.

Дальнейшее развитие промышленности и городов требует все больше земельных и природных ресурсов, изъятие которых невозможно без нарушения экологического равновесия в природе. Недостаточно контролируемое территориальное развитие влечет за собой деградацию природной среды, значительное ухудшение санитарной обстановки, нарушение пропорционального развития систем поселений.

Взгляд на территорию, на природу как на источник дешевых резервов роста оборачивается все новым дефицитом ресурсов и производимых из них материальных ценностей. В этом случае принести результат может не рост производства, а только его сбалансированность.

Наиболее существенные несоответствия и диспропорции, проявляющиеся при застройке городов и поселков на территории Нижней Волги, несбалансированное развитие в них промышленности зарождаются на стадии предплановой и проектной подготовки экономических, технологических и градостроительных решений.

В совершенствовании территориальной организации мы увидели важный резерв последовательного, целенаправленного упорядочения планировочной организации территории. Главной особенностью такой работы является то, что она базируется на территориальном подходе к решению задач хозяйственного строительства области, районов и населенных мест. Этот подход позволяет наиболее эффективно осуществлять комплексное размещение, развитие и использование отраслевых, производственных, социальных и экологических структур народного хозяйства с учетом конкретных условий их взаимодействия на местном уровне управления.

С учетом развития ведущих народно-хозяйственных функций каждой административно-хозяйственной структуры различного ранга определяется и характер использования отдельных территорий. При этом население, природа и производство рассматриваются на равно приоритетной основе. Таким образом, выявляется перспективное развитие, как отдельных территорий, так и региона в целом.

Ориентация на комплексное развитие производства, населенных мест, строительства, инженерно-технической инфраструктуры, общественного обслуживания и отдыха населения в природопользовании дает возможность рационального геоэкологического зонирования, определяет размер допустимых антропогенных нагрузок, возможности природных ландшафтов к самовосстановлению, а отсюда и режимы хозяйственного использования той или иной территории.

Определение и разработка научных основ проектирования территории представляет собой задачу систематизации знаний о строении, динамике и эволюции природных объектов, о различных природных процессах и рациональном природопользовании для практической реализации при создании социально-территориальных систем и комплексов, позволяющих сохранить окружающую среду здоровой и эстетичной для проживания человека [2, 3].

Научный анализ показал, что рост численности населения и социально-экономическое развитие человеческого общества становится мощным фактором формирования и развития географической оболочки. Участие человека в формировании структуры и функционировании природных географических систем, направленное на достижение определенной цели, часто сопровождается побочными негативными последствиями [4].

Для того чтобы предотвратить ухудшение состояния окружающей среды, сокращение природных ресурсов, природоохранная деятельность должна начинаться на стадии проектирования. Но научная информация об особенностях формирования структуры и процессов функционирования, природных и антропогенных ландшафтов используется недостаточно, особенно в предпроектном анализе и формировании оптимальных вариантов проектов.

Значительная часть характеристик преобразования ландшафтов имеет качественный характер и не поддается количественному анализу и формализации. В такой ситуации одним из эффективных приемов анализа и прогнозирования процессов в экологии природно-антропогенных ландшафтов является методика системного подхода.

В современных научных исследованиях используется системный подход, основанный на познании систем, состоящих из множества взаимосвязанных разнородных элементов. Применительно к природным объектам — географическим системам — употребляются синонимы — «геосистема» и ландшафт, урбанизированные территории получили название природно-антропогенных геосистем [5].

Понятие геосистема состоит из двух элементов. Понятие «система» означает «совокупность объектов, находящих определенную целостность, единство. «Географическое» обозначает принадлежность к Земле, наличие территориальной принадлежности. Каждая геосистема (ландшафт) состоит из отдельных элементов или подсистем, данный термин подчеркивает сложность географических объектов и их системный характер [6].

Сущность геоэкологического подхода в преобладающем изучении разнородных объектов и явлений как систем, территориально организованных, развивающихся в пространстве и во времени. Геоэкологический подход может рассматриваться как один из общенаучных подходов, как разновидность пространственно-системного подхода, он используется в планировании региональной экономики и районной планировки [7].

Градостроительное развитие территории представляет собой техно-антропогенное воздействие на окружающую среду, состоящую из различных природных комплексов — ландшафтов, отличающихся исключительной сложностью. Огромное влияние на формирование ландшафтов оказывают геоморфологическое строение и рельеф. Биогенные компоненты, флора и фауна играют роль хранителей целостности геоэкологического состояния ландшафта, одновременно являясь их производными, как и геоморфологическое строение с рельефом. Они также являются факторами, определяющими местный климат и местные водные ресурсы. Все компоненты ландшафта важны для его формирования, так как они взаимосвязаны между собой и влияют на состояние друг друга. Поэтому мероприятия по улучшению экологического состояния должны быть также направлены на формирование ком-

фортной среды для жизнедеятельности населения, а не только на охрану отдельных ценных природных объектов.

Территориальное проектирование, для того чтобы сохранить среду жизнедеятельности человека в будущем, должно опираться на знание геоэкологических процессов, формирование и развитие естественных ландшафтов. Так как человек своим вмешательством существенно преобразует существующие или создает новые ландшафтные комплексы.

Геоморфологическая структура зональных ландшафтов является необходимой оценкой территории при региональном и городском планировании и проектировании. Комплексный физико-географический подход используется при оценке различных ландшафтов по многим параметрам, часто он необходим для определения степени трансформации окружающей среды. Так как характерной чертой организации современных ландшафтов является то, что при градостроительном освоении их природная самоорганизация сочетается с управлением человеком [8].

Основными свойствами большей части современных ландшафтов как природно-антропогенных геосистем являются:

двойственная качественная определенность, отражающая особенности современного этапа географической оболочки, выступающей как супер система «природа — общество»;

повышенная по сравнению с восстановленными ландшафтами гетерогенность их элементов;

закрепление особого места в их организации за производственной деятельностью, высокая роль информационных, организованных связей [9].

Одним из главных направлений обустройства урбанизированных территорий является использование ряда системно-генетических положений учения о ландшафте, разработанных отечественными и зарубежными учеными. В основе научного понимания ландшафта лежит идея единства и взаимозависимости природных ресурсов, процессов и явлений, определяющих характерные особенности конкретного участка земной поверхности. При этом наименьшая структурная единица ландшафта получила различные названия (биогеоценоз, элементарный ландшафт, микроландшафт, почвенный комплекс и др.) в разных научных направлениях географии, почвоведения и др.

Более высокий природно-территориальный комплекс был назван и определен Л.С. Бергом (1915) как «географический ландшафт», а В.В. Докучаевым как «географический комплекс» (1951). Современная система представления о природных комплексах базируется на биогеоценотической и ландшафтной моделях круговорота веществ и энергии.

Недостатком биогеоценотической модели является заниженная оценка геоморфологического фактора, что лишает возможности экстраполяционно-пространственных манипуляций моделью. Более адекватна территориальному проектированию ландшафтная модель природно-территориальных комплексов, генеральную основу которой составляют климат, рельеф, почвогрунты и биота. Эти доминирующие факторы формируют систему круговорота веществ и энергии ландшафта.

По определению В.Н. Солнцева (1981); «каждый компонент ландшафта — в равной степени необходимое условие протекания целостного взаимодействия, и вместе с тем, закономерное его следствие». По предложению

ученого принцип равной важности может реализоваться по трем основным направлениям:

все биокосные и косные компоненты ландшафтных систем должны рассматриваться как необходимые и ничем не дублируемые факторы, определяющие специфику данного ландшафтного взаимодействия;

состояние компонентов ландшафта является закономерным и вместе с тем оригинальным результатом данного ландшафтного взаимодействия;

как биосистемы, так и все остальные компоненты ландшафта следует изучать как сложноорганизованные, по-своему упорядоченные образования, составляющие единый сложный механизм.

Каждый ландшафт характеризуется количественными и качественными параметрами находящейся в его пределах биоты, являющейся обязательным и важным компонентом наряду с абиотическими и косвенными.

Представление о географических комплексах как иерархических природных единицах с «четкими» границами сменяется континентальными подходами, более соответствующими естественной сущности сложных природных систем. При этих методологических подходах ведущими компонентами ландшафта, определяющими его динамику и энергетику, являются тепло, влага и биота, основы были разработаны русскими географами, почвоведом, лесоводами, луговедами, ботаниками, применяющими в исследованиях географический подход.

Объединить разные подходы по изучению природных комплексов ландшафтоведения, биоценологии и экологии удалось в своих научных разработках В.В. Сочава [10]. Ландшафтно-экологический подход использует биоцентричность при проведении разработок ландшафтной модели природно-территориальных комплексов.

При выполнении проектных разработок необходимо учитывать то, что в каждой природной зоне имеются ландшафты, различающиеся по количественным показателям большинства свойств всех компонентов. Поэтому для изучения целостности территорий необходим системный подход, частью которого является использование ландшафтной характеристики определяющей взаимосвязь со средой и между элементами объекта. Иерархическое соподчинение ландшафтов, объединяющих фрагменты литосферы, атмосферы, гидросферы, биосферы и антропосферы, приводит исследования к устройству географической оболочки планеты [2].

Продуктивность ландшафтов, независимо от того, какие объективные и субъективные антропогенные факторы на него влияют и какие социально-экономические условия окружают, в первую очередь определяет природный потенциал территории. Несмотря на это для большинства проектировщиков «ландшафтный» концепторный подход непонятен. Длительное время ландшафтоведение, ландшафтная экология, науки биологического профиля и градостроительство развивались самостоятельно, независимо друг от друга, и это не препятствовало углублению знаний в этих сферах.

В современный период усиление техногенного воздействия на ландшафты значительно изменило их природную сущность и ослабило способность самовосстановления, изменились взаимосвязи как между структурными единицами ландшафта, так и с прилегающими ландшафтами. Произошла антропогенная модификация естественного ландшафта, в которой присутствуют на

равне с необходимыми для жизнедеятельности намеренными изменениями (селитебные территории, озеленение, создание искусственных лесных насаждений и водоемов и прочие) и отрицательные, возникшие ненамеренно в результате различной деятельности.

Поскольку территориальность является одной из важнейших характеристик не только градостроительных объектов, но и физико-географических структур-ландшафтов, их границы в значительной мере совпадают и объединяют природу, население и хозяйство, образуя природно-территориальный комплекс, иначе называемый геосистемой [4].

Вполне естественно, что многие исследователи рассматривают население и хозяйство как компоненты геосистем. Это связано с тем, что ландшафты целенаправленно в той или иной степени используются обществом для удовлетворения своих потребностей. Сложилось так, что почти все ландшафты по генезису и характеру являются природно-антропогенными геосистемами. Лишь ландшафты неосвоенных и заповедных территорий сохраняют естественные природные свойства, испытывая определенное воздействие человеческой деятельности, но все же они одни сохраняются в качестве природных геосистем.

Практика территориального проектирования показывает, что основные показатели функционального зонирования и размещения различных отраслей производства четко отражают различия между природными зонами, подзонами и округами. Природные районы и более мелкие таксономические единицы выражаются во многих особенностях организации административного и хозяйственного деления, в системе земледелия и организации противоэрозионных и мелиоративных мероприятий [7].

Деятельность человека должна быть адаптивной при взаимодействии с физико-географической структурой, т.е. должна постоянно учитывать специфику и возможности природы, приспосабливаться к ним. Поэтому за основу территориального проектирования Нижнего Поволжья должны быть взяты особенности физико-географических условий их взаимосвязи сложившиеся к настоящему периоду, и многие экономические показатели.

Природно-антропогенные геосистемы включают не простой набор составляющих их компонентов, а являются не только территориальной, но и функциональной целостностью, обладающей динамичностью и определенной устойчивостью. Устойчивость природно-антропогенной геосистемы обеспечивается управлением общественного компонента, и поэтому природная часть оказывается в неравных условиях с производством, на которое было направлено внимание весь прошедший исторический период.

При разработке территориальных проектов необходимо учитывать основные особенности природно-антропогенных геосистем, к которым В.С. Преображенский и Л.И. Мухина [5] относят следующие:

- природно-территориальным комплексом или природно-антропогенной геосистемой в целом может управлять только общество;
- выполнение ими социально-экономических функций;
- постоянство воздействия человека на природную среду;
- двойственная природная и антропогенная качественная определенность;
- сочетание характерной для природных процессов самоорганизации с элементами социального управления;

более сложные, чем в природных геосистемах, характер цепных реакций и иерархическая структура:

своеобразие ритмичности и цикличность в функционировании системы.

Вот только такая основа, на наш взгляд, даст возможность и планирующим органам, и местным администрациям, и органам архитектуры и градостроительства активно влиять на экологию подведомственных территорий. Системный подход к разработке природоохранных мероприятий даст возможность определить экологический режим использования территории каждого района и определит характер его хозяйственного использования. При разработке генеральных планов городов и населенных пунктов архитектор получит достоверную эколого-экономическую информацию о проектируемой территории для принятия конкретных планировочных решений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. *Vink A.P.A.* Landscape ecology and Land use. London : Longman, 1983. 294 p.
2. *Преображенский В.С.* Проблемы изучения устойчивости геосистемы // Устойчивость геосистем. М. : Наука, 1983. С. 4—7.
3. *Позднеев В.Б.* Эволюция системного подхода в географии / Проблемы региональной экологии, 2003. № 6. С. 8—24.
4. Принципы и методы геосистемного мониторинга / под ред. А.М. Грина, Л.И. Мухиной. М. : Наука, 1989. 168 с.
5. *Преображенский В.С.* Современные ландшафты как природно-антропогенные геосистемы // В.С. Преображенский, Л.И. Мухина // Изв. АН СССР. Серия географ. 1984. № 1. С. 19—27.
6. Философский словарь. 4-е изд. М. : Политиздат, 1980. С. 329.
7. *Владимиров В.В.* Управление градостроительством и территориальное развитие в РФ. М. : РААСН, 2000. 110 с.
8. *Виноградов Б.В.* Основы ландшафтной экологии. М. : ГЕОС, 1998. 418 с.
9. *Солнцев В.Н.* Системная организация ландшафтов. М. : Мысль, 1981. 239с.
10. *Сочава В.Б.* Геотопология как раздел учения о геосистемах. Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск : Наука, 1974. С. 3—86.

УДК 656.13:711.4:502.1

**В.В. Балакин****О РОЛИ СРЕДСТВ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА  
В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ГОРОДОВ**

Выявлены наиболее доступные средства организации и регулирования движения, обеспечивающие необходимую пропускную способность улично-дорожных сетей и снижение негативного воздействия транспорта на городскую среду. Обосновавшаяся реализация целевых программ по совершенствованию пассажирского транспорта и внедрение комплекса градостроительных и планировочно-реконструктивных мероприятий, направленных на повышение эффективности и экологической безопасности функционирования транспортных систем городов в условиях роста автомобилизации.

We single out the most affordable ways of traffic management for increasing throughput capacity of urban streets and decreasing the negative impact of street traffic on urban environment. We suggest these measures as a temporary alternative to more costly measures of town development and redevelopment provided for environmental safety and functioning of city transport infrastructure.

В настоящее время почти в 200 городах, где проживает 64,5 млн человек, среднее содержание загрязняющих веществ и пыли превышает предельно допустимые концентрации. Действию повышенного шума и электромагнитных полей подвергается почти 60 % населения страны. В целом доля населения, постоянно проживающего на экологически нарушенных территориях, превышает 70 %, причем около 20 % из этого числа находится в критически загрязнённых зонах [1, 2].

В медицинской статистике установлена прямая связь между структурой выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и заболеваемостью населения по регионам и в среднем по России, связанной с деградацией окружающей природной среды [3]. В городах экопатологии имеют более четко выраженную пространственную структуру, и здесь достаточно конкретно обусловлены их причины, что могло бы использоваться при управлении качеством городской среды. Однако это, к сожалению, пока недостаточно учитывается при социально-гигиенических исследованиях [4, 5], в проектной практике и в организации работы некоторых мониторинговых систем в городах.

Наиболее экологически неблагоприятная ситуация складывается в центральных планировочных зонах крупных и крупнейших городов, отличающихся высокой плотностью узких улиц, где особенно остро проявляются проблемы несоответствия сложившейся структуры улично-дорожных сетей (УДС) требованиям транспортных потоков высокой интенсивности. Повышенное загрязнение воздушного бассейна вследствие неблагоприятных режимов работы УДС усугубляется здесь образующимся «островом тепла», при котором производственные выбросы из ближайших более прохладных промышленных районов распространяются в направлении центра, замещая восходящие воздушные потоки и образуя фон для поля загрязнения от городского транспорта. Картографирование местности по результатам расчета загрязнения городской среды и данным социально-гигиенического мониторинга (СГМ) показывает, что, как правило, большинство аномалий резко повышенной экологической заболеваемости детского населения расположено в цен-

тральных зонах городов и проходит вдоль улиц с интенсивным движением автомобилей [4, 6].

В особенно неблагоприятной экологической обстановке оказываются селитебные территории городов, попадающие в так называемую вторую зону очагов антропогенной напряженности, формирующуюся вокруг наиболее крупных промышленных районов. Вследствие взаимного наложения полей загрязнения вредными выбросами от стационарных источников и от плотных транспортных потоков с интенсивным грузовым движением эти участки городской территории превращаются в ареалы повышенной загазованности приземного слоя воздуха токсичными веществами и их соединениями. Наиболее опасные ингредиенты в сочетании с повышенными уровнями звукового давления вносят и здесь свою специфику в особенности формирования здоровья населения, вынужденного постоянно проживать в таких районах.

Очевидно к транспортным системам городов (ТСГ), формируемым и функционирующим на высоко урбанизированных территориях, в современных условиях необходимо предъявлять более жесткие требования по обеспечению их экологической безопасности.

Выбросы в атмосферу от автомобильного транспорта ежегодно растут в среднем на 3,1 % [7]. За последние пять лет концентрации входящих в состав отработавших газов (ОГ) автомобилей оксида углерода и оксидов азота увеличились в воздухе городских улиц на 5...11 %. Это следует связывать с бурным ростом парка транспортных средств в городах, который происходит за счет легковых автомобилей. В результате доля, приходящаяся на автомобильный транспорт в общем выбросе вредных веществ, к настоящему времени достигла 46 % и доходит до 70...90 % в крупных и крупнейших городах России [8, 9]. По данным Департамента природопользования и охраны окружающей среды Правительства Москвы, ежегодный вклад автомобильного транспорта в загрязнение воздушного бассейна мегаполиса составляет 93 % или 900 тыс. т [10].

Уровень автомобилизации к настоящему времени находится в пределах 150...250 авт. на 1000 жителей, превышая прогнозные показатели, установленные в генпланах и комплексных транспортных схемах (КТС) городов. Среднегодовой прирост продаж автомобилей за последние 5 лет составил 5...8 % и, согласно прогнозам, к 2010 г. их количество увеличится до 245, а в Москве — до 400 на 1 тысячу жителей [11, 12].

В Волгограде также не ожидается снижения интереса населения к автомобилю — доля пассажирских перевозок в общем объеме на индивидуальном транспорте плавно увеличивается в среднем на 1,2 % в год. Репрезентативный анкетный опрос жителей Волгограда, проведенный в 2006 г. специалистами ВолгГАСУ, показал, что часть работающего населения, предпочитающего использовать личный автомобиль для передвижений в обычные дни со всеми целями, составляет в зависимости от района города от 13 до 27 %.

Проблему формирования эффективной и экологически безопасной транспортной системы в городах в условиях переуплотненной застройки центров, увеличения загрузки транспортной сети и широких пределов колебаний пассажиропотоков уже практически невозможно решить без кардинальных транспортно-градостроительных решений. Они могут включать, например, устройство дорог непрерывного движения на связях между селитебной, про-

изводственной и ландшафтно-рекреационной территориями и обеспечение перевода на них по хордовым или поперечным направлениям сквозных внутригородских потоков транзитного транспорта из планировочных зон, в первую очередь, из городских центров. Параллельно решаются и задачи развития скоростных внеуличных видов пассажирского транспорта: метрополитена, электрифицированной железной дороги, скоростного трамвая. Реализация таких решений сопровождается реконструкцией и строительством многочисленных путепроводов, эстакад, мостов, тоннелей, многоуровневых транспортных развязок.

Применяются также и обычные планировочно-реконструктивные методы на локальных участках УДС: расширение проезжей части, устройство подземных и надземных пешеходных переходов, пробивка новых направлений дорог и улиц с использованием подземного пространства и др. Перечень объектов по планировочной реконструкции УДС и прилегающей пригородной зоны рекомендуется включать в состав предложений КТС городов [9]. При выборе первоочередных объектов в целях реконструкции обычно учитывают коэффициент загрузки участков дорог и улиц, их аварийность, шумовые характеристики транспортных потоков и концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе.

При ограниченном финансировании градостроительных и планировочно-реконструктивных мероприятий в городах в качестве наиболее доступных средств, позволяющих оперативно снизить объемы выбросов вредных веществ в атмосферу, шумовую нагрузку и максимально использовать имеющийся запас пропускной способности УДС, применяются организационно-регулирующие мероприятия с выборочной реконструкцией узлов и улиц. Они направлены, в основном, на изменение существующих схем организации движения с целью сокращения задержек транспорта, уменьшения числа конфликтных точек, повышения пропускной способности правых и левых поворотов на перекрестках. Сюда входят: специализация магистралей по видам транспорта, перераспределение транспортных потоков, включение улиц местного значения в транспортную сеть, где допускается их частичная реконструкция, оптимизация маршрутов общественного транспорта, применение современных технических средств, модернизация и развитие автоматизированных схем управления движением и др.

Эта группа мероприятий обычно предусматривается в КТС на расчетный срок 10...15 лет с выделением первоочередных работ на 5...7 лет [13]. В зависимости от уровней загрузки участков УДС здесь выделяются немедленные мероприятия (1...2 года) и конечные (последний год первой очереди), причем переход к планировочной реконструкции осуществляется лишь после полного использования различных методов организации движения.

Необходимо учитывать, что по мере дальнейшего роста автомобилизации и интенсивности движения на УДС эффективность реализуемых оперативных организационно-регулирующих мероприятий по повышению пропускной способности будет постепенно снижаться. Поэтому организацию городского движения следует рассматривать как комплексную проблему на основе системного подхода, решаемую на всех стадиях планирования ТСГ.

В последние годы в рамках социально-экономического развития городов разрабатываются новые комплексные программы совершенствования дорож-

но-транспортных сетей и организации городского движения, а также специальные программы и концепции развития пассажирского транспорта с поэтапным внедрением мероприятий на периоды от 2 до 5 лет [14, 15, 16]. При этом в проектируемых комплексных схемах организации движения (КСОД) на УДС намечаются основные мероприятия с их оценкой по конкретному обеспечению необходимой пропускной способностью.

Максимальный срок реализации таких программ не превышает 8...10 лет. Практически это означает переход от среднесрочного к непрерывному планированию развития ТСГ в связи с трудностями на транспортных сетях, связанными с организацией движения, транспортным обслуживанием и возникающими, прежде всего, из-за отсутствия четкой стратегии их развития в условиях быстрого роста интенсивности движения.

Стратегия управления развитием ТСГ и охраной городской среды должна, во-первых, предусматривать вместе с текущими организационно-регулирующими мерами, поддерживающими необходимую пропускную способность как всей транспортной сети, так и ее локальных участков, последовательное, увязанное с финансовыми возможностями городов, внедрение транспортно-градостроительных и планировочно-реконструктивных мероприятий, обеспечивающих одновременно с радикальными преобразованиями в области организации движения максимальный оздоровительный эффект.

И во-вторых, как следует из анализа современного состояния ТСГ, в условиях роста загрузки УДС и при недостаточных темпах повышения ее пропускной способности из-за сложности и продолжительности работ по реконструкции или строительству дорогостоящих транспортных сооружений и устройств, предусматриваемых в генпланах и КТС, необходимо развивать в городах массовый пассажирский транспорт и планомерно увеличивать среднюю вместимость подвижного состава с тем, чтобы сдерживать рост интенсивности движения. При этом на направлениях транспортных сетей с наиболее устойчивым пассажиропотоком, с экологической точки зрения, следует отдавать предпочтение электротранспорту [17].

Задача создания приоритетных условий для движения и обеспечения эффективного функционирования массового общественного транспорта, комфортабельности и экологической безопасности передвижений и проживания населения, требует особого подхода, оперативного решения и должна быть также одной из основных для КСОД. Поэтому, после включения вопросов организации движения пассажирского транспорта КСОД в современных условиях планирования развития ТСГ приобретает качество и функции комплексного документа, обеспечивающего практическую поддержку стратегическим решениям генплана и КТС.

Например, в крупных и крупнейших городах в целях решения транспортных и экологических проблем большое значение в последнее время придается повышению роли электрифицированных железных дорог в освоении мощных пассажиропотоков, образующихся на кольцевых, полукольцевых, диаметральных или продольных направлениях. В некоторых случаях этому благоприятствует симметричное по отношению к селитебной территории расположение и большая протяженность трассы в черте города. Современный электропоезд — комфортабельное, обладающее высокой провозной способностью и эксплуатационной скоростью средство передвижения. Кроме

того, на электрифицированной железной дороге, как и на любом другом виде электротранспорта, реализуется способ потребления энергоресурсов, отличающийся, по сравнению с другими видами городского транспорта, минимальным прямым воздействием на среду обитания.

Теоретически железная дорога может освоить от 55 до 65 тыс. пассажиров в час в одном направлении или до 10 % от общего объема перевозок города [18]. Однако доля внутригородских перевозок железнодорожным транспортом в крупнейших городах обычно не превышает 1,5...5 %. Сегодня полосы отвода железных дорог на большом протяжении окружены промышленными и коммунально-складскими объектами, являющимися препятствиями для подхода или проезда пассажиров к станциям.

Повышение привлекательности железной дороги для внутригородских передвижений населения, в первую очередь, в опорных пассажирообразующих районах городов, достигается путем расширения зон влияния остановочных платформ и пересадочных узлов, обозначенных в генеральном плане и КТС.

Для практического решения этой задачи требуется, во-первых, высокое эксплуатационное состояние дорог, улиц, проездов, путевых устройств и уровень организации движения, которые обеспечивали бы мобильность обычных подвозочных видов транспорта: автобуса, троллейбуса, трамвая в условиях, как правило, ограниченной ширины улиц.

Во-вторых, для сокращения накладных затрат времени на передвижения необходима достаточно разветвленная маршрутная сеть в пределах тяготеющих планировочных зон, по конфигурации и плотности отвечающая требованиям соблюдения нормативных расстояний пешеходных подходов жителей к транспортным линиям от наиболее удаленных периферийных кварталов городской застройки и граничащих с городом жилых образований. Причем маршруты прокладываются таким образом, чтобы пассажиры, следующие на дальние расстояния, имели возможность быстро сделать пересадку на более скоростные виды транспорта.

В межрайонном сообщении при общих затратах времени до 20...30 минут решающее значение при выборе способа передвижения жителями имеют такие факторы, как стоимость и комфортабельность поездки. Для передвижений, имеющих трансрайонный характер, на реакцию пользователей при возможности выбора видов транспорта в районе отправления, дополнительно оказывает влияние продолжительность поездки при минимуме пересадок.

Таким образом, практическое решение вопросов организации движения пассажирского транспорта в КСОД может быть связано с корректировкой схемы маршрутной сети, намечаемой в КТС, реконструкцией участков улиц, модернизацией остановочных пунктов и транспортных узлов, а также проектированием совершенно новых объектов транспортного назначения. В данном случае речь может идти о многофункциональных пересадочных узлах или терминалах с совмещением функций разных видов транспорта на смежных участках территории или в одном объеме [19]. В целях активизации использования ресурсов провозной способности взаимодействующих на узлах видов транспорта и ближайшего городского пространства здесь могут быть предусмотрены вместительные паркинги, общественно-торговые центры или деловые зоны с необходимыми сооружениями и офисными помещениями.

В любом случае, решение вопросов организация городского движения при разработке градостроительной, научно-проектной, технической и рабочей документации должно представлять собой непрерывный процесс и между разными уровнями проектирования должна существовать прочная прямая и обратная связь [20].

В современных условиях проектирования ТСГ мероприятия в сфере организации и безопасности движения транспорта должны носить скоординированный характер. Рассчитывать на их максимальную экологическую эффективность можно лишь при сближении на уровне принятия управленческих решений таких взаимосвязанных системных понятий, как безопасность природы, среды обитания и участников движения.

Поэтому наиболее полная оптимизация режимов движения транспортных потоков возможна при комплексной оценке пропускной способности, безопасности движения, шумового режима и загрязнения воздушного бассейна на УДС с учетом показателей состояния здоровья населения, проживающего на прилегающей территории. Результаты такой оценки позволяют ранжировать транспортную сеть по степени загрузки ее участков, служат интегральным индикатором экологического благополучия среды обитания и отражают состояние экосистемы в целом, а планируемые на ее основе мероприятия являются более обоснованными и эффективными.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гичев Ю. П.* Загрязнение окружающей среды и экологическая обусловленность патологии человека. Аналитический обзор. Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2003. 137 с.
2. *Иванов Н.И.* Акустическое загрязнение от автомобильных потоков // Экологизация автомобильного транспорта: передовой опыт России и стран Европейского Союза : Сб. тр. II Всерос. науч.-практ. семинара с междунар. участ. СПб., 2004. С. 78—81.
3. *Казанцева Л.К.* Экология и здоровье: современная ситуация в России / Л.К. Казанцева, Т.О. Тагаева // Системное исследование экономических процессов в России : сб. науч. тр. Ин-т экон. и орг. пром. пр-ва СО РАН. Новосибирск : ИЭОП СО РАН, 2004. С. 98—108.
4. Районирование территорий по здоровью окружающей среды с использованием детских экопатологий в качестве биоиндикационных параметров / А.Б. Стрельцов, З.М. Мустафаев, А.А. Логинов, Н.Н. Букина // Биологические аспекты экологии человека : матер. всерос. конф. с междунар. участ. Т. 2. Архангельск : Изд-во СГМУ, 2004. С. 148—149.
5. *Гичев Ю.П.* Современные проблемы экологической медицины. Изд. 2-е, доп. Новосибирск : СО РАМН, 1999. 189 с.
6. *Бочаров В.Л.* Здоровье населения при загрязнении окружающей среды соединениями азота / В.Л. Бочаров, А.Я. Смирнова, Л.Н. Строгонова // Вопросы региональной экологии : тезисы докл. 5 регион. науч.-техн. конф. Тамбов : ТГУ, 2002. С. 20—22.
7. *Рожко О.Н.* Проблемы экологической безопасности автотранспортной системы городов : матер. XII междунар. (пятнадцатой екатеринбургской) науч.-практ. конф. // <http://www.vaksman.by.ru/Russian/news/about.htm>.
8. *Чекмарева О.В.* Оценка и управление пылегазовыми выбросами от автомобильного транспорта в атмосферу промышленного города (на примере города Оренбурга) : дис. ...канд. техн. наук. Оренбург, 2002. 150 с.
9. *Ильвицкий Д.Ю.* Исследование атмосферных загрязнений урбанизированных территорий и развитие систем мониторинга (на примере г. Москвы) : дис. ...канд. техн. наук. М., 2002. 145 с.
10. *Филатов Н.Н.* Роль гигиенических исследований в обеспечении здоровья жителей Москвы / Н.Н. Филатов, А.И. Иваненко, И.Ф. Волкова, А.П. Корниенко // Гигиена и санитария. 2006. № 4. С. 11—13.
11. *Гроздова О.И.* Об организации контроля загрязнения атмосферного воздуха Москвы автомобильным транспортом // Актуальные проблемы экологии и природопользования. 2003. № 3. Ч. 2. С. 367—372.

12. *Аврамченко Р.Ф.* Эстакада — дорога умных // Проблемы развития транспорта и инженерных коммуникаций. 2002. № 2—3. С. 19—22.
13. Рекомендации по разработке комплексных транспортных схем для крупных городов / Киев НИИП градостроительства, ЦНИИП градостроительства, Бел НИИП градостроительства. М. : Стройиздат, 1984. 121 с.
14. *Сафронов Э.* Начало реформирования ГПТ — совершенствование маршрутных сетей городов / Э. Сафронов, К. Сафронов, Д. Киммель // Автомобильный транспорт. 2004. № 5. С. 57—58.
15. Транспортные системы городов: региональные и городские законодательные акты и программы . <http://www.vaksman.by.ru/Russian/news/about.htm> .
16. *Вацакина Т.В.* Анализ загрузки магистральной сети города Омска // Автомобильные дороги Сибири : тез. докл. II Междунар. науч.-техн. конф. Омск : СибАДИ, 1998. С. 44—47.
17. *Коссой Ю.М.* Специфика городского транспорта и экология урбанизированных территорий // Экол. урбан. террит. 2007. № 7. С. 67—69.
18. *Самойлов Д.С.* Городской транспорт. М : Стройиздат, 1983. 384 с.
19. *Жаркевич Д.В.* Совершенствование архитектурно-планировочной организации транспортно-пересадочных узлов как способ решения транспортной проблемы крупных городов // Вопросы планировки и застройки городов : матер. 13-й Междунар. науч.-практ. конф. Пенза : Изд-во ПГУАС, 2006. С. 19—21.
20. *Ваксман С.А.* Организация городского движения в условиях высокой автомобилизации как комплексная проблема / С.А. Ваксман, А.А. Цариков // Матер. XI Междунар. (четырнадцатой екатеринбургской) науч.-практ. конф. <http://www.vaksman.by.ru/Russian/news/about.htm>.

## ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 625.745.1

**В.В. Столяров, Э.Ю. Шмагина**

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОГО РАСХОДА ВОДЫ В РЕКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ РИСКА

Приведено новое решение для определения расчетного расхода воды при проектировании мостовых переходов, в котором отсутствуют методы экстраполяции. Отмечено, что предложенные методы определения расчетного расхода являются наиболее обоснованными.

The article provides new solution for estimated flow determination while designing bridges without extrapolation methods. It is noted that the suggested methods for determination of estimated flow is valid.

Существует ряд методов для определения расчетного расхода воды в реках. Использование того или иного метода зависит от степени гидрологической изученности реки.

Наиболее надежными из них являются методы, основанные на репрезентативном ряде лет наблюдения: метод наибольшего правдоподобия, моментов, графоаналитический, с использованием теоретических интегральных кривых распределения Крицкого — Менкеля, с применением таблиц Рыбкина — Фостера. Перечисленные методы основаны на сглаживании и экстраполяции эмпирических кривых распределения максимальных расходов до заданной вероятности превышения. Для сглаживания и экстраполяции кривых распределения применяют трехпараметрическое гамма-распределение, распределение Пирсона III типа (биномиальная кривая распределения), логнормальное распределения и др. [1].

Несмотря на достаточную надежность, эти методы имеют ряд существенных недостатков. Экстраполяция кривой обеспеченности максимальных расходов не всегда обеспечивает заданную надежность, так как она имеет неопределенность в наиболее важном интервале кривой обеспеченности при расчетной вероятности. Кроме того, использование биномиальной кривой распределения возможно для величин стока, только в случае  $C_s \geq 2 C_v$ , так как при  $C_s < 2 C_v$  кривая уходит в область отрицательных значений, что противоречит физической сущности явления в отношении расходов воды [2, 3]. В методе С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля ординаты кривых даны для определенных соотношений  $C_s/C_v$  (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0), в то время как эти отношения могут иметь промежуточное значение.

При использовании графоаналитического метода имеется субъективизм при сглаживании эмпирической кривой.

Предлагается для определения расчетного расхода использовать формулы теории риска. Для вывода формул теории риска необходимо знать законы распределения расходов воды в реках.

В результате проведенного анализа по 36 рекам было установлено, что фактическое распределение максимальных расходов воды на 18 реках близко соответствует гамма-распределению, на 5 реках — нормальному распределению и на 13 реках одинаково близко как нормальному, так и гамма-распределению. Учитывая сказанное, необходимо использовать для определения расчетного расхода все перечисленные выше законы распределения, что существенно повысит надежность определяемого параметра.

Кроме того, все существующие методы оценки расчетного расхода устанавливаются по распределению максимальных расходов воды в реке и не учитывают то обстоятельство, что именно во время подъема и спада паводка происходят местные и общие размывы воды в реке. Поэтому предлагается использовать и такие методы определения расчетного расхода, в которых анализируются не максимальные расходы, а все расходы, возникающие за время подъема и спада паводка или половодья. По 11 изученным рекам был сделан вывод, что на части рек распределение расходов во время подъема и спада паводка или половодья хорошо согласуются с нормальным распределением. Следовательно, в этом случае для вывода формул теории риска будем применять нормальное распределение.

С учетом того, что на 14 % исследованных рек максимальные расходы распределяются по нормальному закону и что этот закон встречается при распределении всех расходов за время подъема и спада паводка, в данной работе были получены формулы теории риска, базирующиеся на нормальном законе распределения.

Величину риска  $r$ , или вероятность превышения расчетного расхода еще большим расходом, при нормальном законе распределения можно определять по формуле [5]

$$r = 0,5 - \Phi \left( \frac{Q_p - Q_0}{\sqrt{\sigma_{Q_p}^2 + \sigma_0^2}} \right), \quad (1)$$

или при заданной величине риска (вероятности) устанавливать по зависимости:

$$Q_p = Q_0 + u \cdot \sigma_0 \cdot \sqrt{\rho}, \quad (2)$$

где  $Q_p$  — расчетный расход, м<sup>3</sup>/с;  $Q_0$  — средний из максимальных расходов воды в реке за ряд лет наблюдений, м<sup>3</sup>/с;  $\sigma_{Q_p}$  — среднее квадратическое отклонение расчетного расхода, м<sup>3</sup>/с;  $\sigma_0$  — среднее квадратическое отклонение среднего расхода, м<sup>3</sup>/с;  $\Phi(u)$  — интеграл вероятности (функция Лапласа);  $u$  — подынтегральная функция, устанавливаемая с помощью таблиц функции Лапласа по заданной вероятности превышения;  $\rho$  — коэффициент (см. табл. 1), учитывающий степень отклонения среднего из максимальных расходов от расхода, определяемого по формуле

$$Q_{50} = \frac{\sqrt{Q_0^2 + (u_0^2 \cdot C_v^2 - 1) \cdot (|Q_0^2 - C_v^2 \cdot \sigma_0^2|)} - Q_0}{u_0^2 \cdot C_v^2 - 1} \quad (3)$$

где  $Q_{50}$  — расход 50% вероятности превышения в случае нормального распределения, м<sup>3</sup>/с;  $C_v$  — коэффициент вариации.

Формулу (2) можно применять для определения расчетного расхода как по данным подъема и спада паводка, так и по максимальным расходам за ряд лет наблюдений.

Таблица коэффициентов  $\rho$

Вероятность, $p$ , %	Параметры $s$ при расхождении $Q_{50}$ и $Q_0$ :		
	до 3 %	3...5 %	5...10 %
1	1,727	1,976	2,078
3	1,480	1,685	1,740
5	1,379	1,500	1,575
10	1,245	1,339	1,360
20	1,085	1,130	1,145
25	1,060	1,090	1,100
30	1,020	1,040	1,040
40	0,970	0,970	0,940
50	0,918	0,918	0,865
60	0,870	0,850	0,799
70	0,830	0,785	0,720
75	0,790	0,760	0,675
80	0,750	0,725	0,630
90	0,690	0,625	0,523
95	0,590	0,510	0,410
97	0,565	0,477	0,376
99	0,507	0,425	0,320

Так как на части рек распределение максимальных расходов подчиняется гамма-распределению, были получены формулы, базирующиеся на этом законе.

Интегральная функция гамма-распределения имеет вид

$$p(Q) = \frac{Q_0^\alpha}{\sigma_0^{2\alpha} \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot \int_0^Q Q^{\alpha-1} \cdot e^{-\lambda \cdot Q} dQ, \quad (4)$$

где  $e$  — основание натурального логарифма;  $Q$  — в соответствии с решаемой задачей, максимальный расход воды в реке, м<sup>3</sup>/с;  $\lambda$  и  $\alpha$  — параметры гамма-распределения, определяемые по формулам

$$\lambda = \frac{Q_0}{\sigma_0^2}; \quad (5)$$

$$\alpha = \lambda \cdot Q_0; \quad (6)$$

$Q_0$  и  $\sigma_0$  — средний из максимальных расходов и среднее квадратическое отклонение, м<sup>3</sup>/с.

Гамма функция интегрируется только в случае целых значений  $\alpha$  [6]. Поэтому, первоначально параметр гамма-функции  $\alpha$  в формуле (6) округляем до целых значений.

Проинтегрировав выражение (4) в случае целых значений  $\alpha$  (1, 2, 3 ...), получили вероятности превышения расчетного расхода еще большим расходом, при значениях  $\alpha$  от 1 до 6 [4]. Например,

$$\text{при } \alpha = 3 \quad p(Q) = \left( \frac{Q_0^2 \cdot Q^2}{2 \cdot \sigma_0^4} + \frac{Q_0 \cdot Q}{\sigma_0^2} + 1 \right) \cdot e^{-\frac{Q_0 \cdot Q}{\sigma_0^2}}, \quad (7)$$

$$\text{при } \alpha = 4 \quad p(Q) = \left( \frac{Q_0^3 \cdot Q^3}{6 \cdot \sigma_0^6} + \frac{Q_0^2 \cdot Q^2}{2 \cdot \sigma_0^4} + \frac{Q_0 \cdot Q}{\sigma_0^2} + 1 \right) \cdot e^{-\frac{Q_0 \cdot Q}{\sigma_0^2}}, \quad (8)$$

Переходили от целочисленных значений  $\alpha$  к дробным значениям, используя граничные условия перехода от  $\alpha_i$  к  $\alpha_{i+1}$ .

Например, при  $3 \leq \alpha \leq 4$

$$p(Q) = (4 - \alpha) \cdot \left( \frac{Q_0^2 \cdot Q^2}{2 \cdot \sigma_0^4} \cdot \frac{Q_0 \cdot Q}{\sigma_0^2} + 1 \right) \cdot e^{-\frac{Q_0 \cdot Q}{\sigma_0^2}} + (\alpha - 3) \cdot \left( \frac{Q_0^3 \cdot Q^3}{6 \cdot \sigma_0^6} + \frac{Q_0^2 \cdot Q^2}{2 \cdot \sigma_0^4} + \frac{Q_0 \cdot Q}{\sigma_0^2} + 1 \right) \cdot e^{-\frac{Q_0 \cdot Q}{\sigma_0^2}}. \quad (9)$$

Последовательность использования этого метода для определения расчетного расхода:

- 1) по формулам (5) и (6) определяем значение  $\alpha$ ;
- 2) при дробных значениях  $\alpha$ , например при  $3 \leq \alpha \leq 4$ , используем формулу (9) для определения вероятности превышения  $p(Q)$  максимального расхода  $Q$  еще большим расходом;
- 3) подставляя в формулу (9) последовательно все имеющиеся максимальные расходы, получаем их вероятности превышения;
- 4) если, установленное значение  $P(Q)$  равно заданной вероятности превышения, то расчет заканчиваем. При этом расход соответствующий заданной вероятности является расчетным ( $Q = Q_p$ ).

**П р и м е ч а н и е.** Как правило, среди максимальных расходов, расчетный расход отсутствует. Поэтому, его значение определяют по величине расчетной вероятности превышения путем увеличения параметра  $Q$  в формуле (9) до такого значения, при котором вероятность  $p(Q)$  становится расчетной.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. М. : ФГУП ЦПП, 2004. 73 с.
2. Гидрология и гидротехнические сооружения / Г.Н. Смирнов, Е.В. Курлович, И.А. Витрешко, И.А. Мальгина. М. : Высшая школа, 1988. 472 с.
3. Соколовский Д.Л. Речной сток. Л. : Гидрометеорологическое изд-во, 1968. 538 с.
4. Столяров, В.В. Применение гамма-функции к определению величины расчетного расхода / В.В. Столяров, Э.Ю. Шмагина // Проблемы транспортного строительства и транспорта : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Саратов : СГТУ, 1997. Вып. 1. С. 50—53.
5. Столяров, В.В. Проектирование автомобильных дорог с учётом теории риска. Саратов : СГТУ, 1994. Ч. 1. 184 с. Ч. 2. 232 с.
6. Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. М. : Физматгиз, 1958. Ч. 1. 608 с.

## **НАШИ АВТОРЫ**

- Азаров Валерий Николаевич** д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности в техносфере ВолгГАСУ
- Акчурин Толгаты Кадимович** канд. техн. наук, проф., академик МАИЭС, зав. кафедрой строительных материалов и специальных технологий ВолгГАСУ
- Андреев Сергей Юрьевич** канд. техн. наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Пензенского государственного университета архитектуры и строительства
- Антюфеев Владимир Алексеевич** аспирант кафедры архитектуры сельских населенных мест Московского архитектурного института (государственной академии)
- Атопов Владимир Иванович** почетный гражданин города-героя Волгограда, заслуженный работник высшей школы РФ, действительный член Международной академии инвестиций и экономики строительства МАИЭС), президент Волгоградского отделения МАИЭС, член-корреспондент Российской академии ЖКХ, профессор кафедры технологии строительного производства ВолгГАСУ
- Баклыская Лариса Евгеньевна** член Союза архитекторов России, доцент кафедры дизайна Тихоокеанского государственного университета, г. Хабаровск
- Балакин Владимир Васильевич** канд. техн. наук, доцент кафедры организации и безопасности движения ВолгГАСУ
- Беликов Георгий Иванович** д-р техн. наук, доц., профессор кафедры сопротивления материалов ВолгГАСУ
- Беломутенко Светлана Владимировна** канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры отопления, вентиляции и экологической безопасности ВолгГАСУ
- Блажко Сергей Иванович** кафедра водоснабжения и водоотведения Пензенского государственного университета архитектуры и строительства
- Богомолов Александр Николаевич** заслуженный работник высшей школы РФ, академический советник РААСН, чл.-кор. Российской академии естествознания, член Российского и Международного обществ по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению, председатель Волгоградского регионального отделения РОММГиФ, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, декан строительного ф-та ВолгГАСУ
- Богуславский Евгений Иосифович** д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой пожарной и производственной безопасности Ростовского государственного строительного университета
- Бондарев Александр Борисович** студент Липецкого государственного технического университета
- Бондарев Борис Александрович** профессор кафедры строительных материалов Липецкого государственного технического университета
- Боровик Виталий Сергеевич** д-р техн. наук, проф., профессор кафедры экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ
- Васильев Николай Юрьевич** аспирант НИИТАГ РААСН
- Васильева Людмила Павловна** аспирант кафедры экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ
- Вихарева Оксана Александровна** нач. сектора № 1 ОДК Центра информационных технологий ВолгГАСУ
- Воронкова Галина Вячеславовна** канд. техн. наук, доцент кафедры строительной механики ВолгГАСУ
- Ганжа Ольга Александровна** соискатель кафедры экологического строительства и городского хозяйства ВолгГАСУ
- Глушко Андрей Александрович** аспирант кафедры пожарной и производственной безопасности Ростовского государственного строительного университета
- Голнич Анна Степановна** соискатель, ассистент кафедры изысканий и проектирования транспортных систем ВолгГАСУ
- Голованчиков Александр Борисович** д-р техн. наук, проф. кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности Волгоградского государственного технического университета

Голубева Светлана Ивановна	канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры отопления, вентиляции и экологической безопасности ВолгГАСУ
Гришин Борис Михайлович	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения Пензенского государственного университета архитектуры и строительства
Девятов Михаил Михайлович	канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой изысканий и проектирования транспортных сооружений, руководитель Института транспортного строительства ВолгГАСУ
Джабраилов Арсен Шахнавазович	аспирант, ассистент кафедры высшей математики Волгоградской государственной сельскохозяйственной академии
Ерофеев Владимир Трофимович	чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., декан строительного факультета Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева
Ефремов Михаил Юрьевич	канд. техн. наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химических производств Волгоградского государственного технического университета
Задвернюк Людмила Валерьевна	преподаватель кафедры архитектуры и урбанистики Института архитектуры и строительства Тихоокеанского государственного университета, г. Хабаровск
Зверев Виталий Валентинович	д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой металлических конструкций Липецкого государственного технического университета
Иванова Татьяна Григорьевна	аспирант, ассистент кафедры архитектуры и градостроительства Дальневосточного государственного технического университета, г. Владивосток
Калошина Светлана Валентиновна	ассистент кафедры строительного производства Пермского государственного технического университета
Карапузова Наталья Юрьевна	инженер кафедры физики ВолгГАСУ
Князев Василий Андреевич	инженер, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
Клочков Юрий Васильевич	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой высшей математики Волгоградской государственной сельскохозяйственной академии
Ковалев Николай Сергеевич	канд. техн. наук, доц., профессор кафедры планировки и кадастра населенных мест Воронежского государственного аграрного университета
Колобанов Алексей Сергеевич	аспирант кафедры строительного производства Липецкого государственного технического университета
Кондрашов Владимир Владимирович	аспирант кафедры строительной механики ВолгГАСУ
Корнеев Александр Дмитриевич	проф., зав. кафедрой строительных материалов Липецкого государственного технического университета
Котов Алексей Викторович	аспирант кафедры отопления, вентиляции и экологической безопасности ВолгГАСУ
Куц Людмила Романовна	ст. преподаватель кафедры энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ
Лифинцев Андрей Иванович	инженер ООО «автобан», г. Липецк
Лифинцев Олег Иванович	инженер ООО «автобан», г. Липецк
Литвинов Сергей Анатольевич	ООО «Волгоградтрансгаз»
Лукин Петр Александрович	аспирант кафедры отопления, вентиляции и экологической безопасности ВолгГАСУ
Лукьянсков Александр Станиславович	аспирант кафедры химии ВолгГАСУ
Люпаев Борис Михайлович	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева
Майорова Любовь Сергеевна	ст. преподаватель кафедры строительных материалов и специальных технологий ВолгГАСУ
Мещерякова Елена Владимировна	ассистент кафедры металлических конструкций Липецкого государственного технического университета
Михайлов Виталий Витальевич	д-р техн. наук., проф., зав. кафедрой строительного производства Липецкого государственного технического университета
Мокроусов Сергей Сергеевич	инженер, ст. преподаватель кафедры изысканий и проектирования транспортных сооружений ВолгГАСУ
Муравьева Людмила Викторовна	канд. техн. наук, доц. кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений ВолгГАСУ
Наумова Галина Алексеевна	д-р техн. наук, профессор, проф. кафедры строительной механики, проректор по научной работе ВолгГАСУ
Овчинников Илья Игоревич	ассистент кафедры мостов и транспортных сооружений Саратовского государственного технического университета
Орешкин Дмитрий Владимирович	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительных материалов Московского государственного строительного университета
Охотникова Юлия Викторовна	ст. преподаватель кафедры дизайна архитектурной среды Тихоокеанского государственного университета, г. Хабаровск
Пастухов Юрий Викторович	ведущий инженер ЗАО «Изотоп», г. Волгоград

<b>Перфилов Владимир Александрович</b>	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой технологии композиционных материалов и механизации строительства ВолгГАСУ
<b>Плеханова Лина Ильинична</b>	инженер кафедры энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ
<b>Полетаев Юрий Алексеевич</b>	аспирант, преподаватель кафедры автомобильных дорог и специальных инженерных сооружений Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева
<b>Пономарев Андрей Будимирович</b>	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительного производства Пермского государственного технического университета
<b>Пономарев Александр Викторович</b>	аспирант кафедры строительных материалов Липецкого государственного технического университета
<b>Попов Павел Владимирович</b>	доцент кафедры технологии строительного производства ВолгГАСУ
<b>Пушенко Андрей Сергеевич</b>	аспирант кафедры технологии строительного производства Ростовского государственного строительного университета
<b>Рекунов Сергей Сергеевич</b>	аспирант, инженер-программист кафедры строительной механики ВолгГАСУ
<b>Ромасев Владимир Иванович</b>	аспирант Воронежского государственного аграрного университета
<b>Сиволобова Наталья Олеговна</b>	канд. биол. наук, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности Волгоградского государственного технического университета
<b>Сидельникова Ольга Петровна</b>	д-р техн. наук, проф., профессор кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере ВолгГАСУ
<b>Сидоренко Владимир Федорович</b>	член-корреспондент Российской экологической академии, Международной академии наук, экологии и безопасности жизнедеятельности, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой экологического строительства и городского хозяйства, первый проректор по общим вопросам и стратегическому планированию ВолгГАСУ
<b>Соловьёв Кирилл Алексеевич</b>	старший преподаватель кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий Московского государственного строительного университета
<b>Старов Александр Васильевич</b>	канд. техн. наук, доцент кафедры строительной механики ВолгГАСУ
<b>Столяров Виктор Васильевич</b>	д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительства дорог и организации дорожного движения Саратовского государственного технического университета
<b>Тарасов Анатолий Александрович</b>	канд. техн. наук, доц., доцент кафедры сопротивления материалов Волгоградского государственного педагогического университета
<b>Толмачев Олег Витальевич</b>	аспирант Воронежского государственного архитектурно-строительного университета
<b>Толстиков Николай Петрович</b>	канд. техн. наук, профессор кафедры изысканий и проектирования транспортных систем ВолгГАСУ
<b>Тюкова Александра Константиновна</b>	аспирант кафедры оснований и механики грунтов Сибирской автомобильно-дорожной академии, г. Омск
<b>Фомичев Валерий Тарасович</b>	д-р техн. наук, зав. кафедрой химии ВолгГАСУ
<b>Цветкова Елена Владимировна</b>	аспирант, ассистент кафедры информатики и вычислительной математики ВолгГАСУ
<b>Чернявская Татьяна Антоновна</b>	канд. биол. наук, доцент кафедры экологического строительства и городского хозяйства ВолгГАСУ
<b>Чантуридзе Андрей Ушангиевич</b>	аспирант кафедры строительной механики ВолгГАСУ
<b>Чернявский Юрий Владимирович</b>	Волгоградский филиал Московского государственного университета сервиса
<b>Чистяков Евгений Геннадьевич</b>	аспирант кафедры строительных материалов Липецкого государственного технического университета
<b>Шестаков Владимир Николаевич</b>	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой оснований и механики грунтов Сибирской автомобильно-дорожной академии, г. Омск
<b>Шестаков Сергей Александрович</b>	канд. техн. наук, доц. кафедры нефтегазовых сооружений ВолгГАСУ
<b>Шиян Станислав Иванович</b>	канд. техн. наук, ген. директор ПИ «УкргазНИИпроект»
<b>Шишляников Вячеслав Васильевич</b>	канд. техн. наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химических производств Волгоградского государственного технического университета
<b>Шмагина Эльвира Юрьевна</b>	соискатель Саратовского государственного технического университета

## ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» со второго полугодия 2007 г. 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 кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.*

**Требования к оформлению статей.** Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении выписки из решения совета института (для авторов из ВолгГАСУ), выписки из протокола заседания кафедры и одной рецензии. К статьям по разделам технических и естественных наук прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати.

В статье приводятся: индекс УДК; на русском и английском языках: фамилия и инициалы автора, заглавие и аннотация (до 500 знаков). На отдельном листе помещаются сведения об авторах (фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты для связи с редакцией); текст статьи и сведения об авторах заверяются личной подписью автора (авторов) статьи.

Объем статьи — от 3 до 7 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office (Word 2003)*; шрифт *основного текста* — Times New Roman (Сур) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для набора формул используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

*Векторные рисунки*, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP, *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Сур) № 10 (10 пунктов).

В *библиографическом списке* приводится только цитируемая в статье литература. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках. В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.1—2003). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Сур) № 9 (9 пунктов).

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректурa статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается.

**КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.**

*Примерный график выпуска журнала:*

«Естественные науки» — выпуск временно приостановлен;

«Технические науки» — выпуск временно приостановлен;

«Гуманитарные науки» — выпуск прекращен в связи с основанием нового **журнала «Социология города»** (информация по тел. (8-844-2)-96-99-25, гл. ред. Б.А. Навроцкий, отв. секретарь редколлегии А.Б. Беспалов);

**«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).**

*Рубрики тематических серий журнала*

ISSN 1815-4360. Серия «Строительство и архитектура»

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 инвестиционно-градоостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Научно-методический раздел. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

**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: [gorachevae@mail.ru](mailto:gorachevae@mail.ru).

**Статьи направлять по адресу:** 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. Отв. секретарю редсовета «Вестника ВолгГАСУ» Воробьеву В.И. (Тел. (8-442)-96-98-46).

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно по тел. (8-442)-96-98-46.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГАСУ [www.vgasu.ru](http://www.vgasu.ru) (публикуются титулы последних выпусков журнала).

**Вниманию читателей и авторов!**

На очередные выпуски журнала

*«Вестник*

*Волгоградского государственного*

*архитектурно-строительного университета»*

**второго полугодия 2007 г.**

**и первого полугодия 2008 г.**

можно подписаться по каталогу **«ПРЕССА РОССИИ»**,

**индекс 85343.**

Обращайтесь в отделения ФГУП «Почта России».

Дополнительная информация о подписке и приобретении выпусков журнала  
по телефону редакции **(8-844-2)-96-98-46**

---

**Подписной индекс журнала**

**«Социология города»**

**29507**

**в каталоге «Пресса России»**

(справки по тел. редакции 8-844-2-96-99-25, 8-844-2-96-98-28)

Для заметок

Для заметок

Для заметок

Для заметок

Научное издание

ВЕСТНИК  
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Строительство и архитектура  
2007. Вып. 7 (26)

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

Редактор *О.Е. Горячева*

Перевод на английский язык *С.В. Жабина*

Компьютерная правка и верстка *И.Г. Анохина, О.Е. Горячева, О.В. Горячева*

Компьютерный дизайн обложки *О.Ю. Мелешин*

Информационно-библиографическое обслуживание выпуска *И.А. Тамбовцева*

Подписано в печать 03.08.07. Формат 70x108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.  
Уч.-изд. л. 21,7. Усл. печ. л. 23,8. Тираж 500 экз. (1-й завод — 120 экз.) Заказ №

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

Отпечатано в ОАО «ИПК «Царицын»»  
г. Волгоград, ул. Коммунистическая, 11