

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Выпуск **Серия: Строительство и архитектура** **2012**
28 (47) Научно-теоретический и производственно-практический
журнал

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

Выходит 4 раза в год
Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолгГАСУ

С о д е р ж а н и е

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

- Золина Т. В.** Вероятностный расчет одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, с учетом пространственной работы его каркаса 7
- Золина Т. В.** Вероятностный расчет одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, на сейсмическое воздействие 14
- Корниенко С. В.** Натурные исследования температурно-влажностного режима жилого здания при верификации метода расчета влаготеплопереноса в ограждающих конструкциях 19
- Масляев А. В.** Сейсмостойкость многих зданий с большим числом людей на этапах проектирования, строительства и эксплуатации 27

ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

- Богомолова О. А., Бартоломей И. Л., Бабаханов Б. С., Нестеров Р. С., Соловьев А. В.** Особенности напряженно-деформированного состояния грунтового основания составного плитного фундамента 36

Богомолова О. А., Иванов И. В., Иванов А. С., Соловьев А. В., Шиян С. И. Длительная устойчивость вертикальных стенок траншей	47
Мангушев Р. А., Ланько С. В. Влияние грунтоцементных конструкций на горизонтальные перемещения ограждений глубоких котлованов	54
СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА	
Гуреева Н. А., Киселева Р. З., Леонтьева В. В. Определение напряжений в зоне сочленения плосконагруженных разнородных криволинейных пластин на основе МКЭ	60
Кукса Л. В., Клименко В. И. Устойчивость сжатых стержней в зависимости от повышения физико-механических свойств упрочненных конструкционных материалов	67
Попов В. П., Давиденко А. Ю. Исследование процессов разрушения бетона конструкций гидротехнических сооружений, работающих на сжатие, на базе механики разрушения	76
Торшин Д. П., Торшин Д. Д. О спектре одной задачи о деформациях	81
Чесноков А. В. Работа пневматических оболочек в покрытиях зданий	88
Муравьева Л. В. Комплексный анализ безопасности подводных трубопроводов при динамических воздействиях	95
ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	
Тиратурян А. Н., Углова Е. В., Ляпин А. А. Влияние межслойного сцепления на спектральные характеристики отклика нежестких дорожных одежд	102
Кокодеева Н. Е., Кочетков А. В., Хижняк Е. М., Янковский Л. В. Программный комплекс оценки риска возникновения трещин с учетом применения геосинтетических материалов в конструкциях автомобильных дорог	109
Боровик В. С., Фомичев В. Т., Прокшиц В. Н., Ковалев К. М. Механизм действия ПАВ при использовании грунта в дорожном строительстве	119
Кокодеева Н. Е., Талалай В. В., Кочетков А. В., Аржанухина С. П., Янковский Л. В. Методологические основы оценки технических рисков	126
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Медведева О. Н. Моделирование и оптимизация межпоселковых систем газораспределения	135
Иваницкий М. С., Грига А. Д., Фокин В. М., Грига С. А. Построение модели для определения концентрации бензапирена при сжигании углеводородного топлива в котельных установках систем теплоснабжения	143
Диденко В. Г., Пивоваров В. В. Повышение надежности эксплуатации систем кондиционирования воздуха с воздушным охлаждением в летний период года	151
Прокофьев П. С. Принципиальные схемы компоновки систем кондиционирования воздуха с использованием роторного утилизатора теплоты	156
Боровков Д. П., Азаров Д. В., Старцев Ю. А. Применение раскручивателей для повышения энергоэффективности многоступенчатых систем аспирации предприятий строительной индустрии	164
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А. Расчет вентиляторной градири с капельным орошением	171
Павлинова И. И., Юдин П. В. Моделирование процессов идеального аэротенка-смесителя	179
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Четвертнов А. В., Бурлаченко О. В. Создание единой информационной трибологической системы для сопровождения и поддержки жизненного цикла строительных машин и оборудования	185
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Павлов М. В., Карпов Д. Ф., Калягин Ю. А. Верификация решения краевой задачи термовлагопереноса в слое сыпучего дисперсного материала на примере фрезерного торфа в натурных условиях	189
Хежеев Т. А., Кимов У. З., Думанов К. Х. Огнезащитные и жаростойкие свойства цементных бетонов на основе вулканических горных пород	196
Соков В. Н., Бегляров А. Э., Землянушнов Д. Ю., Жабин Д. В. Получение эффективных огнеупорных изделий в гидротеплосиловом поле	202
Калашников В. И., Миненко Е. Ю., Грачева Ю. В., Шпакова О. И. Исследование усадки высокопрочного бетона, модифицированного полиамидными волокнами	208
Королев Е. В., Береговой В. А., Береговой А. М. Исследование влияния характеристик глинистого сырья на свойства пен в технологии пеностеклокерамических материалов	214
Еремеев П. Д. О методике оценки физико-механических характеристик абразивных материалов для инструмента, применяемого при обдирочном шлифовании	220

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

- Холопов И. С., Бальзанников М. И., Алпатов В. Ю.** Применение решетчатых пространственных металлических конструкций в покрытиях машинных залов ГЭС 225

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

- Арынов К. К.** Основные функциональные группы, состав и площади помещений учебно-производственных центров прикладного ремесла 233
- Каганов Г. З.** Собор св. Петра в Риме как образец 400-летней реконструкции 242
- Посвятенко Ю. В.** Особенности культового строительства в фабричных селениях России на рубеже XIX—XX вв. 249
- Посвятенко Ю. В., Царев А. И.** Проблемы инженерного благоустройства провинции в 1960-е годы XX в. 256
- Киреева Т. В.** Университетский кампус — история возникновения и градостроительного развития (X—XIX вв.) 263

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

- Субботин О. С.** Формирование архитектурно-планировочной структуры первых поселений юга России 270
- Юшкова Н. Г.** Градостроительные аспекты моделирования процессов инновационного развития в регионе 277
- Антюфеев А. В., Птичникова Г. А.** Приоритеты градостроительного развития города через призму генеральных планов (на примере Сталинграда — Волгограда) 292
- Прокопенко В. В., Косицына Э. С.** Система компонентов городского ландшафта 301

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

- Богомолов А. Н., Олянский Ю. И., Киселева О. В., Чарыкова С. А., Кузьменко И. Ю.** Прогноз подтопления лессовых территорий 304
- Карпов А. В., Макаров О. А., Лобачева Г. К., Желтобрюхов В. Ф., Осипов В. М., Колодницкая Н. В.** Превентивная технология загрязнения земель, основанная на переработке нефтешламов с получением инертного грунта 325
- Петросян Т. О., Сидоренко В. Ф.** Экологическая безопасность автомобильных дорог 332
- Кагайкин И. А.** Типология природных и урбанизированных ландшафтов крупнейших городов Нижнего Поволжья 337
- Соколов И. И., Павлов Г. В., Соколов А. И., Горюнова Е. И., Соколов И. И.** Оценка рекреационного потенциала Волгоградской области 343

- НАШИ АВТОРЫ** 350

C o n t e n t

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

- Zolina T. V.** Probability calculation of one-story industrial building equiped with travelling crane taking into account space work of its skeleton 7
- Zolina T. V.** Probability calculation of one-story industrial building equiped with travelling crane on earthquake load 14
- Korniienko S. V.** Natural researches of temperature and moisture mode for the residential building at verification of the calculation method of moisture and heat transport to building components 19
- Maslyayev A. V.** Seismic resistance of buildings with a large number of people at stages of its designing, construction and operation 27

BASEMENTS, FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES

- Bogomolova O. A., Bartolomey I. L., Babakhanov B. S., Nesterov R. S., Solovev A. V.** Peculiarities of stressed and strained state of the ground of compound raft foundation 36
- Bogomolova O. A., Ivanov I. V., Ivanov A. S., Solovev A. V., Shiyan S. I.** Long-lasting stability of vertical walls of trenches 47
- Mangushev R. A., Lanko S. V.** The influence of unpaved and concrete constructions on horizontal movement of enclosures of deep trenches 54

STRUCTURAL MECHANICS

- Gureyeva N. A., Kiseleva R. Z., Leonteva V. V.** Determination of stress at the junction of planar loaded dissimilar curvilinear plates based on FEM 60
- Kuksa L. V., Klimenko V. I.** The compressed rods stability depending on increase of physical and mechanical properties of the hardened structural materials 67

Popov V. P., Davidenko A. Yu. Research of the processes of rupture of hydrotechnical concrete construction working by compression, based on mechanic of rupture	76
Torshin D. P., Torshin D. D. About the range of one task about deformations	81
Chesnokov A. V. Mechanical behavior of pneumatic cushions in roofings of buildings	88
Muraveva L. V. The complex analysis of underwater pipelines safety at dynamic influences	95
DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF HIGHWAYS, SUBWAYS, AERODROMES, BRIDGES AND TRAFFIC TUNNELS	
Tiraturyan A. N., Uglova E. V., Lyapin A. A. Influence of interlayer adhesion on spectral characteristics of pavement response	102
Kokodeeva N. E., Kochetkov A. V., Khizhnyak E. M., Yankovskiy L. V. The software complex for calculation of risk of cracks occurrence in monolithic layer of bend	109
Borovik V. S., Fomichev V. T., Prokshits V. N., Kovalev K. M. Mechanism of action of surface active substances when used with the soil in road construction	119
Kokodeeva N. E., Talalay V. V., Kochetkov A. V., Arzhanukhina S. P., Yankovskiy L. V. Methodological foundation of technical risks estimation	126
HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION	
Medvedeva O. N. Modelling and optimization of inter-settlement gas distribution systems	135
Ivanitskiy M. S., Griga A. D., Fokin V. M., Griga S. A. Development of model for determination of benzapyrene concentration while burning hydrocarbon fuel in boiler plants of heat supply systems	143
Didenko V. G., Pivovarov V. V. Increase of safety when using air conditioning systems with air cooling in summer	151
Prokofev P. S. Principle diagrams of composition of air conditioning systems with rotary heat utilizer	156
Borovkov D. P., Azarov D. V., Startsev Yu. A. Use of unwinders to increase energy efficiency of multi-stage systems of aspiration of construction enterprices	164
WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION	
Golovanchikov A. B., Merentsov N. A., Balashov V. A. Calculation of ventilation cooler with drip irrigation	171
Pavlinova I. I., Yudin P. V. Modelling of processes of ideal aeration tank mixer	179
TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION	
Chetvertnov A. V., Burlachenko O. V. Creation of unified information tribological system for support of life cycle of construction mashines and equipment	185
BUILDING MATERIALS AND ARTICLES	
Pavlov M. V., Karpov D. F., Kalyagin Yu. A. Verification of the decision of a regional heat and water transmission problem in a layer of a loose disperse material on an example of milling peat in natural conditions	189
Khezhev T. A., Kimov U. Z., Dumanov K. Kh. Fire and heat resisting properties of cement concrete based on volcanic rock material	196
Sokov V. N., Beglyarov A. E., Zemlyanushnov D. Yu., Zhabin D. V. Receiving of effective refractory articles in the hydrothermoforce field	202
Kalashnikov V. I., Minenko E. Yu., Gracheva Yu. V., Shlapakova O. I. Research of shrinkable deformations of the high-strength concrete modified by polyamide fibres	208
Korolev E. V., Beregovoy V. A., Beregovoy A. M. Research of influence of agrillous raw material characteristics on foam nature in foam-glass-ceramic material technology	214
Eremeev P. D. Estimation method of physical and mechanical characteristics of grinding materials for instruments used in rough grinding	220
HYDROTECHNICAL ENGINEERING	
Kholopov I. S., Balzannikov M. I., Alpatov V. Yu. The use of spatial grid metal structures in the roof of HPP turbine rooms	225
ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	
Arynov K. K. Main functional groups, structure and square of the classrooms of educational and production centers of applied crafts	233
Kaganov G. Z. St. Peter's basilica in Rome as an example of 400-years' reconstruction	242
Posvyatenko Yu. V. Features of religious construction in the industrial villages in Russia at the turn of the XIX—XX centuries	249
Posvyatenko Yu. V., Tsarev A. I. Problems of engineering improvement in province in 1960s of the XX century	256
Kireeva T. V. University campus — the history of its creation and city-planning development (X—XIX centuries)	263

URBAN PLANNING

Subbotin O. S. Organization of architectural and planning structures of first settlements in the south of Russia	270
Yushkova N. G. Town-planning aspects of innovative development processes modelling in the region	277
Antyufeev A. V., Ptichnikova G. A. Priorities of urban development in terms of a master plan (by the example of Stalingrad — Volgograd)	292
Prokopenko V. V., Kositsyna E. S. System of component city landscape	301

ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF URBAN PLANNING

Bogomolov A. N., Olyanskiy Yu. I., Kiseleva O. V., Charykova S. A., Kuzmenko I. Yu. Flooding of loessial territories forecast	304
Karpov A. V., Makarov O. A., Lobacheva G. K., Zheltobryukhov V. F., Osipov V. M., Kolodnitskaya N. V. Preventing technology against pollution of land based on recycling of oil-slime with obtained passive soil	325
Petrosyan T. O., Sidorenko V. F. Ecological safety of highways	332
Kagaykin I. A. Typology of natural and urban landscapes of the largest cities of the Low Volga region	337
Sokolov I. I., Pavlov G. V., Sokolov A. I., Goryunova E. I., Sokolov I. I. Estimation of recreational potential of Volgograd oblast	343

OUR AUTHORS	350
-------------	-----



От всей души поздравляем **Теличенко Валерия Ивановича**, ректора Московского государственного строительного университета, профессора, доктора технических наук, академика Российской академии архитектуры и строительных наук, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, с 65-летним юбилеем!

Трудовая, научная, педагогическая и общественная деятельность Валерия Ивановича отмечена многочисленными наградами и почетными званиями, украшена уважением коллег и признательностью друзей. Валерий Иванович пользуется признанием всего научного сообщества не только в России, но и далеко за ее пределами.

Под руководством В. И. Теличенко МГСУ вошел в число лидирующих технических вузов России. В 2010 г. МГСУ была присвоена престижная категория «Национальный исследовательский университет», открывшая новые возможности для развития строительной науки в масштабах всей страны. В 2011 г. на базе и по инициативе НИУ МГСУ было подписано Соглашение о создании Отраслевого стратегического партнерства в строительной отрасли, закрепленное подписями министра образования и науки РФ, министра регионального развития РФ, президента Международной ассоциации строительных вузов — ректора МГСУ и глав Национальных объединений в строительной сфере.

МГСУ по праву называют главным строительным вузом страны — выпускники университета занимают ключевые позиции в строительной и смежных отраслях, работают в разных уголках страны и мира.

ВолгГАСУ и МГСУ долгие годы плодотворно сотрудничают. Задачи этого партнерства — обмен идеями, академическая мобильность, развитие новых направлений обучения — информационных систем, энергосбережения, экологии и других.

Уважаемый Валерий Иванович, примите наши пожелания дальнейших успехов в развитии системы высшего строительного образования и подготовке молодых кадров, из которых будет формироваться строительный потенциал страны в XXI веке. Пусть здоровье и силы дают Вам возможность достигать новых высот. Желаем Вам реализации всех планов, осуществления всех Ваших надежд!

*Ректор, главный редактор журнала
С. Ю. Калашиников*

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.042.3:621.87

Т. В. Золина

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ, ОБОРУДОВАННОГО МОСТОВЫМ КРАНОМ, С УЧЕТОМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАБОТЫ ЕГО КАРКАСА

Указывается на необходимость учета действия боковых сил, вызываемых движением мостового крана с перекосом, на каркас одноэтажного промышленного здания. Приводятся основные положения и результаты вероятностного расчета одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, по разработанной автором пространственной расчетной схеме.

Ключевые слова: вероятностный расчет, крановая нагрузка, боковая сила, пространственная расчетная модель, одноэтажное промышленное здание, оборудованное мостовым краном.

The necessity of the registration of lateral force, caused by the movement of a travelling crane transition, on a one-story industrial building skeleton is pointed out. The basic thesis and results of the probability calculation of a one-story industrial building equipped with a travelling crane are given according to the space mathematic model, developed by the author.

Key words: probability calculation, crane load, lateral force, space mathematic model, one-story industrial building equipped with a travelling crane.

Как известно, наибольшее воздействие на каркасы одноэтажных производственных зданий оказывают мостовые краны, передающие на поддерживающие их конструкции зданий вертикальные, горизонтальные поперечные и продольные нагрузки.

Опыт проектирования и эксплуатации одноэтажных промышленных зданий с мостовыми кранами показывает, что для оценки жесткости каркаса (как продольной, так и поперечной) должны рассматриваться его горизонтальные смещения в уровнях покрытия и подкранового пути, вызванные воздействием горизонтальных крановых нагрузок. В соответствии с действующими нормами проектирования при расчете поперечных рам и балок крановых путей предписывается учитывать нагрузку, вызываемую торможением крановой тележки — поперечную тормозную силу. Но как показали многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, проведенные автором [1, 2], физическая природа горизонтальных воздействий мостовых кранов на конструкции зданий связана не только с торможением крановой тележки, но и с движением мостового крана с перекосом, при ко-

тором появляются так называемые боковые силы. Как показано в работе [3], боковые силы по своей природе — это силы трения поперечного скольжения, возникающего в результате несовпадения плоскости вращения кранового колеса с направлением его движения, то есть перекоса колеса. Перекосы колес характерны для любых мостовых кранов, движущихся по реальным крановым путям, и носят неустранимый характер [3]. Это оказывает существенное влияние на ресурс конструкций эксплуатируемого здания.

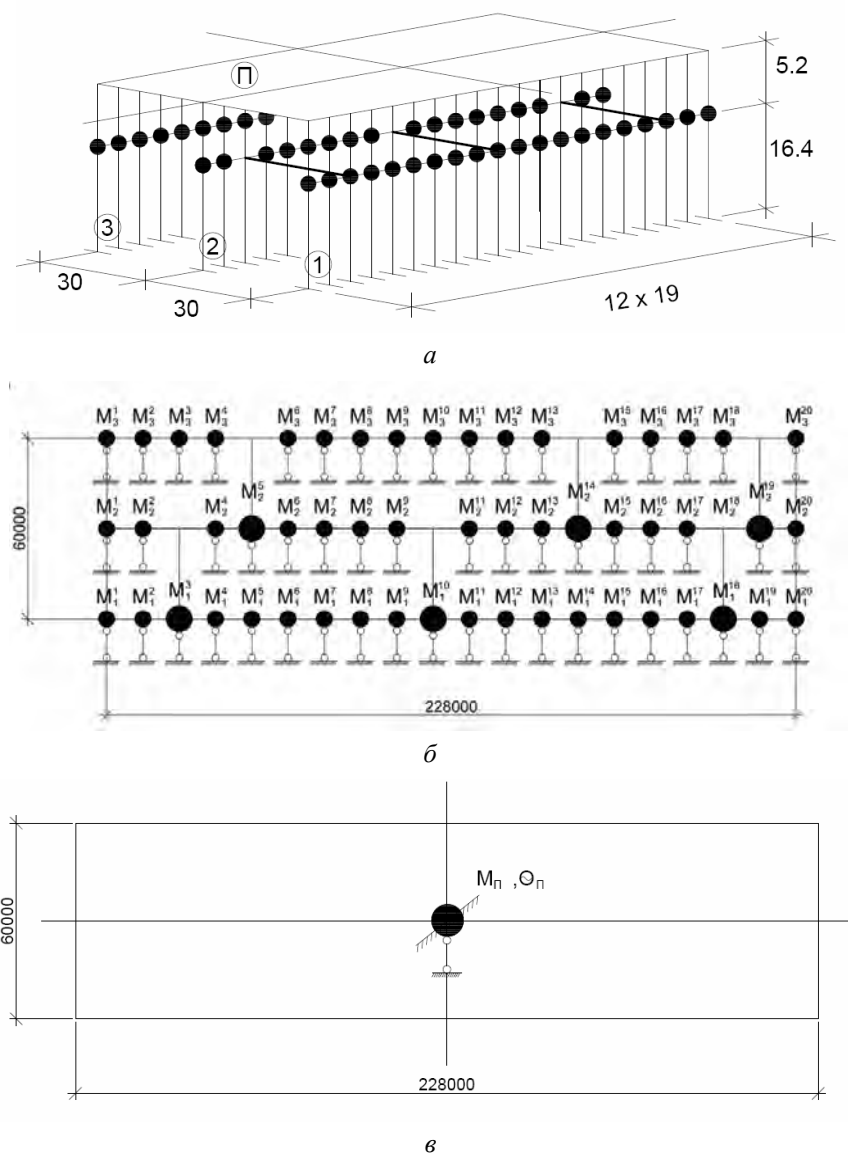


Рис. 1. Расчетная схема одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном: а — расчетная схема в аксонометрии; б — расположение расчетных точек в уровне подкрановых балок; в — расположение расчетной точки на покрытии — в центре масс

Учитывая вышеизложенное, а также то, что горизонтальная поперечная нагрузка, передаваемая мостовым краном на конструкции каркаса промышленного здания, носит в большинстве своем случайный характер (в особенности боковые силы), автором был выполнен вероятностный расчет поперечной рамы цеха одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном. В качестве расчетной схемы здания принята разработанная автором пространственная расчетная модель [1]. Для расчета было взято здание, достаточно подробно описанное в работе [1], расчетная схема которого представлена на рисунке 1. Расчет выполнен на действие вертикальной (давление от крана) и горизонтальных (поперечные тормозные силы и боковые силы) сил в вероятностной постановке при помощи, разработанной автором расчетной программы DINCIB-NEW. На рисунках 2 и 3 представлены этапы ввода и значения исходных данных для здания и мостового крана. Значения обобщенных числовых характеристик вероятностных распределений крановой нагрузки вычислены согласно [3] по формулам:

Введите исходные данные для проведения расчета

Мостовой кран Номер точки приложения нагрузки: (точка, где сосредоточена масса крана) 3 Вес кранового моста: 520 Вес тележки крана: 181 Грузоподъемность крана: 50 Пролет крана: 28 База крана: 4.75 Число колес на одной стороне крана: 2	Вертикальное усилие на колесе крана: действительное: 490 минимальное: 180 максимальное: 490 без груза с тележкой, расположенной посередине моста: 206
Вариативность Тип привода: ☒ центральный ☐ раздельный Тип подвеса: ☐ жесткий ☒ гибкий ☒ участок пути с отклонениями колеи более 40 мм	
Дополнительно: Минимальное приближение крюка к оси кранового рельса: 0.5 Сумма ординат линии влияния при учете одного крана: 1.6 Расстояние от рамы, в которой приложена нагрузка, до центра масс: 90.35 Максимальное значение нагрузки от торможения крановой тележки: 27 Нормативный вес подкрановых конструкций: 45	

Рис. 2. Ввод и значения исходных данных по крану

Принятые единицы измерения Длина: м Время: сек Масса: т Сила: кН	Колонны Высота надкрановой части: 5.19 м подкрановой части: 16.42 м																												
ПЗ Длина здания: 228 м Общая высота здания: 30.8 м Длина пролета: 30 м Шаг поперечных рам: 12 м	Характеристики сечения <table border="1"> <tr> <th colspan="2">изгибная жесткость</th> <th colspan="2">момент сопротивления</th> </tr> <tr> <td colspan="2">средней колонны:</td> <td colspan="2">средней колонны:</td> </tr> <tr> <td>надкрановой части:</td> <td> 915000 кН м*</td> <td>надкрановой части:</td> <td> 0.0094 м*</td> </tr> <tr> <td>подкрановой части:</td> <td> 11491000 кН м*</td> <td>подкрановой части:</td> <td> 0.0547 м*</td> </tr> <tr> <td colspan="2">крайней колонны:</td> <td colspan="2">крайней колонны:</td> </tr> <tr> <td>надкрановой части:</td> <td> 735000 кН м*</td> <td>надкрановой части:</td> <td> 0.0075 м*</td> </tr> <tr> <td>подкрановой части:</td> <td> 4836000 кН м*</td> <td>подкрановой части:</td> <td> 0.0268 м*</td> </tr> </table>	изгибная жесткость		момент сопротивления		средней колонны:		средней колонны:		надкрановой части:	915000 кН м*	надкрановой части:	0.0094 м*	подкрановой части:	11491000 кН м*	подкрановой части:	0.0547 м*	крайней колонны:		крайней колонны:		надкрановой части:	735000 кН м*	надкрановой части:	0.0075 м*	подкрановой части:	4836000 кН м*	подкрановой части:	0.0268 м*
изгибная жесткость		момент сопротивления																											
средней колонны:		средней колонны:																											
надкрановой части:	915000 кН м*	надкрановой части:	0.0094 м*																										
подкрановой части:	11491000 кН м*	подкрановой части:	0.0547 м*																										
крайней колонны:		крайней колонны:																											
надкрановой части:	735000 кН м*	надкрановой части:	0.0075 м*																										
подкрановой части:	4836000 кН м*	подкрановой части:	0.0268 м*																										
Отмена Сохранить																													

Рис. 3. Ввод и значения исходных данных по зданию вертикальное давление от крана

вертикальное давление от крана:

$$\bar{X}_B = (0,66 - 0,243\eta)F_n;$$

$$\sigma_{X_B} = 0,131F_n;$$

$$\eta = \frac{Q}{G_T},$$

где F_n — нормативное значение вертикального давления на колесо; Q — грузоподъемность крана; G_T — вес тележки крана;

торможение крановой тележки:

$$\bar{X}_{T.c} = \frac{T_{кр}^H}{1 - 1,64v},$$

$$T_{кр}^H = 0,05 \frac{Q \cdot 9,81 + G_T}{n_0},$$

где $T_{кр}^H$ — нормативное значение тормозной нагрузки на колесо; n_0 — число колес на одной стороне крана; v — коэффициент вариации, принимаемый равным 0,1;

боковые силы:

$$\bar{X}_{\delta.c} = 0,1\bar{F}_{max} + \frac{\alpha(\bar{F}_{max} - \bar{F}_{min})L}{B},$$

$$\bar{F}_{max} = \left[\frac{G_M}{2} + \frac{(\bar{Q} + G_T)(L - a)}{L} \right] \frac{1}{n_0},$$

$$\bar{F}_{min} = \left[\frac{G_M}{2} + \frac{(\bar{Q} + G_T)a}{L} \right] \frac{1}{n_0},$$

$$\bar{Q} = 0,5Q,$$

где B, L — соответственно, база и пролет крана; $\bar{F}_{max}, \bar{F}_{min}$ — математические ожидания вертикального давления на колесо, соответственно на наиболее и наименее нагруженной стороне крана; α — коэффициент, принимаемый равным 0,03; G_M — вес моста крана; a — минимальное приближение крюка крана к оси кранового рельса.

В ходе вероятностного расчета были получены значения числовых характеристик изгибающего момента и нормальных напряжений (рис. 4—6).

Вертикальное давление от крана:

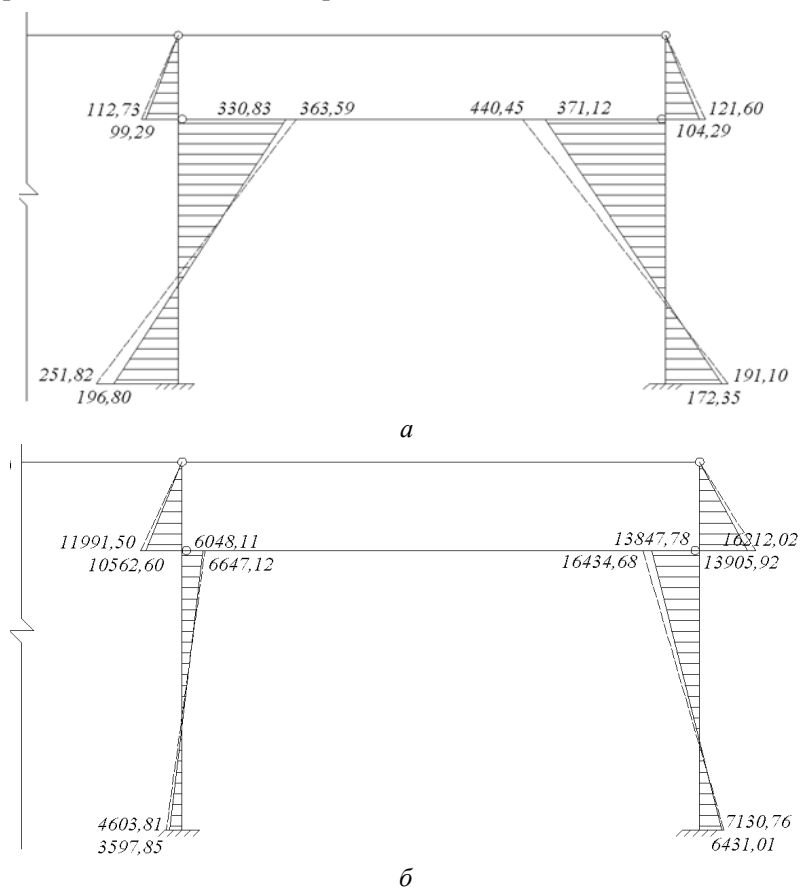


Рис. 4. Эпюры изгибающих моментов и нормальных напряжений в пролете с мостовым краном (пунктиром показаны эпюры с учетом увеличения на три стандарта): *a* — эпюра изгибающих моментов; *б* — эпюра нормальных напряжений

Торможение крановой тележки:

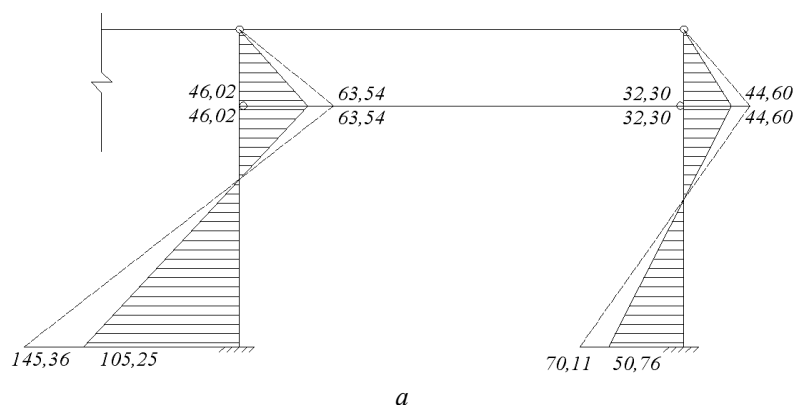


Рис. 5. Эпюры изгибающих моментов и нормальных напряжений в пролете с мостовым краном (пунктиром показаны эпюры с учетом увеличения на три стандарта): *a* — эпюра изгибающих моментов

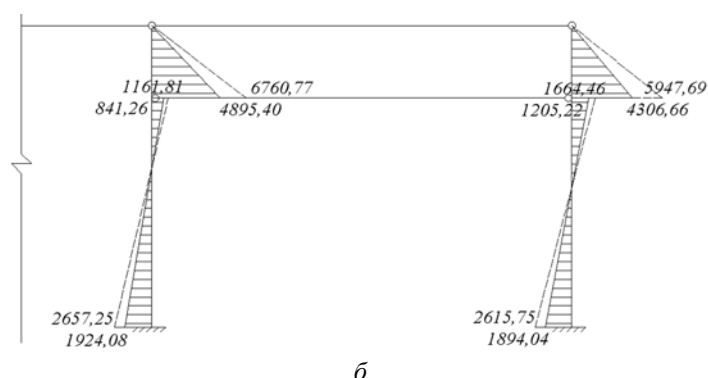


Рис. 5. Эпюры изгибающих моментов и нормальных напряжений в пролете с мостовым краном (пунктиром показаны эпюры с учетом увеличения на три стандарта); *б* — эпюра нормальных напряжений

Боковые силы:

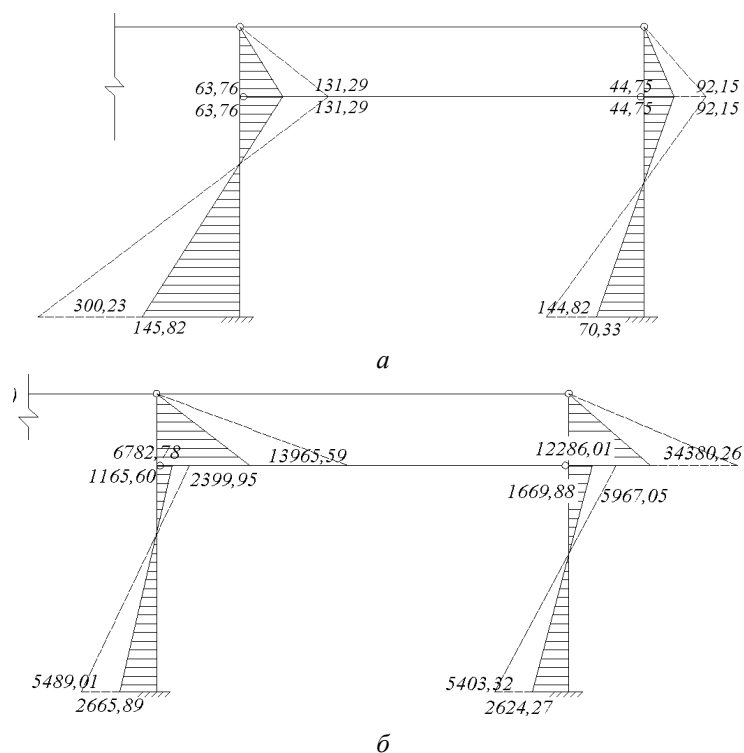


Рис. 6. Эпюры изгибающих моментов и нормальных напряжений в пролете с мостовым краном (пунктиром показаны эпюры с учетом увеличения на три стандарта); *а* — эпюра изгибающих моментов; *б* — эпюра нормальных напряжений

Приведенные результаты расчетов наглядно показывают необходимость учета влияния боковых сил на работу каркаса промышленного здания (значения изгибающих моментов и нормальных напряжений в 1,5...2 раза выше, чем от действия тормозных сил).

Проведенный вероятностный расчет демонстрирует возможность применения разработанной автором пространственной расчетной модели одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, для оценки надежности (безопасности и эксплуатационной пригодности) проектируемых и эксплуатируемых зданий и сооружений. К тому же проведение вероятностных расчетов позволяет более эффективно управлять процессами проектирования, строительства и эксплуатации строительных объектов на протяжении всего их жизненного цикла.

Представленный вероятностный расчет является составной частью комплексной задачи по оценке надежности проектируемых и эксплуатируемых промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами при сейсмических воздействиях, решаемой в рамках деятельности научной школы «Безопасность и долговечность зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях и при экстремальных природных и техногенных воздействиях».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Золина Т. В. Расчет одноэтажных промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами, на горизонтальное крановое воздействие с учетом пространственной работы: дис... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1989. — 242 с.
2. Золина Т. В. Проблемы реконструкции промышленных зданий очистных сооружений при увеличении технологических нагрузок // Известие ЖКА. Городское хозяйство и экология, 1997. — С. 54—60.
3. Перельмутер А. В. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, В. А. Пашинский, А. В. Перельмутер, С. Ф. Пичугин. — М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. — 482 с.
1. Zolina T. V. Raschet odnoenazhnykh promyshlennykh zdani, oborudovannykh mostovymi kranami, na gorizontalnnoye kranovoye vozdeistviye s uchetom prostranstvennoy raboty: dis... kand. tekhn. nauk. — M. : MISI, 1989. — 242 s.
2. Zolina T. V. Problemy rekonstruktsii promyshlennykh zdani ochistnykh sooruzheni pri uvelichenii tekhnologicheskikh nagruzok // Izvestiya ZHKA. Gorodskoe khozyaystvo i ekologiya, 1997. — S. 54—60.
3. Perelmutter A. V. Nagruzki i vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya / V. N. Gordeev, A. I. Lantukh-Lyashchenko, V. A. Pashinski, A. V. Perelmutter, S. F. Pichugin. — M. : Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2007. — 482 s.

© Золина Т. В., 2012

Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Золина Т. В. Вероятностный расчет одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, с учетом пространственной работы его каркаса // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 7—13.

УДК 624.042.3:621.87

Т. В. Золина

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ РАСЧЕТ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ,
ОБОРУДОВАННОГО МОСТОВЫМ КРАНОМ,
НА СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ**

Приводятся основные положения и результаты вероятностного расчета одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном по разработанной автором пространственной расчетной схеме на сейсмическое воздействие.

К л ю ч е в ы е с л о в а: вероятностный расчет; сейсмическое воздействие; пространственная расчетная модель; одноэтажное промышленное здание, оборудованное мостовым краном.

The basic thesis and results of probability calculation of one-story industrial building, equipped with a travelling crane are given in the article according to the developed by the author calculation scheme on earthquake load.

Key words: probability calculation; earthquake load; space mathematic model; one-story industrial building, equipped with a travelling crane.

В последние годы особую актуальность приобрели методы анализа риска аварий строительных объектов. В первую очередь, это связано с возросшим числом аварий на данных объектах, вызванных природными и техногенными воздействиями, а также необходимостью разработки превентивных и компенсационных мер по смягчению последствий этих аварий.

Количественную оценку риска, как проектируемых, так и эксплуатируемых зданий и сооружений, можно получить только при проведении вероятностных расчетов. Особенно остро вопрос о необходимости проведения вероятностных расчетов стоит при расчетах зданий и сооружений на сейсмические воздействия, обладающие высокой степенью неопределенности (амплитуда, спектральный состав, направление и продолжительность, а также время начала землетрясения). Широко применяемые в настоящее время типовые расчетные комплексы базируются на дискретных моделях зданий и сооружений на основе МКЭ, что ограничивает их применение для проведения вероятностных расчетов и, как следствие, для оценки риска.

Представленная в данной работе пространственная расчетная модель одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном (рис. 1), разработанная автором и подробно описанная в работах [1—3], позволяет проводить расчеты здания как в детерминированной, так и в вероятностной постановке. Методика проведения детерминированных расчетов с использованием данной модели приведена в работах [1, 2], а вероятностных — в работе [3].

Сейсмическое воздействие на здание представляется в виде пространственно-временного случайного поля [4]:

$$\tilde{U}_0(t) = \left[\tilde{X}_{01}(t), \tilde{X}_{02}(t), \tilde{X}_{03}(t), \tilde{a}_{01}(t), \tilde{a}_{02}(t), \tilde{a}_{03}(t) \right].$$

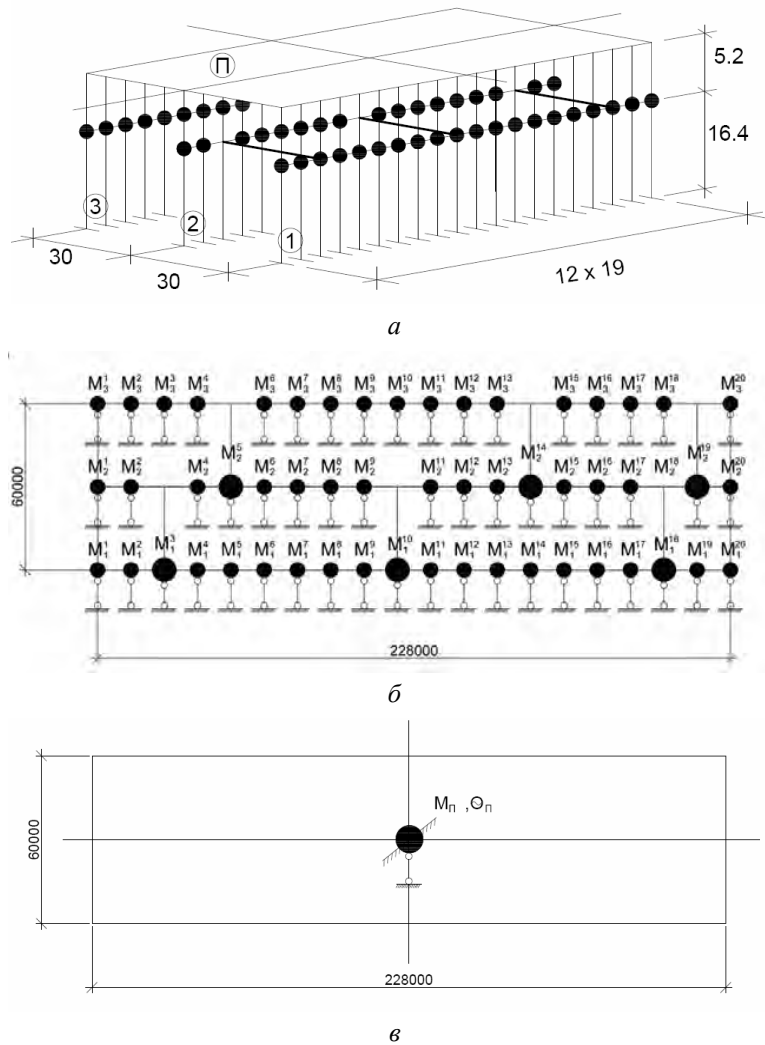


Рис. 1. Расчетная схема одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном: *a* — расчетная схема в аксонометрии; *б* — расположение расчетных точек в уровне подкрановых балок; *в* — расположение расчетной точки на покрытии — в центре масс

Компонентами этого случайного поля служат стационарные и стационарно-связанные случайные функции поступательного $\tilde{X}_{0i}(t)$ и вращательного $\tilde{a}_{0i}(t)$ движений грунта:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{X}_{0i}(t) &= A_{0zi} e^{-\gamma_{xi}t} \tilde{X}_{0is}(t), \\ \tilde{a}_{0i}(t) &= A_{0ai} e^{-\gamma_{ai}t} \tilde{a}_{0is}(t), \end{aligned} \right\} \quad i = 1, 2, 3.$$

Расчет на действие сейсмической нагрузки выполнен в вероятностной постановке при помощи, разработанной автором расчетной программы DINCIB-NEW. На рис. 2 и 3 представлены этапы ввода и значения исходных данных для здания и мостового крана.

Принятые единицы измерения Длина: м Времена: сек Масса: т Сила: кН	
ПЗ Длина здания: 228 м Общая высота здания: 30,8 м Длина пролета: 30 м Шаг поперечных рам: 12 м	
Колонны Высота надкрановой части: 5,19 м подкрановой части: 16,42 м	
Характеристики сечения изгибная жесткость средней колонны: надкрановой части: 915000 кН·м² подкрановой части: 11491000 кН·м² крайней колонны: надкрановой части: 735000 кН·м² подкрановой части: 4836000 кН·м²	
момент сопротивления средней колонны: надкрановой части: 0,0094 м⁴ подкрановой части: 0,0547 м⁴ крайней колонны: надкрановой части: 0,0075 м⁴ подкрановой части: 0,0268 м⁴	
Отмена Сохранить	

Рис. 2. Ввод и значения исходных данных по зданию

Введите исходные данные для проведения расчета	
Мостовой кран Номер точки приложения нагрузки: (точка, где сосредоточена масса крана) 3 Вес кранового моста: 520 Вес тележки крана: 181 Грузоподъемность крана: 50 Пролет крана: 28 База крана: 4,75 Число колес на одной стороне крана: 2	Вертикальное усилие на колесе крана: действительное: 490 минимальное: 180 максимальное: 490 без груза с тележкой, расположенной посередине моста: 206
Вариативность Тип привода: ☒ центральный ☐ раздельный Тип подвеса: ☐ жесткий ☒ гибкий ☒ участок пути с отклонениями колес более 40 мм	
Дополнительно: Минимальное приближение крюка к оси кранового рельса: 0,5 Сумма ординат линии влияния при учете одного крана: 1,6 Расстояние от рамы, в которой приложена нагрузка, до центра масс: 90,35 Максимальное значение нагрузки от торможения крановой тележки: 27 Нормативный вес подкрановых конструкций: 45	

Рис. 3. Ввод и значения исходных данных по крану

В ходе расчета были получены значения первых десяти собственных частот и перемещения поперечной рамы в уровне подкрановой балки и покрытия (табл. 1 и 2).

Т а б л и ц а 1

Значения собственных частот колебаний здания

Номер собственной частоты колебания i	1	2	3	4	5
Собственная частота $\omega_i, \text{с}^{-1}$	4,131	4,394	24,569	25,405	25,548
Номер собственной частоты колебания i	6	7	8	9	10
Собственная частота $\omega_i, \text{с}^{-1}$	25,667	25,714	25,924	26,108	27,796

Т а б л и ц а 2

Значения перемещений наиболее нагруженной поперечной рамы по каждой собственной частоте колебания

Номер собственной частоты колебания i	1	2	3	4	5
Перемещение в уровне подкрановой балки, м	0,0511	0,0706	0,0006	–0,0008	0,0027
Перемещение в уровне покрытия, м	0,0880	0,1194	0,0008	–0,0022	0,0026
Номер собственной частоты колебания i	6	7	8	9	10
Перемещение в уровне подкрановой балки, м	0,0141	0,0095	0,0136	0,0273	–0,0010
Перемещение в уровне покрытия, м	0,0155	0,0097	0,0173	0,0318	–0,0019

Проведенный вероятностный расчет демонстрирует возможность применения разработанной автором пространственной расчетной модели одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, для оценки надежности (безопасности и эксплуатационной пригодности) проектируемых и эксплуатируемых зданий и сооружений, подверженных воздействию случайной сейсмической нагрузкой.

Представленный расчет является составной частью комплексной задачи по оценке надежности проектируемых и эксплуатируемых промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами при сейсмических воздействиях, решаемой в рамках деятельности научной школы «Безопасность и долговечность зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях и при экстремальных природных и техногенных воздействиях».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Золина Т. В. Расчет одноэтажных промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами, на горизонтальное крановое воздействие с учетом пространственной работы // Канд. диссертация. — М. : МИСИ, 1989. — 242 с.

2. Золина Т. В. Проблемы реконструкции промышленных зданий очистных сооружений при увеличении технологических нагрузок // Изв. ЖКА. Городское хозяйство и экология, 1997. — С. 54—60.

3. Золина Т. В. Вероятностный расчет одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном с учетом пространственной работы его каркаса // Вестник ВолгГАСУ. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2012.

4. Надежность зданий как пространственных составных систем при сейсмических воздействиях / В. А. Пшеничкина, А. С. Белоусов, А. Н. Кулешова, А. А. Чураков ; под ред. В. А. Пшеничкиной. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2010. — 180 с.

1. Zolina T. V. Raschet jednoetazhnykh promyshlennykh zdani, oborudovannykh mostovymi kranami, na gorizontalnnoye kranovoye vozdeistviye s uchetom prostranstvennoy raboty // Kand. disertatsiya. — M. : MISI, 1989. — 242 s.

2. Zolina T. V. Problemy rekonstruktsii promyshlennykh zdani ochistnykh sooruzheni pri uvelichenii tekhnologicheskikh nagruzok // Izv. ZHKA. Gorodskoe khozyaistvo i ekologiya, 1997. — S. 54—60.

3. Zolina T. V. Veroyatnostnyi raschot jednoetazhnogo promyshlennogo zdaniya oborudovanogo mostovym kranom s uchotom prostranstvennoi raboty ego karkasa // Vestnik VolgGASU. — Volgograd : VolgGASU, 2012.

4. Nadezhnost zdani kak prostranstvennykh sostavnykh system pri seismicheskikh vozdeystviyakh / V. A. Pshenichkina, A. S. Belousov, A. N. Kuleshova, A. A. Churakov : pod red. V. A. Pshenichkinoy. — Volgograd : VolgGASU, 2010. — 180 s.

© Золина Т. В., 2012

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Золина Т. В. Вероятностный расчет одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, на сейсмическое воздействие // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 14—18.

УДК 699.86

С. В. Корниенко

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ЖИЛОГО ЗДАНИЯ ПРИ ВЕРИФИКАЦИИ МЕТОДА РАСЧЕТА ВЛАГОТЕПЛОПЕРЕНОСА В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Проведены натурные исследования температурно-влажностного режима жилого здания, которые показали, что безопасные условия для проживания в нем не обеспечены в соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ. Верификация метода расчета влаготеплоперевода в ограждающих конструкциях, разработанного автором, на результатах натурных исследований подтверждает его достоверность, что позволяет использовать этот метод в проектной практике.

К л ю ч е в ы е с л о в а: температурно-влажностный режим, натурные исследования, метод расчета.

Natural researches of temperature and moisture mode of residential building showing that safe conditions for accommodation in it aren't provided according to the Federal law No. 384—FZ are carried out in the article. Verification of the calculation method for heat and moisture transport to building components, developed by the author, on results of natural researches confirms its reliability that allows to use this method in design.

K e y w o r d s: temperature and moisture mode, natural researches, calculation method.

Проблема энергосбережения и повышения энергоэффективности зданий тесно связана с необходимостью исследования процессов тепломассообмена, прогноза температурно-влажностного режима ограждающих конструкций и повышения надежности теплотехнических расчетов. Большой вклад в решение этой проблемы внесли В. Н. Богословский, А. В. Лыков, А. У. Франчук, К. Ф. Фокин, В. М. Ильинский, Б. Ф. Васильев, В. И. Лукьянов, В. Г. Гагарин, А. И. Ананьев, А. Г. Перехоженцев, О. Кришер и другие ученые.

Автором разработаны теоретические основы и метод расчета температурно-влажностного режима в трехмерных областях ограждающих конструкций зданий на основе физико-математической модели совместного нестационарного тепловлагоденоса [1—3]. Указанная модель основана на теории потенциала влажности В. Н. Богословского с применением шкалы абсолютного потенциала влажности, разработанной автором. Использование шкалы абсолютного потенциала влажности позволяет существенно упростить модель тепловлагоденоса [1, 2]. Разработанная физико-математическая модель реализована в компьютерной программе, которая позволяет производить расчет трехмерных нестационарных температурных и влажностных полей в краевых зонах ограждающих конструкций в широком диапазоне влажности и температуры при сложных граничных условиях. Указанный метод позволяет учесть влияние краевых зон на теплозащитные свойства ограждений [3].

В данной статье приведены результаты натурных исследований температурно-влажностного режима жилого здания, которые использованы для верификации разработанного метода расчета. Постановка и проведение эксперимента, а также обработка полученных результатов выполнены автором.

Объектом натурального обследования является 5-этажный, 90-квартирный жилой дом (рис. 1) в г. Волжском Волгоградской области. Дом был введен в

эксплуатацию после реконструкции, проведенной в 2009 году. Конструктивная система здания объемно-блочная с применением объемных блоков типа «колпак». Стены объемных блоков выполнены из тяжелого бетона плотностью 1800 кг/м^3 толщиной 70 мм с навесными панелями наружных стен из керамзитобетона плотностью 900 кг/м^3 толщиной 250 мм. При реконструкции была применена система дополнительной теплоизоляции наружных стен с вентилируемым фасадом. Заполнение проемов наружных стен выполнено оконными блоками из однокамерных стеклопакетов в ПВХ профилях. Система отопления централизованная одноконтурная с нижней разводкой подающей и обратной магистралей. Система вентиляции приточно-вытяжная канальная с естественным притоком воздуха через автономные стеновые воздушные клапаны и удалением воздуха через вытяжные вентиляционные каналы.



Рис. 1. Общий вид обследованного здания

Натурные исследования температурно-влажностного режима указанного здания проведены в феврале 2011 года. Число обследованных квартир — 15. Все измерения выполнены методом неразрушающего контроля с применением современных цифровых измерительных приборов. Измерения температуры внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций выполнены с помощью цифрового контактного термометра ТК—5,05 со сменным зондом ЗПИ 150 (зав. № 429387/429387). Влагосодержание внутреннего поверхностного слоя ограждающих конструкций измерено диэлектрическим методом по ГОСТ 21718—84 электронным измерителем влажности «Влагомер МГ 4Б» с погрешностью $\pm 0,8 \%$ (в диапазоне 1...10 %). Измерения температуры и относительной влажности воздуха помещений выполнены с помощью термогигрометра Testo 610 (зав. № 39214931/912). Все измерения выполнены при закрытых окнах и вентиляционных клапанах наружных стен приборами, прошедшими регистрацию и имеющими сертификат.

На момент проведения обследования средняя температура воздуха внутри здания составляла 20,9 °С, средняя температура наружного воздуха равна –15,2 °С.

В ходе проведенного инструментально-визуального обследования выявлены многочисленные участки ограждающих конструкций с образованием плесени (температура ниже точки росы). На рис. 2 показано образование плесневелого грибка на внутренней поверхности сопряжения внутренних и наружных стен в жилой комнате. Существуют также участки ограждающих конструкций с температурой на внутренней поверхности ниже 0 °С. При понижении температуры наружного воздуха до расчетной (–25 °С) на этих участках образуется лед. Пересчет температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций, полученной в результате измерений, на расчетные температурные условия производился по методике ГОСТ 26254—84.



Рис. 2. Образование плесени на внутренней поверхности сопряжения внутренних и наружных стен в жилой комнате

Результаты инструментально-визуального обследования указанного жилого здания приведены в табл. 1.

При определении соответствия температурно-влажностного режима помещений различным условиям комфорта использована диаграмма комфорта, по данным F. Loizden и N. Fraimark.

На основе данных табл. 1 построены диаграммы соответствия температурно-влажностного режима помещений и ограждающих конструкций различным условиям комфорта (рис. 3, 4).

Т а б л и ц а 1

*Результаты инструментально-визуального обследования
жилого здания*

Наименование показателя	Значение показателя
Число обследованных квартир	15
Площадь обследованных помещений, м ² ,	431
в том числе по зонам:	
комфортные условия обеспечены	57
допустимые условия обеспечены	207
допустимые условия не обеспечены	167
Минимальная температура воздуха в жилой комнате, °С	15,5
Максимальная относительная влажность воздуха в жилой комнате, %	40,4
Число комнат с температурой ниже 18 °С	3
Число комнат с относительной влажностью воздуха более 60 %	нет
Число обследованных участков ограждающих конструкций	66
Число участков ограждающих конструкций с температурой внутренней поверхности ниже точки росы, в том числе:	23
по «глади» наружной стены	1
в углах наружных стен	1
в сопряжениях внутренних стен с наружными	11
в зонах перемычек	2
в ризалитных участках	7
на оконных откосах	1
пол 1-го этажа	нет
потолок 5-го этажа	нет
Число участков ограждающих конструкций с температурой внутренней поверхности ниже 0 °С, в том числе:	6
в сопряжениях внутренних стен с наружными	3
в ризалитных участках	3

Анализируя температурно-влажностный режим помещений (рис. 3), можно отметить, что 61 % обследованной площади помещений отвечают допустимым и комфортным условиям, 39 % не отвечают допустимым условиям, что связано с пониженной относительной влажностью воздуха в этих помещениях. Из рис. 4 видно, что только 56 % обследованных участков ограждающих конструкций отвечают требованиям по теплозащите (температура внутренней поверхности выше точки росы). На остальных участках при расчетных условиях возможно образование конденсата (35 %) и льда (9 %).

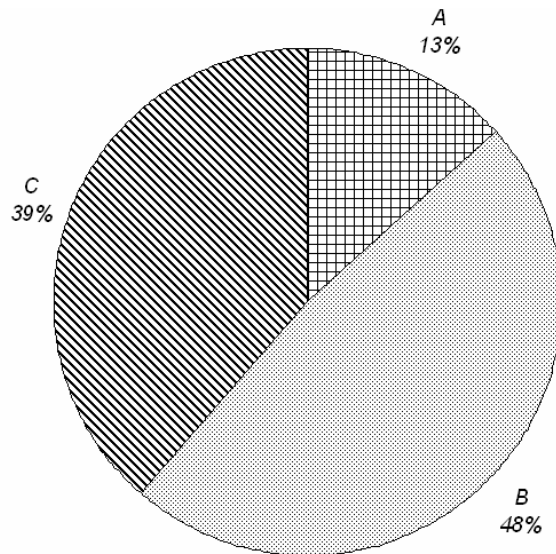


Рис. 3. Температурно-влажностный режим помещений: A — комфортные условия обеспечены; B — допустимые условия обеспечены; C — допустимые условия не обеспечены

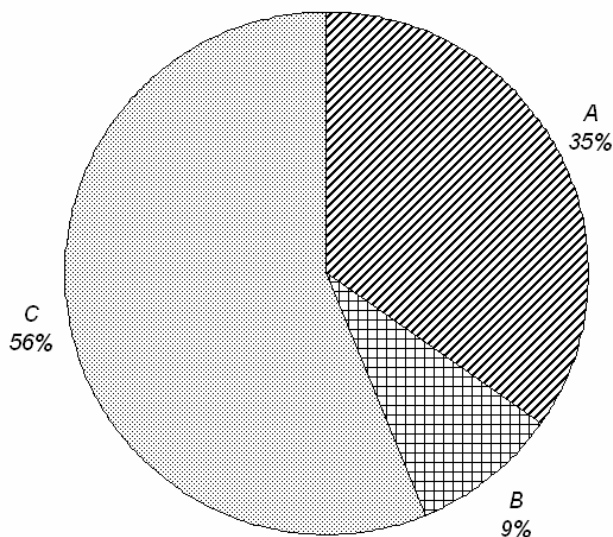


Рис. 4. Температурно-влажностный режим ограждающих конструкций: A — образование сырости; B — образование льда; C — отсутствие сырости

Таким образом, по результатам проведенного обследования многоквартирного жилого дома сделан вывод о том, что безопасные условия для проживания в нем не обеспечены в соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ.

Главная причина неудовлетворительного температурно-влажностного режима ограждающих конструкций заключается в том, что в процессе строительства и реконструкции указанного здания не была обеспечена равноэффективность теплозащитных свойств оболочки здания. Как показали результаты предварительного тепловизионного обследования, на многих участках

оболочки здания нарушена непрерывность слоя дополнительной теплоизоляции. Другой причиной является отсутствие заделки стыков межпанельных швов, что существенно увеличивает теплопотери за счет инфильтрации наружного воздуха через стены.

Используем полученные результаты натурных исследований для верификации разработанного автором метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций.

Выполним расчет температурно-влажностного режима фрагмента теплозащитной оболочки здания — узла сопряжения внутренней и наружной стен (рис. 5).

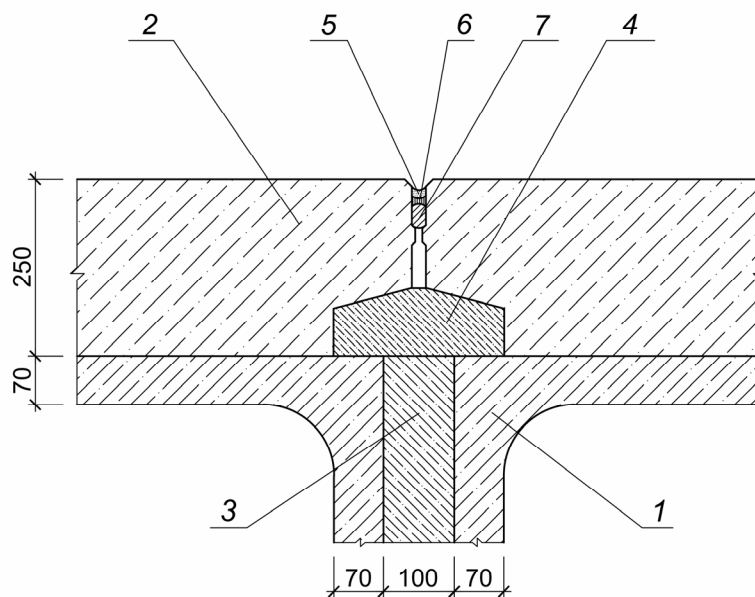


Рис. 5. Схема проектного решения сопряжения внутренних и наружных стен (система дополнительного утепления наружных стен с вентилируемым фасадом не показана): 1 — железобетонная конструкция объемного блока; 2 — навесная панель из керамзитобетона; 3 — железобетонная шпонка; 4 — заделка межпанельного шва керамзитобетоном; 5 — защитное покрытие; 6 — герметизирующая мастика; 7 — уплотняющая прокладка

Расчет выполнен по компьютерной программе [1] при указанных ниже исходных данных.

Теплофизические характеристики материалов указанного фрагмента рассчитаны по методике [2] на основе данных проектной документации.

Параметры микроклимата приняты согласно п. 9.3 СП 54.13330.2011: температура внутреннего воздуха $t_{int} = 20$ °С, относительная влажность воздуха $\phi_{int} = 50$ %. Параметры наружного климата рассчитаны по данным ближайшей метеостанции (табл. 2).

При численном моделировании использована неравномерная пространственная сетка с шагом от 0,03 до 0,3 м и числом узлов 1600. Временной шаг 2 сут.

Т а б л и ц а 2

*Среднемесячные значения температуры t_{ext}
и относительной влажности ϕ_{ext} наружного воздуха*

Месяц	t_{ext} , °C	ϕ_{ext} , %	Месяц	t_{ext} , °C	ϕ_{ext} , %
I	–7,5	86	VII	28,3	36
II	–12,3	82	VIII	27,9	29
III	–1,0	82	IX	19,3	51
IV	8,8	64	X	6,4	71
V	18,0	65	XI	6,6	86
VI	25,1	38	XII	0,7	92

Граничные условия тепловлагообмена поверхностей ограждающих конструкций с окружающей средой заданы в соответствии с [2].

Начальные условия приняты на сентябрь 2010 г., что соответствует началу периода влагонакопления. Расчет выполнен до момента проведения натурного обследования (февраль 2011 г.).

Результаты расчета температурно-влажностного режима рассматриваемого фрагмента приведены в табл. 3. В данной таблице время указано в сутках от начала расчета.

Т а б л и ц а 3

*Температурно-влажностный режим узла сопряжения внутренней
и наружной стен (в углу)*

Время, сут	Температура, °C	Влагосодержание, кг/кг
0	20	0,033
30	17,83	0,033
60	17,61	0,033
90	16,64	0,035
120	14,89	0,039
150	12,60	0,046

Из табл. 3 видно, что температура в углу с течением времени понижается, что связано с понижением температуры наружного воздуха. Влагосодержание в той же точке постепенно увеличивается, что свидетельствует о накоплении влаги в углу.

Согласно полученным экспериментальным данным температура и влагосодержание в углу сопряжения внутренней и наружной стен соответственно равны 13,4 °C и 0,042 кг/кг. Сравнение расчетных и экспериментальных значений температуры и влагосодержания показывает их хорошее согласование: отклонение по температуре составляет —5,97 %, по влагосодержанию — 9,52 %.

Проведенная верификация разработанного метода расчета влаготеплопереноса в ограждающих конструкциях на результатах натурных исследований температурно-влажностного режима жилого здания подтверждает его достоверность, что позволяет использовать этот метод в проектной практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Корниенко С. В.* Решение трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2007. № 10. — С. 54—55.
2. *Корниенко С. В.* Методы инженерной оценки влажностного режима ограждающих конструкций на основе теории потенциала влажности. Научное издание. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. — 100 с.
3. *Корниенко С. В.* Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8 (26). — С. 5—12.
1. *Korniyenko S. V.* Resheniye trekhmernoy zadachi sovmestnogo nestatsionarnogo teplo- i vlagoperenosa dlya ograzhdayushchikh konstruktсий zdaniy // Stroitelnyye materialy. 2007. № 10. — S. 54—55.
2. *Korniyenko S. V.* Metody inzhenernoy otsenki vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktсий na osnove teorii potentsiala vlazhnosti. Nauchnoye izdaniye. — Volgograd : VolgGASU, 2011. — 100 s.
3. *Korniyenko S. V.* Otsenka vliyaniya krayevykh zon ograzhdayushchikh konstruktсий na teplozashchitu i energoeffektivnost zdaniy // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2011. № 8 (26). — S. 5—12.

© *Корниенко С. В.*, 2012

*Поступила в редакцию
в мае 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Корниенко С. В. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилого здания при верификации метода расчета влаготеплопереноса в ограждающих конструкциях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 19—26.

УДК 699.841 (05)

А. В. Масляев

СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ МНОГИХ ЗДАНИЙ С БОЛЬШИМ ЧИСЛОМ ЛЮДЕЙ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Известно, что в сейсмоопасных районах основную часть капитальной застройки городов составляют здания с большим числом людей, но которые документами России считаются объектами нормальной ответственности. Эта ситуация усугубляется отсутствием критериев для контроля этих зданий на этапах строительства и эксплуатации. Приводятся критерии для повышения уровня их ответственности, общем мониторинге на этапах строительства и эксплуатации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: здание, этапы, проектирование, строительство, эксплуатация, степень повреждения, землетрясение.

It is known that in seismic areas the main part of city capital building is made up of buildings with high residential density, but which are considered by the documents of Russia as objects of normal responsibility. This situation is aggravated by absence of criteria for the control of these buildings at stages of construction and putting into operation. The criteria for increasing of a level of their responsibility, general monitoring at stages of construction and putting into operation are given.

К e y w o r d s : building, stages, designing, construction, putting into operation, degree of damage, earthquake.

Пункт 1 ст. 3 Федерального закона РФ [1] четко определил область своего действия: «Объектом технического регулирования в настоящем Федеральном законе являются здания и сооружения любого назначения, а также связанные со зданиями и сооружениями процессы проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации (сноса)». Пункт 2 ст. 3 этого закона еще раз указывает на обязательность технического регулирования всего жизненного цикла для ряда зданий и сооружений: «Настоящий Федеральный закон распространяется на все этапы жизненного цикла здания и сооружения». В приложении «А» национального стандарта [2] указывается о необходимости оценки прочностных показателей для зданий и сооружений на всех этапах жизненного цикла: «Оценку показателей по каждой группе проводят на этапах принятия проектных решений, строительства, эксплуатации, перестройки, перепланировки и т. п.». Поэтому из приведенных положений Федерального закона [1] и национального стандарта РФ [2] следует, что при отсутствии объективной оценки проектных конструктивных параметров здания на этапах строительства и эксплуатации невозможно обеспечить достаточную прочность конструкций на протяжении всего их жизненного цикла. Так как нас интересует, прежде всего, необходимость применения этих «правильных» требований [1, 2] к новым сейсмостойким зданиям с большим числом людей, поиск в разделе «Область применения» [2] показал, что проведение объективного контроля на этапах строительства и эксплуатации предусмотрено только применительно к новым уникальным зданиям и сооружениям: «мониторинг технического состояния уникальных, в том числе высотных и большепролетных зданий и сооружений для контроля состояния несущих конструкций и предотвращения катастроф, связанных с их обрушением». Но ознакомление с документами [1, 2] также показало, что в них отсутствуют критерии для определения уровня ответственности зданий с учетом конкретного числа людей. Более того, в п. 8 ст. 4 Федерального закона [1] для

определения уровня повышенной ответственности почти в указательной форме (без увеличения списка) перечисляются только критерии опасности, технической сложности и уникальности зданий и сооружений. Здания и сооружения, отнесенные в соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации к особо опасным, технически сложным или уникальным объектам». Получается, что в этих документах «не видится» опасность для людей в зданиях при землетрясении. Хотя статистика гибели многих тысяч людей в зданиях при землетрясениях в России уже достаточная. При этом бесспорная зависимость уровня сейсмостойкости зданий с возрастом 30...50 лет в момент землетрясения от качества проекта, строительства и эксплуатации четко обозначена в вышеприведенных документах [1, 2]. Как известно, сейсмостойкость зданий и сооружений, в первую очередь, зависит от уровня ответственности, который предопределяется положениями документов [1, 2, 3]. Только нормативный документ [3] использует число людей в качестве критерия для определения уровня ответственности ряда зданий. Так, например, согласно [3], к уникальным относятся здания с зальными помещениями «...с одновременным пребыванием в них более 200 человек», а к повышенной ответственности — здания с зальными помещениями «...с одновременным пребыванием в них более 300 человек, многоэтажные здания высотой более 16 этажей». Конечно, при этом возникает вопрос о математическом расчете, который дал возможность определить эти огромные числа.

Невозможно оспаривать тот факт, что для любой страны именно люди в зданиях при землетрясении составляют его основную ценность. Более того, в нормальном обществе должна «постоянно» действовать установка на то, что жизнь любого человека ценнее любого, даже очень сложного, в техническом отношении сооружения. И это правильно, так как без этой установки нормальному обществу просто трудно жить. Из такого понимания следует, что главным критерием для определения уровня ответственности здания должно быть возможное присутствие в нем определенного числа людей. При этом у специалистов всегда возникает вопрос о конкретном числе, которое должно определять повышенный уровень ответственности здания. Конечно, у каждой страны это количество может быть разным. Но при определении этого числа людей в зданиях люди обязаны помнить следующую линейную математическую зависимость: меньшее «число людей» возможно в обществе с большим интеллектуальным уровнем. Ответ на этот вопрос в виде ориентира можно получить из сравнения «этого числа людей», например в нормативных значениях индивидуальных рисков ряда развитых стран мира (число людей, которым «общество допускает погибнуть» в течение года при чрезвычайной ситуации). Так, например, в [4] приводится значение индивидуального риска $P = 10^{-6}$ чел/год, которое принято в странах Аргентина, Нидерланды, Англия. Это означает, что при землетрясении 1 раз в 100 лет с населением в 1 млн за 1 год эти страны допускают гибель только до 100 человек. Но для нашей страны национальный стандарт [2] установил совершенно другое значение допустимого индивидуального риска равного $P \geq 5 \times 10^{-6}$. Это означает, что при землетрясении 1 раз в 500 лет (минимальная нормативная повторяемость землетрясения на территории России) на территории города с населением в 1 млн за 1 год общество нашей страны допускает гибель до 2,5 тысяч человек (в 25 раз больше чем в вышеуказанных странах). По расчетам при землетрясении 1 раз в 100 лет (эта повторяемость принята в расчетах стран Европы) на территории города с

населением в 1 млн при гибели до 2,5 тысяч человек значение индивидуального сейсмического риска получается равным $P = 4 \times 10^{-4}$, что для многих стран мира является недопустимой величиной. Более того, в стандарте [2] указывается и недопустимое значение риска, равное $P = 5 \times 10^{-5}$, но с недопустимым для любого технического документа условием: «...сроки реализации которой устанавливаются с учетом экономических и социальных аспектов». Другими словами, если при землетрясении на территории города России с населением в 1 млн за время 1 год по расчету погибнет до 25 тысяч человек, то национальный стандарт [2] разрешает региональной администрации по вышеприведенным условиям эту ситуацию временно не исправлять. Но, во-первых, устанавливать какие-либо «экономические барьеры» для невыполнения строительных работ в зданиях не является функцией любого технического стандарта, а во-вторых, такое «условие» для недопустимого риска отсутствует в Федеральном законе [1] и поэтому нарушает его основную цель при любых экономических условиях: «Защиты жизни и здоровья граждан...». Более того, и федеральная целевая программа № 555 «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года» также подтверждает «условие» стандарта [2] о возможности временно не снижать в ряде регионов России значение недопустимого риска: «Региональные целевые программы и планы реализации отдельных мероприятий по снижению рисков и смягчению последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, финансируемые за счет средств бюджетов субъектов Российской Федерации, могут приниматься и утверждаться в установленном порядке в течение всего периода реализации Программы по мере изыскания необходимых собственных финансовых средств или средств организаций». Характеристику среднего уровня технического решения, предусмотренного в наших нормативных документах, для защиты жизни людей в зданиях при чрезвычайных ситуациях приводит известный ученый России [4]: «В целом по России средний показатель риска для человека в 100 раз превышает допустимый в развитых странах мира». Одним из наглядных примеров реализации решения стандарта [2] и федеральной целевой программы № 555 «О возможности не снижать индивидуальные сейсмические риски из-за экономических и социальных аспектов» служит сложившаяся недопустимая ситуация в области сейсмостойкого строительства на территории Волгоградской области. Как известно, территория Волгоградской области постановлением Госстроя РФ № 91 от 27 декабря 1999 г. впервые с 1 января 2000 г. определена сейсмоопасной для зданий и сооружений с повышенной ответственностью. Поэтому все здания и сооружения на территории области до этого постановления были возведены несейсмостойкими. Именно эти здания и сооружения особенно со сроком эксплуатации 30...50 лет являются наиболее уязвимыми в случае землетрясения. Прошло 12 лет со дня Постановления, но почти никаких положительных изменений в сторону сейсмостойкого строительства здесь не сделано. И основным показателем нарушения вышеуказанного постановления Госстроя РФ является отсутствие положения в региональном законе по ЧС Волгоградской области об опасности для зданий и людей от землетрясения. Так, например, согласно статьи 2 Федерального закона от 21.12.1994 за № 68—РФ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» каждый регион обязан принять свой

закон по защите территории и населения от «своих» опасных природных и техногенных воздействий. Этот закон необходим, прежде всего, администрации области для юридического обоснования принимаемой региональной целевой программы по защите населения от землетрясения. Если в региональном законе отсутствует вероятное землетрясение, которое установлено федеральным нормативным документом [3], администрация области, согласно положениям стандарта [2] и федеральной целевой программы № 555, может и не разрабатывать областную целевую программу. Поэтому, чтобы не разрабатывать областную целевую программу по защите населения в зданиях при землетрясении, администрация Волгоградской области до сегодняшнего дня в региональном законе по ЧС не предусматривает положения об опасности землетрясения. Опасность землетрясения для жителей Волгоградской области на сегодняшний день сложилась большая, даже по причине использования только несейсмостойких зданий и сооружений. Так, например, на территории г. Волгограда на конец 2006 г. зарегистрировано 51019 частных домов, в которых проживает примерно 150 тысяч человек. Только по официальной статистике ветхий и аварийный жилой фонд г. Волгограда на конец 2010 г. составляет 360 тыс. м². Но даже основная часть современных зданий и сооружений за последние 10 лет здесь была возведена несейсмостойкими. О неблагоприятном состоянии многих жилых зданий на территории г. Волгограда свидетельствует и факт самостоятельного обрушения части наружной стены у 5-этажного кирпичного здания общежития по ул. Жолудева 7а в феврале 2012 г. (без внешних силовых воздействий). Так, в газете «Комсомольская правда» от 27 февраля 2012 г. на общем фоне фотографии обрушенной стены этого здания написано: «Такая же судьба ждет еще около 50 старых «общаг» города, которые власти отказываются признавать аварийными». К сожалению, 10 июня 2012 г. в другом здании общежития по адресу Жолудева, 20 на первом этаже самостоятельно рассыпалась стена между коридором и санузлом (газета «Комсомольская правда» от 13 июня 2012 г.). На наше письмо на имя главы администрации Волгоградской области о необходимости введения в редакцию регионального закона «О защите населения и территории Волгоградской области от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» и положения о землетрясении получили два отрицательных ответа за подписью самых ответственных руководителей в строительной системе на территории области. Так, в ответе председателя комитета по строительству администрации Волгоградской области В. Н. Гречиной за № 37/04—1805 от 04.05.2012 присутствует такая запись: «Для соблюдения (нарушения) требований СНиП II—7—81* «Строительство в сейсмических районах», сейсмичность строительной площадки должна быть оценена как минимум в 7 баллов, что для территории Волгоградского региона никем и никогда не подтверждалось». Такой ответ при наличии почти на всей территории области осадочного грунтового слоя мощностью более 4 км и густой сети тектонических разломов выглядит крайне непонятным. В ответе заместителя председателя правительства Волгоградской области В. И. Галушкина за № 02п—12/ 9007 от 25.04.2012 г. говорится, что в принятом «...планом действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера Волгоградской области учтены риски возможных чрезвычайных ситуаций на территории области...». Письмо заканчивается примерно так: «На основании вышеизложенного внесение изме-

нений и дополнений в Закон Волгоградской области... не требуется». Но ведь из-за отсутствия областной целевой программы здесь не проводилось должное обследование даже таких уникальных сооружений, как волжская плотина, монумент «Родина-мать зовет!» высотой до 85 м (с мечом) и весом до 8 тыс. т, новый мостовой переход в центре г. Волгограда и многие высотные здания, которые были в последние годы возведены несейсмостойкими. Например, конструкция волжской плотины, которая имеет общую протяженность примерно 5 км, но примерно на длине 3 км выполнена в земляном варианте. Более того, конструкцию плотины в земляном варианте пересекают несколько тектонических разломов, что делают строительную площадку согласно п. 4.5 нормативного документа [3] еще и неблагоприятной в сейсмическом отношении. И такая несейсмостойкая конструкция волжской плотины располагается над территориями Волгограда и Волжского. А несейсмостойкий железобетонный монумент «Родина мать-зовет!» продолжают посещать туристы. По нашему мнению, и конструкция нового мостового перехода в центре г. Волгограда выполнена московским институтом «Гипротрансмост» с нарушениями требований документа [3]. Территорию строительной площадки мостового перехода в разных направлениях пересекают три тектонических разлома. О том, что на территории г. Волгограда имеется значительный ветхий и аварийный фонд жилых зданий, а это недопустимо для сейсмоопасных районов, говорит и выступление Председателя правительства РФ В. В. Путина на селекторном совещании 21 марта 2012 г. с губернаторами ряда областей по вопросу усиления защиты зданий и сооружений в сейсмоопасных районах. Так, например, он признал, что «...нужно заниматься инвентаризацией и приводить в порядок существующие объекты, многие из которых не отвечают, к сожалению, современным стандартам сейсмической устойчивости, а иногда просто находятся в ветхом или даже аварийном состоянии, представляют угрозу для жизни и здоровья граждан». Поэтому проблему ветхого и аварийного фонда жилых зданий в сейсмоопасных районах следует признать общероссийской и ее необходимо решать незамедлительно, так как сегодня никто из специалистов не знает место России, где, в первую очередь, может произойти разрушительное землетрясение.

При сильном землетрясении в большом городе практически невозможно по множеству причин обойтись без человеческих жертв. Но как видно из вышеприведенных значений индивидуальных рисков ряда европейских стран, гибель какого-то минимального числа людей при чрезвычайных ситуациях любая страна вынуждена допускать. Например, в [7] предлагается число 100 человек и более использовать для определения повышенного уровня ответственности одного здания. Конечно, в этом критерии число людей в 100 и более человек по сравнению с таким числом людей, гибель которых индивидуальными рисками при ЧС допускает ряд европейских стран для населения города в 1 млн, является слишком завышенной величиной. Для повышения уровня ответственности здания, кроме показателя числа людей, необходимо учитывать и вероятность сильных повторных толчков, которые могут воздействовать на здания и людей почти сразу за основным и по своей интенсивности могут быть ему равны. В [7] приводятся примеры разрушения зданий и гибели людей при воздействиях таких повторных сильных толчков. Поэтому предлагается критерий для определения здания с повышенной ответственностью с числом людей в 100 и более человек и времени эвакуации на

безопасное открытое пространство более 4-х минут. Количество зданий повышенной ответственности с большим числом людей в городе, например с населением в 100 и более тысяч человек, может исчисляться несколькими сотнями, и в них в момент землетрясения может находиться большая часть людей. В Федеральном законе [1] имеется глава 6 «Оценка соответствия зданий и сооружений, а также связанных со зданиями и сооружениями процессов проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации». Как видим, содержание этой главы примерно совпадает с темой данной статьи. Более того, в стандарте [2] для мониторинга прочностных характеристик многих зданий и сооружений на протяжении всего их жизненного цикла предлагается использовать строго определенные инженерные понятия. Так, например, в п. 3.18 содержится описание оценки текущего технического состояния зданий и сооружений, а в п. 3.20 — определения текущих динамических параметров зданий и сооружений и т. д. Но в характеристике области применения этих основных инженерных понятий в [2] отсутствует указание о необходимости такого мониторинга для сейсмостойких зданий с числом в 100 и более человек при времени эвакуации более 4-х минут. В отличие от постоянного мониторинга уникальных зданий и сооружений, который предусмотрен в документах [2, 3], для здания с повышенной ответственностью с большим числом людей после завершения строительства (перед сдачей в эксплуатацию) автор предлагает выполнять общий мониторинг его технического состояния: «...проводят визуальный осмотр конструкций с целью приблизительной оценки категории технического состояния, измеряют динамические параметры конкретных зданий и сооружений (см. приложение М) и составляют паспорт здания или сооружения (см. приложение Н)» п. 6.2.2, 2. Измененные фактические значения периода собственных колебаний и декремента колебания здания сверяют с проектными значениями и определяют их соответствие. В дальнейшем такое обследование технического состояния здания проводить не реже одного раза в пять лет [п. 4.2, 2].

Накопления в зданиях и сооружениях в длительном процессе их эксплуатации значительных повреждений анализируются учеными [5, 6, 8]. Например, в [5]: «Эти и другие факты показывают, что даже однотипные здания, построенные по одной серии, по существу являются разными зданиями с точки зрения их состояния и, следовательно, жесткости. Эти различные состояния зданий обусловлены как их возведением, так и процессом эксплуатации». В [6] дается такая же оценка: «На самом деле в каждом доме, в том числе и в новом, есть дефекты строительства, следовательно, величина степени повреждения не равна нулю. Тем более, если это здание много лет находилось в эксплуатации...». В [6] приводится некоторый обобщенный перечень причин образования повреждений в процессе эксплуатации зданий и сооружений на территориях разных регионов бывшего СССР: «Трещины могут быть усадочные, появляющиеся в результате усадки строительных материалов; температурные, возникающие в результате периодических температурных воздействий на строительные материалы; эксплуатационные трещины появляются в период эксплуатации в результате перегрузки или перенапряжения в несущих конструкциях при работе всего сооружения в целом». В качестве вывода о влиянии повреждений в зданиях и сооружениях в процессе эксплуатации на общую степень повреждения при землетрясении расчетной интенсивности в [6] записано: «Таким образом, это еще раз подтверждает наше

предположение, что не столь важно, каким образом накоплены повреждения до данного землетрясения, а очень важно знать величину степени повреждения до землетрясения, ибо только в этом случае можно рассчитать, какую степень повреждения будут иметь эти здания, если произойдет землетрясение...».

Как обосновывается в [7, 9], за последние 30 лет сильные землетрясения стали происходить чаще и с набором сильных повторных толчков через несколько минут после основного толчка, когда люди еще не успевают выйти из зданий. Поэтому с целью обеспечения безопасности людей в [7] предложена концепция, которая предусматривает расчет зданий с повышенной ответственностью на воздействия первых двух сильных повторных толчков в зависимости от времени их эвакуации. В этой концепции при расчете здания с повышенной ответственностью на воздействие первого повторного толчка предложено для формулы 1 нормативного документа [3] значение коэффициента K_1 принять равным 0,5, а при расчете на воздействия двух первых толчков $K_1 = 0,75$. Так как общая предельно допустимая степень повреждения при всех расчетах не должна превышать третьей степени по шкале MSK-64, в [7] показано, что при расчете зданий и сооружений с повышенной ответственностью на воздействия основного и первого повторного толчков предусмотрено образование следующих степеней повреждений: при воздействии основного толчка повреждение не более второй степени ($d \leq 2,0$), а при воздействии первого повторного толчка повреждение не более 1-й степени. При расчетах зданий и сооружений на воздействия основного и двух первых повторных толчков предусмотрено образование следующих степеней повреждений: от воздействия основного толчка повреждение не более первой степени $d \leq 1,0$, а от воздействия каждого повторного толчка повреждения не более первой степени. В обоих расчетах общая степень повреждения получается одинаковой — не более третьей степени $d \leq 3,0$. С учетом получения в вышеприведенных расчетах зданиями и сооружениями определенной степени повреждения при воздействии основного толчка можно определить приближенное значение эксплуатационной предельно допустимой степени повреждения. Используется при этом простая математическая зависимость: значение степени повреждения от воздействия основного толчка должно быть больше эксплуатационной предельно допустимой степени повреждения на значения от 0,5 и до 1,0. Поэтому для зданий и сооружений с повышенной ответственностью с учетом воздействия основного и первого повторного толчков, значение эксплуатационной предельно допустимой степени повреждения получается не более $d_{\text{экс.}} \leq 1,0$ ($d_{\text{осн.}} \leq 2,0 - 1,0 = 1,0$), а для зданий и сооружений с расчетом на воздействия основного и двух первых повторных толчков — не более $d_{\text{экс.}} \leq 0,5$ ($d_{\text{осн.}} \leq 1,0 - 0,5 = 0,5$). Значения этих эксплуатационных степеней повреждения (по классификации шкалы MSK-64) в зданиях и сооружениях с повышенной ответственностью должны обеспечить повышенные значения коэффициентов K_1 (см. расчеты). Согласно рекомендуемым мероприятиям по восстановлению в табл. 4.1. проекта международных строительных норм [10] первая степень повреждения в здании устраняется ремонтом отделки.

В заключение несколько слов относительно нормативного использования комплекта карт А, В, С для проектирования сейсмостойких зданий. Все же большего доверия заслуживает первичное решение «Рабочей группы специалистов» по использованию комплекта карт общего сейсмического районирования [11]: «В соответствии с решением Рабочей группы (РГ) Госстроя РФ по корректировке Строительных норм и правил (СНиП) «Строительство в сейсмических

районах» карта ОСР-В рекомендована для использования в массовом гражданском и промышленном строительстве, карта ОСР-А — для строительства объектов непродолжительного срока службы и не угрожающих человеческой жизни, и карта ОСР-С — для особо ответственных сооружений (атомные станции, крупные гидротехнические сооружения, экологически опасные объекты и т. п.)».

Необходимость мониторинга всех зданий и сооружений повышенного уровня ответственности на этапах их возведения и эксплуатации указывается в п. 9.5. национального стандарта [12].

Выводы.

Для обеспечения реальной сейсмозащиты зданий с большим числом людей при землетрясении следует:

1. При определении уровня повышенной ответственности здания использовать критерий с числом в 100 и более человек при времени эвакуации людей более 4-х минут.

2. Перед сдачей в эксплуатацию здания, согласно требованию п. 6.2.2 [2], выполнять общий мониторинг его технического состояния. В дальнейшем такую оценку технического состояния здания проводить, согласно п. 4.2 [2], не реже одного раза в пять лет.

3. Значение предельно допустимой эксплуатационной степени повреждения по шкале MSK—64 установить равной $d_{\text{экс.}} \leq 1,0$ для зданий, расчеты которых выполнялись на воздействия основного и первого повторного толчков, а для зданий с расчетами на воздействия основного и двух первых повторных толчков, равной $d_{\text{экс.}} \leq 0,5$.

4. Федеральным контрольным органам определить причину несейсмостойкого строительства на территории Волгоградской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ.
2. Национальный стандарт Российской Федерации, ГОСТ Р 53778—2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. — М. : Стандартинформ, 2010.
3. СП 14.1330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II—7—81. — М. : Минрегион России, 2011.
4. Кофф Г. Л., Рюмина Е. В. Сейсмический риск (виды, оценка, управление). — М., 2003.
5. Обозов В. И., Мамаева Г. В. Анализ динамических характеристик крупнопанельных зданий // Сейсмост. стр-во. Безопасность сооружений. 2006. № 1. — С. 48—55.
6. Ананьин И. В. Влияние многократности сейсмических воздействий на степень повреждения зданий АН СССР // Источники и воздействие разрушительных сейсмических колебаний. Вopr. инж. сейсмологии: Сб. науч. тр. — М. : Ин-т физики Земли им. О. Ю. Шмидта, 1990. Вып. 31. — С. 142—148.
7. Масляев А. В. Критерии для определения уровня повышенной ответственности сейсмостойких зданий и сооружений с большим числом людей // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 5. — С. 35—38.
8. Масляев А. В. Анализ источника сейсмических воздействий на здания и сооружения Волгограда в 2010 г. // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2011. № 3. — С. 25—27.
9. Халилов Э. Н. Глобальные изменения окружающей среды: угроза для развития цивилизации // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2012. № 1. — С. 22—47.
10. Строительство в сейсмических районах / Международные строительные нормы. МНТКС, 2001.
11. Уломов В. И., Шумилина Л. С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Масштаб 1: 8000000. Объяснительная записка и

список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. — М. : М-во науки и технологий РФ, РАН. Объединенный ин-т физики Земли им. О. Ю. Шмидта, 1999.

12. Национальный стандарт Российской Федерации, ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. Стандартинформ. М., 2010.

1. Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy. Federalnyy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 30 dekabrya 2009 g. № 384—FZ.

2. Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii, GOST R 53778—2010. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya. — М. : Standartinform, 2010.

3. SP 14.1330.2011. Stroitelstvo v seismicheskikh rayonakh. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II—7—81. — М. : Minregion Rossii, 2011.

4. Koff G. L., Ryumina E. V. Seismicheskiy risk (vidy, otsenka, upravleniye). — М., 2003.

5. Obozov V. I., Mamaeva G. V. Analiz dinamicheskikh kharakteristik krupnopanelnykh zdaniy // Seysmost. str-vo. Bezopasnost sooruzheniy. 2006. № 1. — S. 48—55.

6. Ananin I. V. Vliyanie mnogokratnosti seismicheskikh vozdeystviy na stepen povrezhdeniya zdaniy AN SSSR // Istochniki i vozdeystvie razrushitelnykh seismicheskikh kolebaniy. Vopr. inzh. seysmologii: Sb. nauch. tr. — М. : In-t fiziki Zemli im. O. Yu. Shmidta 1990. Vyp. 31. — S. 142—148.

7. Maslyayev A. V. Kriterii dlya opredeleniya urovnya povyshennoy otvetstvennosti seysmostoykikh zdaniy i sooruzheniy s bolshim chislom lyudey // Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy. 2011. № 5. — С. 35—38.

8. Maslyayev A. V. Analiz istochnika seismicheskikh vozdeystviy na zdaniya i sooruzheniya Volgograda v 2010 g. // Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost sooruzheniy. 2011. № 3. — S. 25—27.

9. Khalilov E. N. Globalnye izmeneniya okruzhayushchey sredy: ugroza dlya razvitiya tsivilizatsii // Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost sooruzheniy. 2012. № 1. — S. 22—47.

10. Stroitelstvo v seismicheskikh rayonakh / Mezhdunarodnye stroitelnye normy. MNTKS, 2001.

11. Ulomov V. I., Shumilina L. S. Komplekt kart obshchego seismicheskogo rayonirovaniya territorii Rossiyskoy Federatsii OSR-97. Masshtab 1: 8000000. Obyasnitelnaya zapiska i spisok gorodov i naselennykh punktov, raspolozhennykh v seysmoopasnykh rayonakh. — М. : М-во науки и технологий РФ, РАН. Obedinennyy in-t fiziki Zemli im. O. Yu. Shmidta. 1999.

12. Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii, GOST R 54257-2010. Nadezhnost stroitelnykh konstruktsiy i osnovaniy. Osnovnye polozheniya i trebovaniya. Standartin-form. М., 2010.

© Масляев А. В., 2012

Поступила в редакцию
в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Масляев А. В. Сейсмостойкость многих зданий с большим числом людей на этапах проектирования, строительства и эксплуатации // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 27—35.

ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.131

**О. А. Богомолова, И. Л. Бартоломей,
Б. С. Бабаханов, Р. С. Нестеров, А. В. Соловьев**

ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ СОСТАВНОГО ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА

В рамках теории упругости рассматриваются особенности напряженно-деформированного состояния грунтового основания составного плитного фундамента. Показано, что изменение расстояния между близрасположенными фундаментами трансформирует напряженно-деформированное состояние их основания, это оказывает отрицательное влияние на процесс развития областей пластических деформаций под краями фундаментов, обеспечивая увеличение общей несущей способности системы фундаментов. Однако осадки отдельных фундаментов становятся неравномерными, что может сказаться на работоспособности над фундаментной частью сооружения. Исключить это негативное влияние позволяет прием перераспределения внешней нагрузки между фундаментами системы без изменения величины ее главного вектора.

К л ю ч е в ы е с л о в а: составные плитные фундаменты, напряженно-деформированное состояние основания, области пластических деформаций, осадки основания, перераспределение внешней нагрузки между фундаментами системы, неизменность величины главного вектора нагрузки.

Peculiarities of stressed and strained state of the ground of compound raft foundation are considered in the course of elastic theory. It is shown that the change of the distance between closely located foundations causes transformation of stressed and strained state of their foundations and it has a bad influence on the development of areas of plastic strain under edges of the foundation and provides increase of total bearing capacity of foundation system. However the settlement of certain foundations becomes uneven and it may influence working capacity above foundation part of the building. Redistribution of external load between foundations of the system without change of value of its main vector helps to avoid this negative influence.

K e y w o r d s: compound raft foundation, stressed and strained state of foundation, areas of plastic strain, settlement of foundation, redistribution of external load between foundations of system, permanency of value of main load vector.

Из опыта устройства ленточных сборных фундаментов известно, что наличие между элементами конструкции некоторого зазора не только позволяет экономить материалы — сталь и бетон, но и повысить величину несущей способности основания [1; 2]. Причем, для увеличения несущей способности основания эти зазоры (промежутки) могут быть незначительными [3]. В связи с этим возникла идея использовать данный эффект и при устройстве плитных фундаментов, делать их составными, а зазор между ними применять в различных целях, например, для прокладки коммуникаций.

Для теоретического обоснования этого предположения проведено численное моделирование процесса образования и развития областей пластических деформаций в основании плитного фундамента, состоящего из двух плит, при различных расстояниях между ними. Этот параметр выбран не случайно, т. к. принято считать, что при $\Delta Z = 0,25d$ нагрузка на фундамент соответствует величине расчетного сопротивления основания R , которое весьма незначительно отличается от предельно допустимой нагрузки.

Для этого разработана механико-математическая модель метода конечных элементов (МКЭ). Расчетная схема, фрагмент которой приведен на рис. 1, состоит из 37500 треугольных конечных элементов, сопряженных в 19026 узлах, при этом ширина матрицы жесткости системы равна 256.

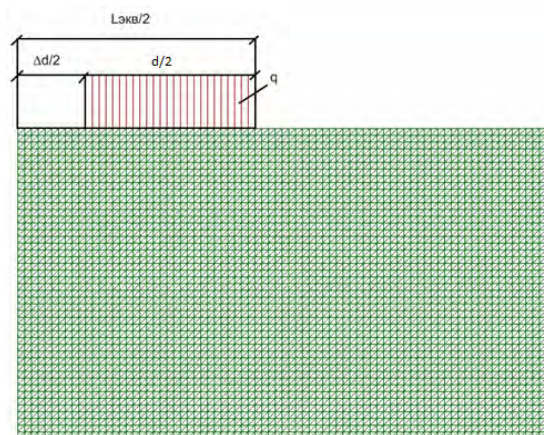


Рис. 1. Правая половина расчетной схемы

Рассмотрено связное однородное основание. Принято, что объемный вес грунта постоянен и равен $\gamma = 2 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения принимал значения в интервале $\varphi \in [10^\circ \dots 30^\circ]$, а приведенное давление связности $\sigma_{\text{св}} = C(\gamma d \text{tg} \varphi)^{-1} \in [0,5 \dots 24]$, где d — ширина неразрезанного фундамента, а ширина зазора между фундаментами принимала значения $\Delta d = [0; 0,2; 0,4; 0,6]d$. Все расчеты выполнены для приведенной нагрузки, соответствующей $q = [1,0; 1,8; 3,0; 4,0; 6,0] (\text{кг/см}^2) = [5,0; 9,0; 15,0; 20,0; 30] \gamma d$.

На рис. 2, а в качестве примера приведено изображение областей пластических деформаций в однородном и изотропном основании составного плитного фундамента, из которого видно, что при определенных значениях величин d ; q ; $L_{\text{экв}}$ и физико-механических свойствах грунта основания области пластических деформаций (ОПД) развиваются только под внешними краями фундамента в точках A и A_1 . Если изменить эти значения, то процесс развития ОПД начнется и в точках B и B_1 .

Используя компьютерную программу [4], проведены расчеты (всего 400 вариантов), позволившие для любого сочетания перечисленных выше расчетных параметров определить глубину развития областей пластических де-

формаций. На основе этих результатов построены графики (всего двадцать), на которых приведены графические зависимости вида $\Delta Z = f(q)$. Часть этих зависимостей в качестве примера приведена на рис. 2, б, в, г.

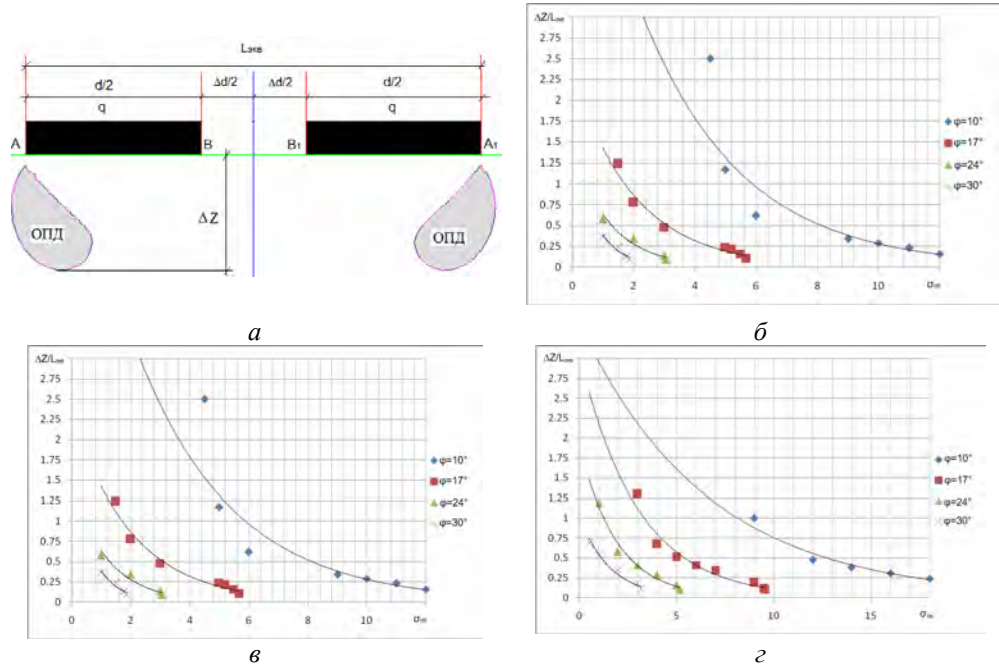


Рис. 2. Области пластических деформаций в основании составного плитного фундамента (а); графические зависимости вида $\Delta Z^* = \Delta Z / L_{\text{ЭКВ}} = f(q)$ при $q = 1 \text{ кг/см}^2$ и $\Delta d = 0,4d$ (б); при $q = 1,8 \text{ кг/см}^2$ и $\Delta d = 0,6d$ (в); при $q = 3 \text{ кг/см}^2$ и $\Delta d = 0,6d$ (г)

Оказалось, что все полученные кривые, в том числе и приведенные на рис. 2, с погрешностью, составляющей от 0,1 до 16 %, могут быть аппроксимированы функциональной зависимостью вида:

$$\Delta Z^* = A \times e^{B\sigma_{\text{св}}}, \quad (1)$$

где A и B — безразмерные коэффициенты, причем, коэффициент B не зависит от величины Δd .

Численные значения коэффициентов A и B сведены в таблицу, по данным которой построены графические зависимости вида $A; B = f(\varphi)$ для всех рассмотренных в настоящей статье значений переменных расчетных параметров, что позволяет очень быстро использовать формулу (1), (рис. 3).

Следует отметить, что погрешность графической аппроксимации не превышает 0,4...15 %.

Как показано выше, использование составных фундаментов позволяет повысить величину несущей способности грунтового основания, что также подтверждается данными, приведенными в работах [1—3].

Однако, если расстояние между фундаментами мало, то при расчетах и проектировании необходимо учитывать их взаимное влияние, которое обусловливает неравномерность осадок основания под краями близ расположен-

ных фундаментов. Так, картины изолиний напряжений и перемещений, построенные под каждым из фундаментов, не симметричны относительно вертикальных осей, проходящих через их середины, как это имеет место в случае одиночного фундамента, а области пластических деформаций при всех прочих равных условиях будут развиты не на одинаковую глубину под краями фундаментов. Данное обстоятельство и повлечет за собой неравномерные осадки, величина которых может превысить допустимое значение.

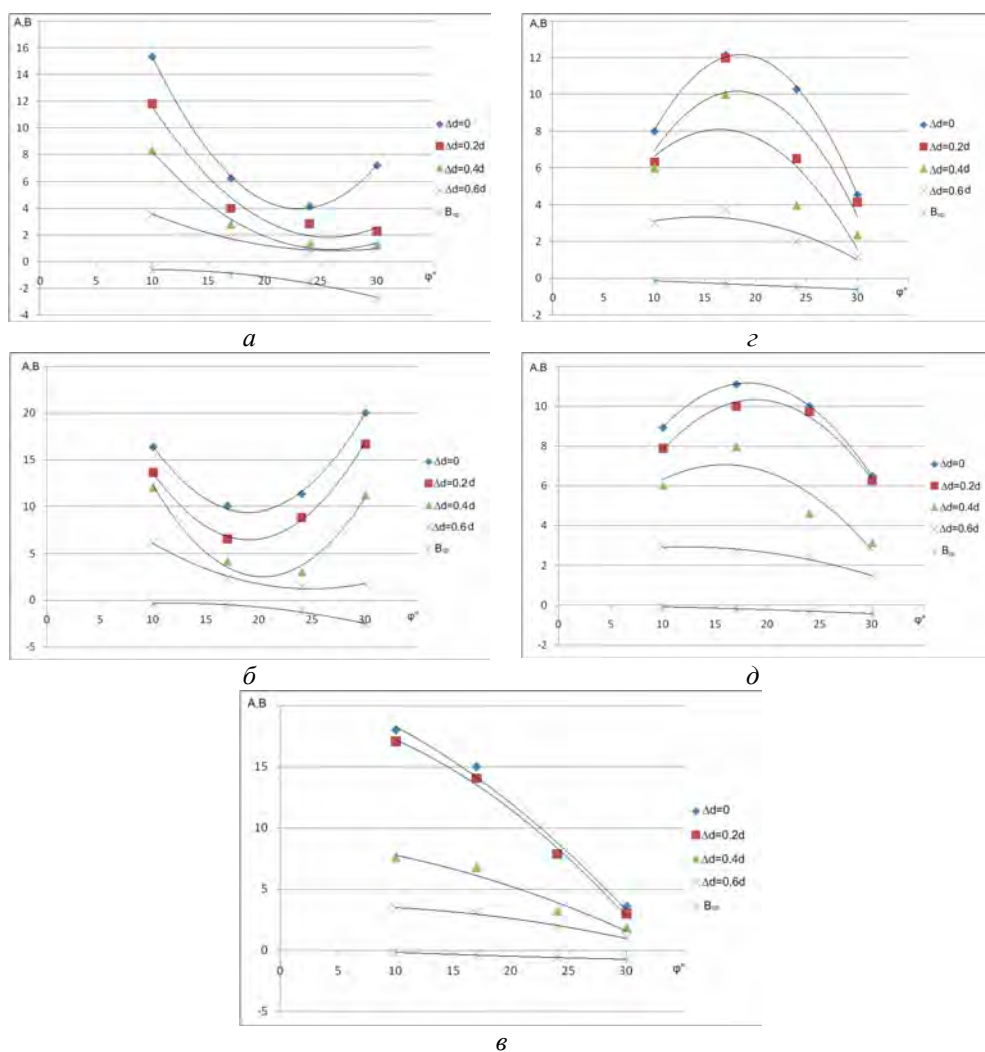


Рис. 3. Кривые зависимостей вида $A; B = f(\varphi)$ при $q = 1 \text{ кг/см}^2$ (а); $q = 1,8 \text{ кг/см}^2$ (б); $q = 3 \text{ кг/см}^2$ (в); $q = 4 \text{ кг/см}^2$ (г) и $q = 6 \text{ кг/см}^2$ (д). Коэффициенты A определяются в зависимости величины Δd , коэффициент B от Δd не зависит

На рис. 4 приведен фрагмент расчетной схемы основания двух близрасположенных плитных фундаментов, которая составлена для проведения анализа его напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов (МКЭ) в среде компьютерной программы [4]. Расчетная схема состо-

ит из 62500 треугольных конечных элементов, сопряженных в 31626 узлах, при этом ширина матрицы жесткости системы равна 256.

В качестве примера рассмотрено связанное однородное основание, причем, объемный вес грунта постоянен и равен $\gamma = 2 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения $\varphi = 18^\circ$, удельное сцепление $C = 57 \text{ кПа}$, а приведенное давление связности $\sigma_{\text{св}} = C(\gamma d \text{tg} \varphi)^{-1} = 8,77$, где d — ширина неразрезанного фундамента, а расстояние между фундаментами изменялась в интервале $\Delta d \in [0 \dots 1,6]d$.

Величина интенсивности расчетной равномерно распределенной нагрузки $q = 0,314 \text{ МПа} = 16\gamma d$.

На рис. 4 хорошо видны особенности картин изолиний напряжений и перемещений в основании одиночного фундамента ($\Delta d = 0$), которые отмечены выше.

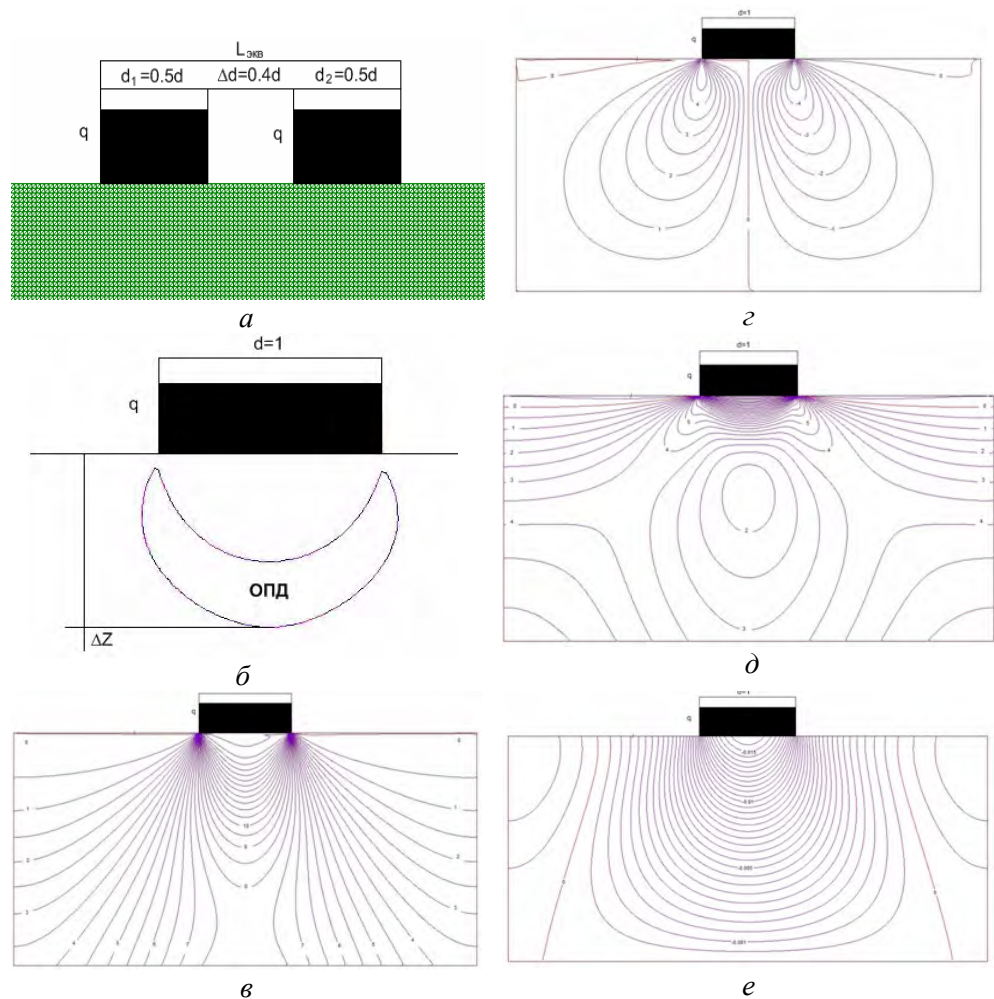


Рис. 4. Фрагмент расчетной схемы (а), область пластических деформаций (б), изолинии вертикальных σ_z (в), горизонтальных σ_x (г), касательных τ_{zx} (д) напряжений и вертикальных δ_z перемещений в основании одиночного плитного фундамента (е) единичной ширины

На рис. 5 и 6 изображены те же картины изолиний напряжений и вертикальных перемещений, а также области пластических деформаций, возникающие в основании составного плитного фундамента при принятых выше значениях расчетных параметров при $\Delta d_1 = 0,8d$ и $\Delta d_2 = 1,2d$. Из этих рисунков также видны особенности НДС, отмеченные выше.

Если постепенно увеличивать расстояние между фундаментами, то со временем их взаимное влияние исчезает, картины изолиний напряжений, перемещений, форма и размеры областей пластических деформаций принимают вид, характерный для одиночного фундамента.

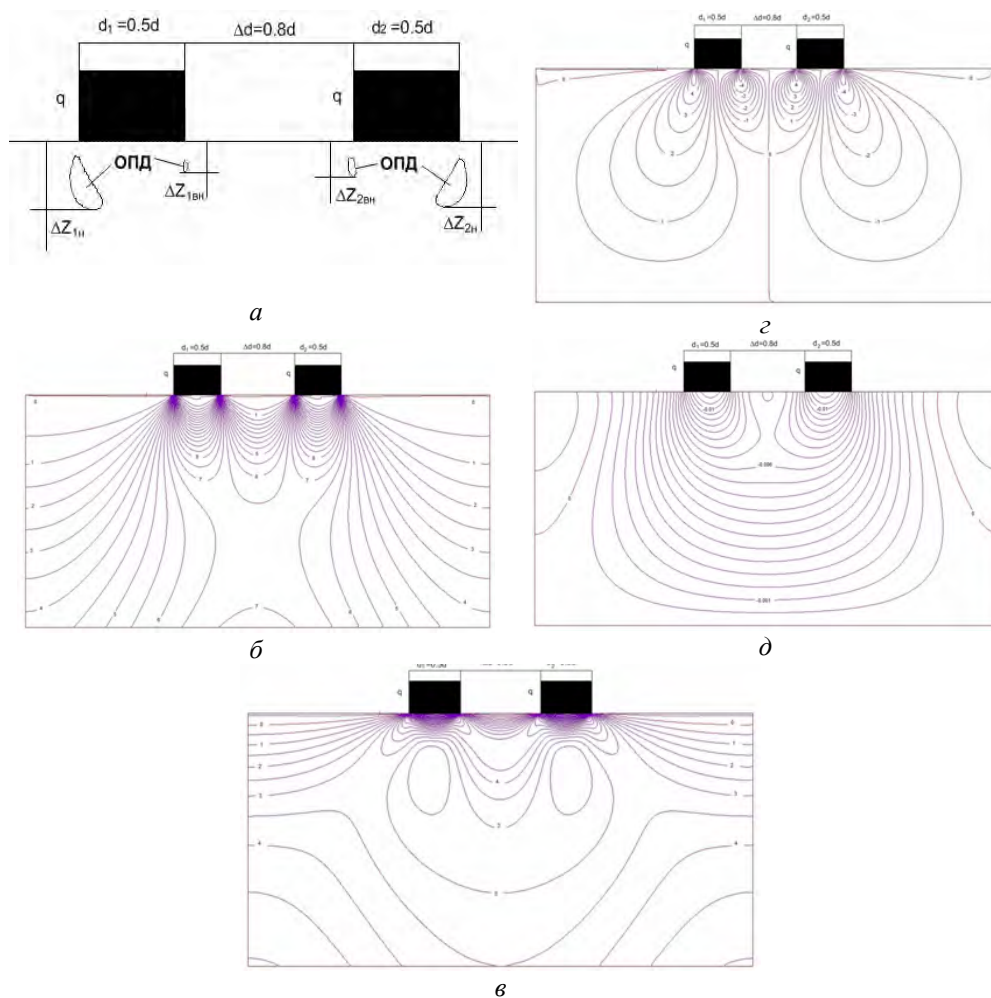


Рис. 5. Область пластических деформаций (а), изолинии вертикальных σ_z (б), горизонтальных σ_x (в), касательных τ_{zx} (г) напряжений и вертикальных перемещений δ_z (д) в основании двух близрасположенных плитных фундаментов половинной ширины $d_1 = d_2 = 0,5d$ при $\Delta d = 0,8d$

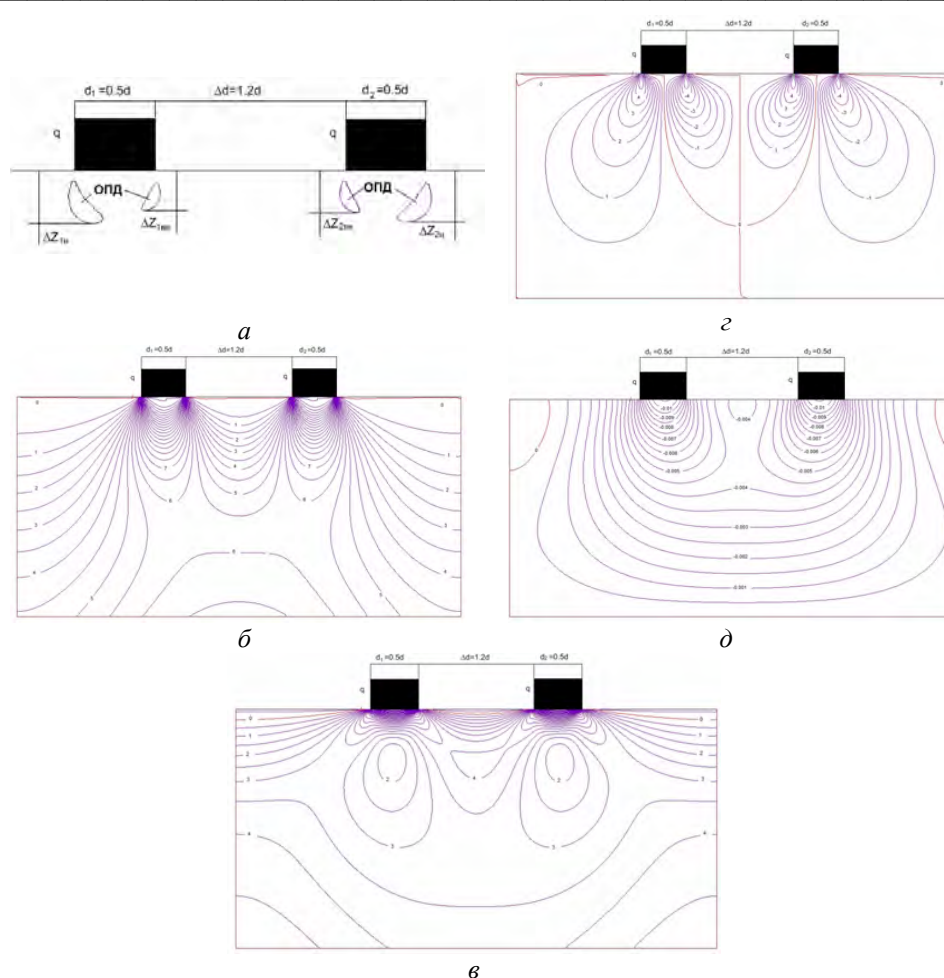


Рис. 6. Область пластических деформаций (а), изолинии вертикальных σ_z (б), горизонтальных σ_x (в), касательных τ_{zx} (г) напряжений и вертикальных перемещений δ_z (д) в основании двух близкорасположенных плитных фундаментов половинной ширины $d_1 = d_2 = 0,5d$ при $\Delta d = 1,2d$

На рис. 7 приведен график изменения глубины развития областей пластических деформаций под краями одного из них при рассматриваемых в работе численных значениях переменных расчетных параметрах, в зависимости от расстояния между близкорасположенными фундаментами.

Из рисунка видно, что для рассматриваемых в работе условий области пластических деформаций в основании фундамента будут иметь одинаковую глубину развития при $\Delta d \approx 1,5d$.

Как было сказано выше, различная скорость развития областей пластических деформаций в основании каждого из входящих в систему фундаментов определяет неравномерность их осадок, которая может превысить допустимые значения. Для того чтобы исключить этот эффект, нами предлагается подход, заключающийся в замене внешней равномерно распределенной нагрузки, передаваемой на фундамент, другой — закон

изменения интенсивности, который может быть описан простой функциональной зависимостью. При этом должно выполняться условие неизменности главного вектора внешней нагрузки. Установлено, что в качестве такой можно использовать кусочно-линейную функцию.

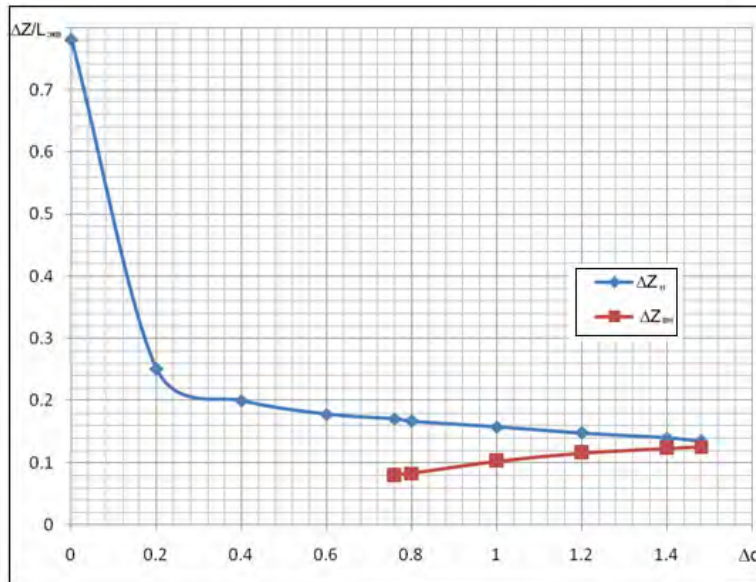


Рис. 7. Кривые зависимости $\Delta Z / L_{\text{экв}} = f(\Delta d)$ для областей пластических деформаций, возникающих под краями левого фундамента

Оказалось, что для рассмотренных в настоящей работе численных значений переменных расчетных параметров обеспечить равномерность осадок фундаментов можно, если при $\Delta d \in (0 \dots 0,8d]$ закон изменения внешней нагрузки описывается кусочно-линейной зависимостью (2), которая на полуинтервале $\Delta d \in (0,8 \dots 1,48d]$ вырождается в линейную (3).

$$q = \begin{cases} q_1 + k_1 x, & \text{при } x \in [0; 0,25d]; \\ q_1 + 0,25dk_1 + k_2(x - 0,25d), & \text{при } x \in [0,25d; 0,5d]. \end{cases} \quad (2)$$

$$q = q_1 + k_3 x, \text{ при } x \in [0; 0,5d]. \quad (3)$$

Графики для определения коэффициентов, входящих в выражения (2) и (3), приведены на рис. 8.

Как видно из рисунков 9 и 10, глубина развития областей пластических деформаций под обоими краями соответствующих фундаментов, численные значения трех компонент напряжения и вертикальные перемещения в соответствующих точках основания для обоих рассмотренных случаев практически одинаковы.

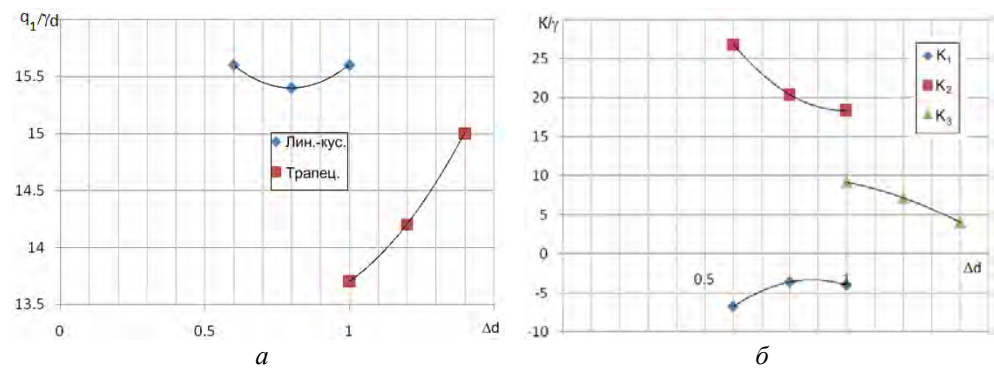


Рис. 8. Графики для определения коэффициентов, входящих в формулы (1) и (2)

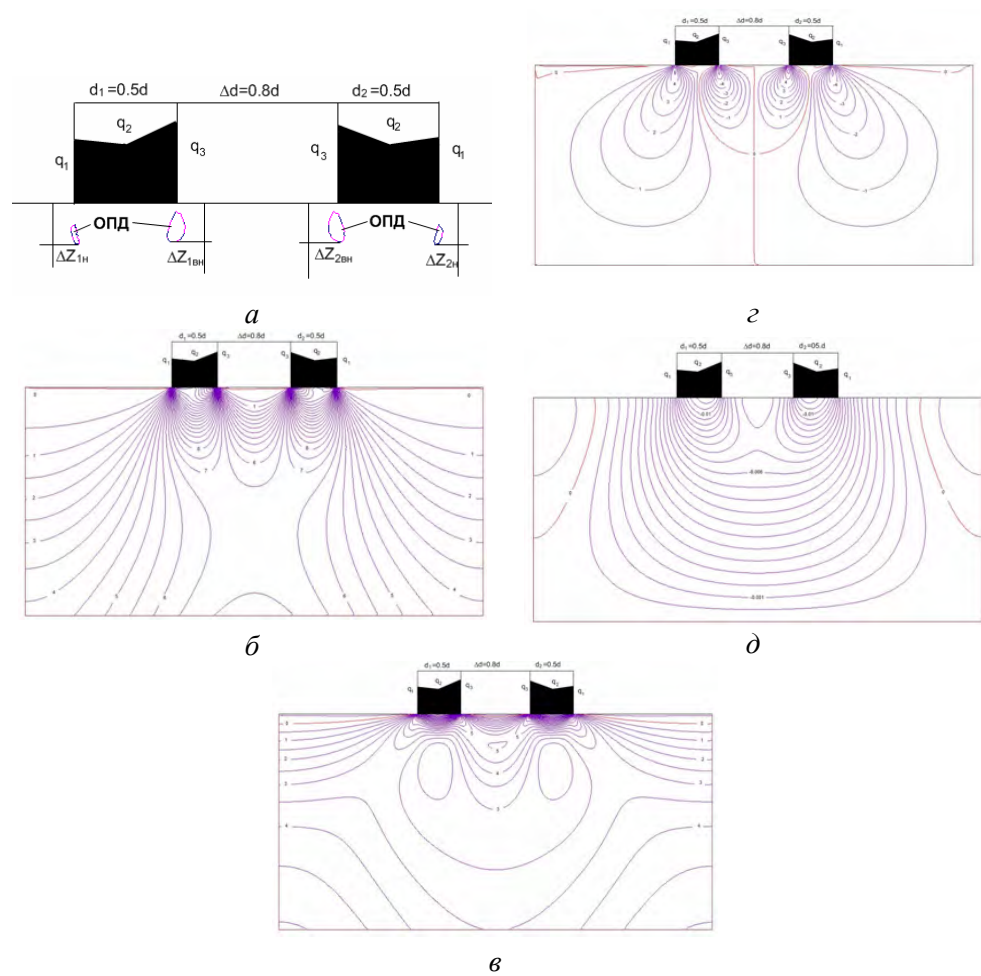


Рис. 9. Область пластических деформаций (а), изолинии вертикальных σ_z (б), горизонтальных σ_x (в), касательных τ_{zx} (г), касательных τ_{xz} (д) напряжений и вертикальных перемещений δ_z (е) в основании двух близкорасположенных плитных фундаментов половинной ширины $d_1 = d_2 = 0,5d$, $\Delta d = 0,8d$ при перераспределении внешней нагрузки по кусочно-линейному закону с соблюдением условия неизменности величины ее главного вектора

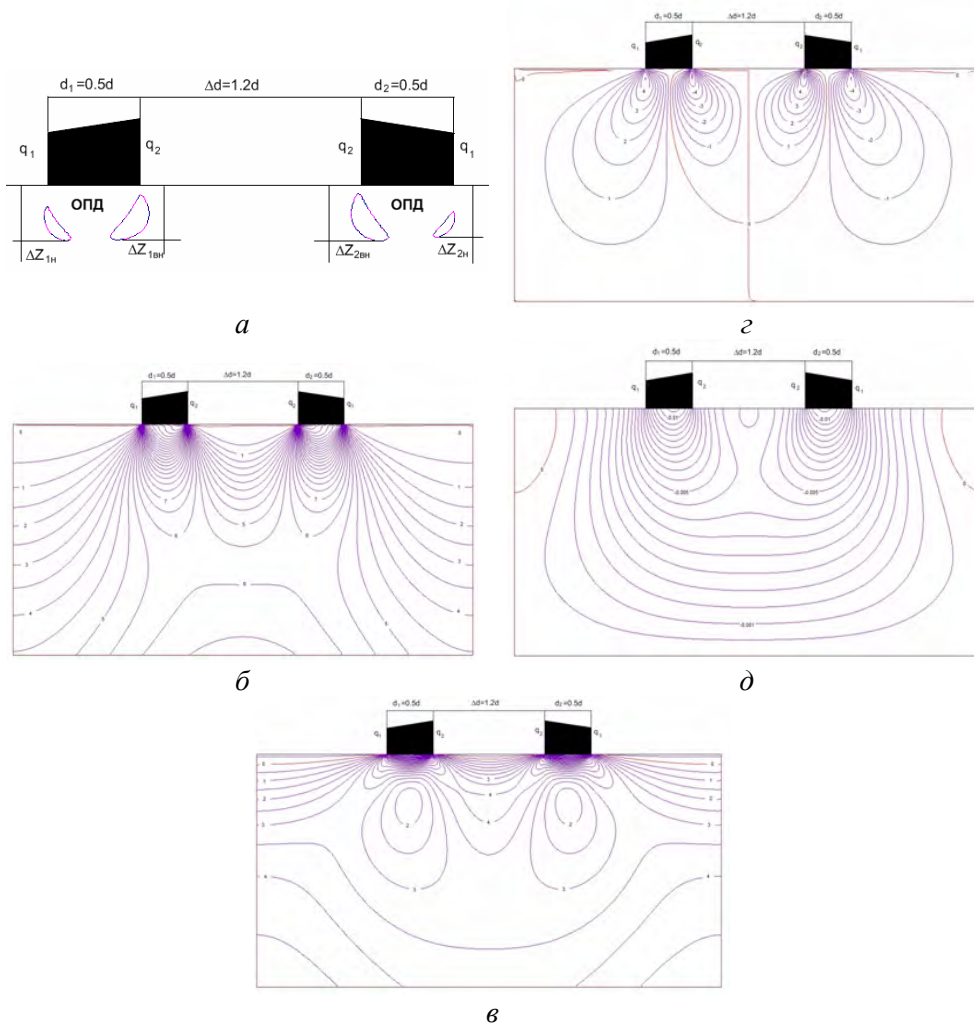


Рис. 10. Область пластических деформаций (а), изолинии вертикальных σ_z (б), горизонтальных σ_x (в), касательных τ_{xz} (г) напряжений и вертикальных перемещений δ_z (д) в основании двух близкорасположенных плитных фундаментов половинной ширины $d_1 = d_2 = 0,5d$, $\Delta d = 1,2d$ при перераспределении внешней нагрузки по линейному закону с соблюдением условия неизменности величины ее главного вектора

Выводы:

1. Получены графические зависимости и их аналитические аппроксимации, позволяющие определять глубину развития областей пластических деформаций в однородном основании составного плитного фундамента. Использование метода линейной интерполяции и полученных зависимостей позволяет определить величину расчетного сопротивления основания составного плитного фундамента.

2. Рассмотренные примеры показывают возможность регулирования осадок оснований составных плитных фундаментов путем изменения характера распределения внешней нагрузки при соблюдении условия неизменности ее главного вектора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сорочан Е. А.* Сборные фундаменты промышленных и жилых зданий. — М. : Госстройиздат, 1962. — 127 с.
2. *Фидаров М. И.* Проектирование и возведение прерывистых фундаментов. — М. : Стройиздат, 1986. — 156 с.
3. *Богомолов А. Н.* Исследование несущей способности и осадок основания системы пяти параллельных незаглубленных фундаментов на мелкоразмерных моделях // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архитектура. 2010. Вып. 20 (39). — С. 21—27.
4. *Богомолов А. Н.* Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г.
1. *Sorochan E. A.* Sbornye fundamenty promyshlennykh i zhilykh zdaniy. — M. : Gosstroyizdat, 1962. — 127 s.
2. *Fidarov M. I.* Proyektirovaniye i vozvedeniye preryvistykh fundamentov. — M. : Stroyizdat, 1986. — 156 s.
3. *Bogomolov A. N.* Issledovaniye nesushchey sposobnosti i osadok osnovaniya sistemy pyati paralelnykh nezaglublennykh fundamentov na melkorazmernykh modelyakh // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkhitektura. 2010. Vyp. 20 (39). — S. 21—27.
4. *Bogomolov A. N.* Ustoychivost (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) // Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g.

© *Богомолова О. А., Бартоломей И. Л., Бабаханов Б. С.,
Нестеров Р. С., Соловьев А. В., 2012*

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Особенности напряженно-деформированного состояния грунтового основания составного плитного фундамента / О. А. Богомолова, И. Л. Бартоломей, Б. С. Бабаханов, Р. С. Нестеров, А. В. Соловьев // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 36—46.

УДК 624.131

**О. А. Богомолова, И. В. Иванов,
А. С. Иванов, А. В. Соловьев, С. И. Шиян**

ДЛИТЕЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕНОК ТРАНШЕЙ

Приводятся результаты исследования длительной устойчивости траншей с вертикальными стенками, полученные на основе анализа напряженно-деформированного состояния грунтового массива. Установлено, что превышение расчетным значением коэффициента запаса устойчивости вертикальной траншеи его нормативного значения не обеспечивает длительную устойчивость объекта. Приводятся графические зависимости и соответствующие аналитические аппроксимации, позволяющие определить численные значения коэффициентов запаса откосов вертикальных траншей, обеспечивающих их длительную устойчивость.

К л ю ч е в ы е с л о в а: вертикальные стенки траншеи, физико-механические свойства грунта, напряженно-деформированное состояние, области пластических деформаций, длительная устойчивость.

The results of the research of long-lasting stability of trenches with vertical walls carried out on the basis of the analysis of stressed and strained state of ground solid are given in the article. It was established that the increase of vertical trench stability reservoir index by calculated value of its regulation value does not provide object's long-lasting stability. Characteristic curves and corresponding analytic approximations which help to determine numeric value of vertical trench free board index providing their long-lasting stability are shown in the article.

K e y w o r d s: vertical walls of trench, physical and mechanical features of the ground, stressed and strained state, area of plastic strain, long-lasting stability.

В работах [1—3] предложен критерий длительной устойчивости грунтовых массивов, основанный на анализе их напряженно-деформированного состояния. Установлено [4, 5], что процесс перераспределения напряжений автоматически «запускается» при определенных условиях: если сочетание физико-механических свойств и геометрических параметров грунтового массива таковы, что в нем предопределено возникновение областей пластических деформаций грунта (ОПД), то обусловленный этим обстоятельством перманентный процесс перераспределения напряжений обязательно завершится разрушением объекта. Разрушение массива произойдет тогда, когда область пластических деформаций достигнет определенного размера или, другими словами, произойдет достаточное накопление пластических деформаций.

Если ОПД изначально отсутствуют и нет причин для их образования, то целостности грунтового массива ничто не угрожает, он может теоретически долго существовать.

Для того, чтобы определить такие сочетания физико-механических свойств грунта и геометрических параметров траншеи с вертикальными стенками, устроенной в однородном грунте, при которых заведомо отсутствуют области предельного состояния грунта, проведено численное моделирование процесса образования ОПСГ. Для этого использована компьютерная программа [6], в которой для определения напряжений формализован метод конечных элементов (МКЭ), а граница областей предельного состояния грунта определяется как геометрическое место точек, в каждой из которых выполняется условие

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

где K_m ; σ_z ; σ_x ; τ_{xz} и α — соответственно коэффициент запаса устойчивости в точке грунтового массива; компоненты безразмерных (в долях γH) напряжений 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 ; φ ; γ — удельное сцепление, угол внутреннего трения, объемный вес грунта; H — глубина траншеи.

Угол наклона наиболее вероятной площадки сдвига, площадки, по которой величина коэффициента запаса устойчивости минимальна, определяется исходя из условий [7]

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

по формуле

$$\sin 2\alpha_{1;2} = -\frac{2\tau_{xz}}{B} \pm (\sigma_z - \sigma_x) \sqrt{\frac{B^2 - D}{B^2 D}}, \quad (3)$$

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

Для проведения компьютерного моделирования процесса зарождения областей пластических деформаций необходимо определить пределы изменения переменных параметров, определяющих форму и размеры ОПД.

Было принято, что глубина траншеи $H = 5; 10; 20$ м, ее ширина поочередно принимала значения $l = (0,4; 0,6; 0,8; 1,0) H$; $\varphi = [7^\circ \dots 30^\circ]$, а величина приведенного давления связности $\sigma_{св} = C(\gamma H \operatorname{tg} \varphi)^{-1} = 0,4; 0,8; 2; 7; 18$.

Была поставлена задача найти такие сочетания физико-механических свойств грунта и геометрических параметров траншеи, при которых поперечный размер областей пластических деформаций (см. рис. 1) во всех направлениях находится в пределах

$$0 \leq b \leq l/4, \quad (4)$$

как это рекомендовано в [1; 2]. Это условие является более строгим, чем предложенное проф. Э. В. Костериным [8].

Отметим еще раз, что все вычисления проведены при помощи компьютерной программы [6].

Путем обработки результатов вычислений определены численные значения величин K , при которых выполняется условие (4).

Используя базу значений величин K , построены графические зависимости вида $K = f(\varphi)$, приведенные на рис. 2—4.

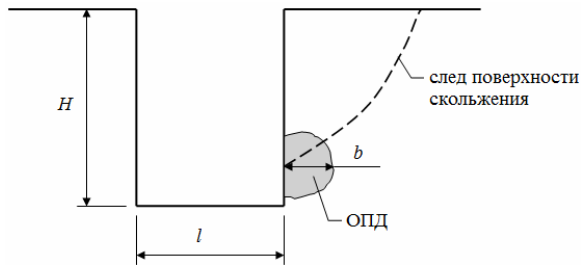


Рис. 1. Расчетная схема вертикальной траншеи

Особенностью построенных данных кривых является то, что каждая из них берет начало в точке координатного поля $K = f(\varphi)$, которой соответствует значение угла внутреннего трения φ , обеспечивающее отсутствие областей пластических деформаций в бортах траншеи.

Через начала этих кривых проведены прямые линии, делящие поле значений $K = f(\varphi)$ на две части. В нижней части поля, лежащей ниже означенной прямой, находится множество значений K , которые не обеспечивают длительной устойчивости бортов траншеи, даже если это значение больше той величины K , которая указана в нормативном документе. И наоборот, может случиться, что при величине расчетного коэффициента запаса устойчивости меньшей нормативного значения и кратковременная и длительная устойчивость бортов траншеи будет обеспечена.

Для объяснения этого обратимся, например, к рис. 2, а, из которого видно, что при $\varphi = 35^\circ$ величина $K = 1,05 < K_{\text{нор}} = 1,2$ обеспечивает длительную устойчивость бортов траншеи, а при значении угла внутреннего трения, например, $\varphi = 10^\circ$ длительная устойчивость бортов траншеи обеспечена лишь при $K = 1,4$, что больше нормативной величины.

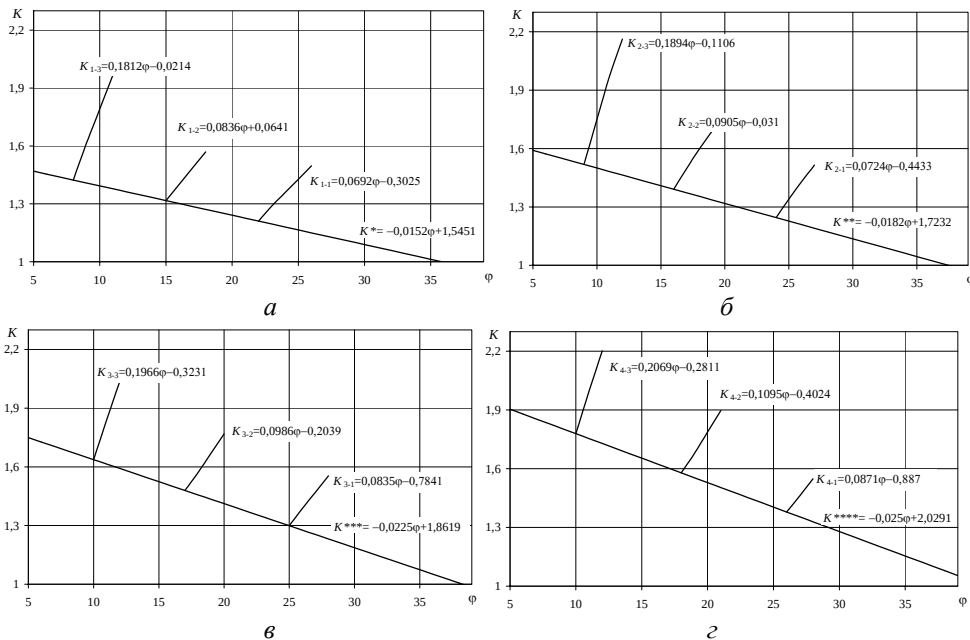


Рис. 2. Кривые вида $K = f(\varphi)$ при $l/H = 1$ (а); $l/H = 0,8$ (б); $l/H = 0,6$ (в) и $l/H = 0,4$ (г) для значений давления связности $\sigma_{\text{св}} = 0,8; 2,0; 7,0$ (слева направо) и $H = 5$ м

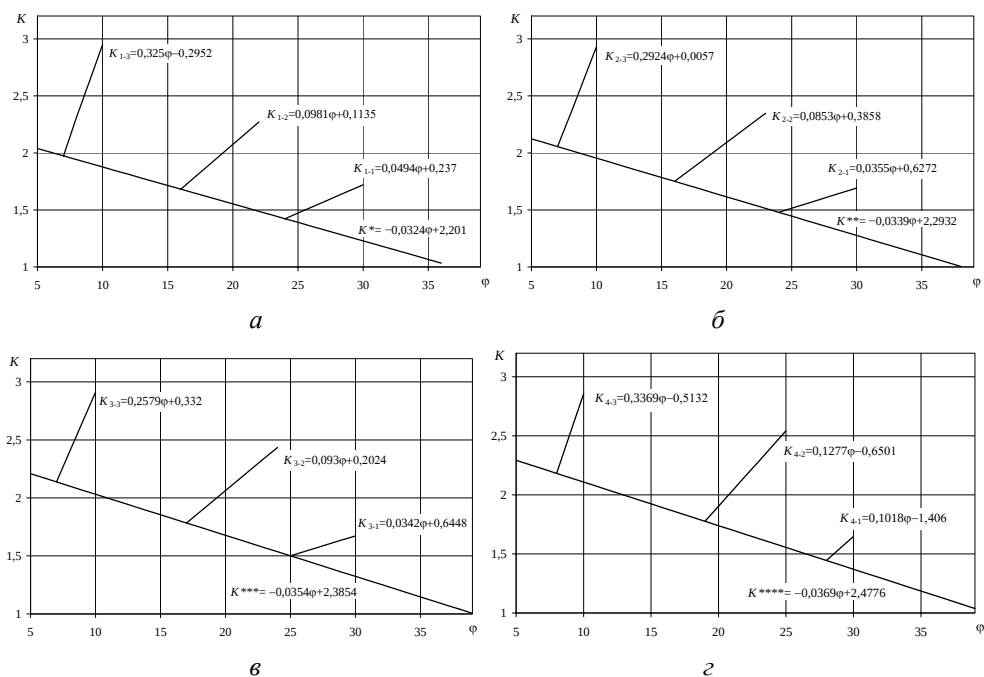


Рис. 3. Кривые вида $K = f(\varphi)$ при $l/H = 1$ (а); $l/H = 0,8$ (б); $l/H = 0,6$ (в) и $l/H = 0,4$ (г) для значений давления связности $\sigma_{св} = 0,8; 2,0; 7,0$ (слева направо) и $H = 10$ м

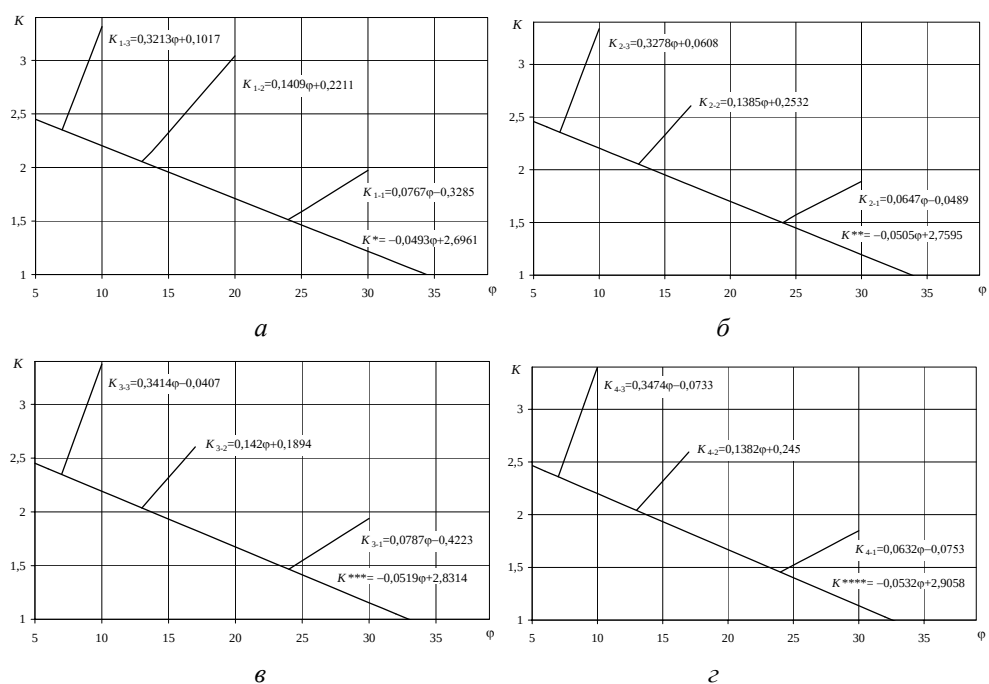


Рис. 4. Кривые вида $K = f(\varphi)$ при $l/H = 1$ (а); $l/H = 0,8$ (б); $l/H = 0,6$ (в) и $l/H = 0,4$ (г) для значений давления связности $\sigma_{св} = 0,8; 2,0; 7,0$ (слева направо) и $H = 20$ м

Анализ кривых, приведенных на рис. 2—4, позволил построить графические зависимости, изображенные на рис. 5, а—в, которые позволяют определить минимальные значения коэффициентов запаса устойчивости, при которых размеры областей пластических деформаций удовлетворяют условию (4) при заданной расчетной схеме и различных сочетаниях физико-механических свойств грунта и геометрических параметров траншеи.

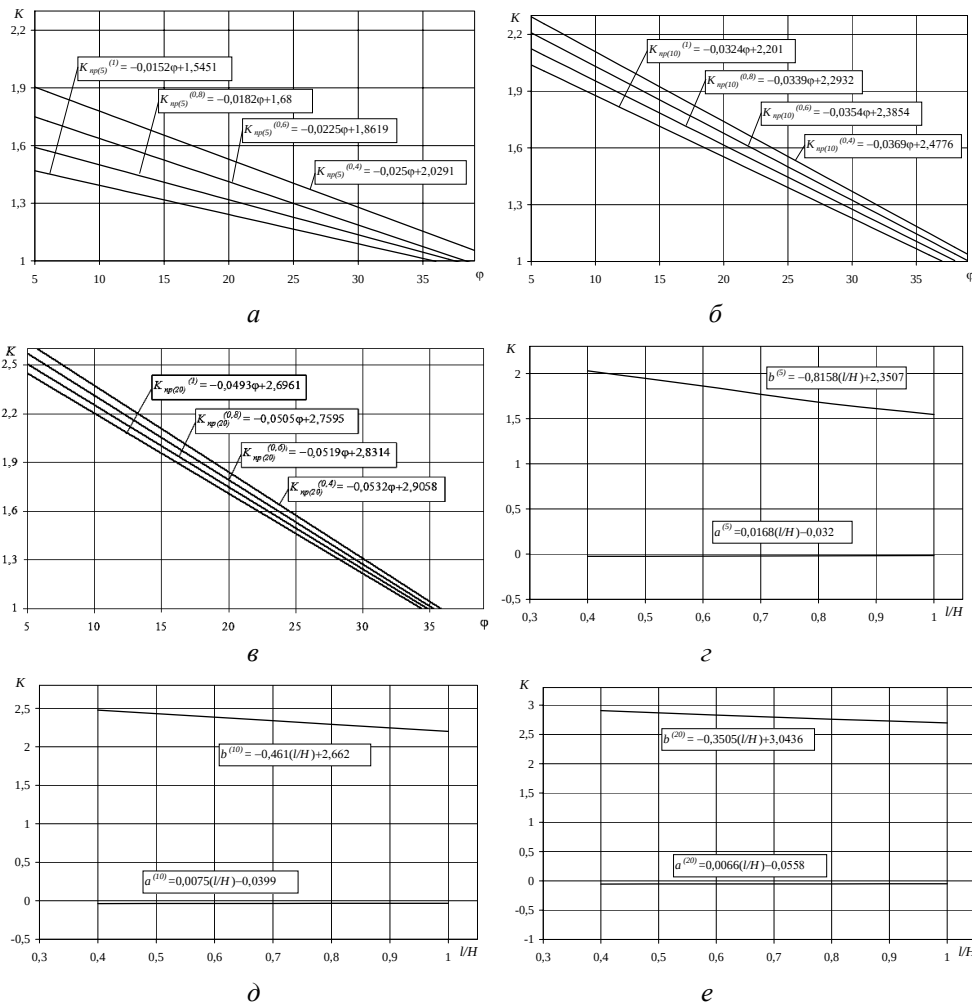


Рис. 5. Минимальные значения K для отношений $l/H = 1; 0,8; 0,6; 0,4$, при $H = 5; 10; 20$ м (а—в); численные значения коэффициентов a и b при $H = 5; 10; 20$ м (г—е)

Установлено, что эти линии с погрешностью, не превышающей 2,4 %, аппроксимируются прямыми, уравнения которых имеют вид

$$K_{\text{пр}} = a\varphi + b. \quad (5)$$

На тех же рисунках в рамках приведены уравнения соответствующих прямых, а на рис. 5, г—е приведены данные, позволяющие непосредственно по графикам или путем вычислений найти численные значения

коэффициента a (размерность $[\text{град}^{-1}]$) и безразмерного коэффициента b , входящих в формулу (5).

Таким образом, получены графические зависимости и их аналитические аппроксимации, позволяющие определить численные значения коэффициентов запаса устойчивости откосов вертикальных траншей, обеспечивающих их длительную устойчивость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богомолов А. Н. Новый критерий оценки длительной устойчивости однородных откосов на основе анализа напряженно-деформированного состояния / А. Н. Богомолов и др. // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2009. Вып. 14 (33). — С. 5—122.
2. Богомолов А. Н. О двух критериях устойчивости грунтовых откосов и склонов / А. Н. Богомолов и др. // Современные технологии в строительстве. Теория и практика : материалы Всеросс. семинара-совещ. зав. каф. «Строит. пр-во» и междунар. науч.-практич. конф., посвященной 50-летию строит. факультета ПГТУ (г. Пермь, 22—23 сент. 2009 г.). — Пермь : Изд-во Пермского гос. техн. ун-та, 2009. — С. 54—58.
3. Богомолов А. Н. Назначение коэффициентов запаса при расчете грунтовых откосов и оснований сооружений на устойчивость / А. Н. Богомолов и др. // Вестник ВолгГАСУ Сер.: Строительство и архитектура. — 2010. Вып. 19 (39). — С. 39—43.
4. Богомолов А. Н. К вопросу об обеспечении устойчивости насыпей грунтовых сооружений / А. Н. Богомолов, С. И. Шиян, О. А. Богомолова, Т. А. Сабитова // Труды международной конференции «Геотехнические проблемы XXI века в строительстве зданий и сооружений. — Пермь, ПГТУ, 2007.
5. Богомолов А. Н. К вопросу о величине коэффициента запаса устойчивости грунтового массива / А. Н. Богомолов, С. И. Шиян, О. А. Богомолова, Т. А. Сабитова // Труды международной конференции «Геотехнические проблемы XXI века в строительстве зданий и сооружений. — Пермь, ПГТУ, 2007.
6. Богомолов А. Н. Устойчивость (напряженно-деформированное состояние) / А. Н. Богомолов и др. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г.
7. Цветков В. К. Расчет устойчивости откосов и склонов. — Волгоград : Нижневолжское книжное изд-во, 1979.
8. Костерин Э. В. Напряженное состояние и устойчивость крутых откосов выемок. — Омск: СИБАДИ, 1973. — 110 с.
1. Bogomolov A. N. Novyy kriteriy otsenki dlitelnoy ustoychivosti odnorodnykh otcosov na osnove analiza napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya / A. N. Bogomolov i dr. // Vestnik VolgGASU. Ser.: Stroitelstvo i arkhitektura. — Volgograd : Izd-vo VolgGASU, 2009. — Vyp. 14 (33). — S. 5—122.
2. Bogomolov A. N. O dvukh kriteriyakh ustoychivosti gruntovykh otcosov i sklonov / A. N. Bogomolov i dr. // Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika : materialy Vseross. seminara-soveshch. zav. kaf. "Stroit. pr-vo" i mezhdunar. nauch.-praktich. konf., posvyashchennoy 50-letiyu stroit. fakul'teta PGU (g. Perm', 22—23 sent. 2009 g.). — Perm : Izd-vo Permskogo gos. tekhn. un-ta, 2009. — S. 54—58.
3. Bogomolov A. N. Naznachenie koeffitsientov zapasa pri raschete gruntovykh otcosov i osnovaniy sooruzheniy na ustoychivost' / A. N. Bogomolov i dr. // Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. — 2010. Vyp. 19 (39). — S. 39—43.
4. Bogomolov A. N. K voprosu ob obespechenii ustoychivosti nasypey gruntovykh sooruzheniy / A. N. Bogomolov, S. I. Shiyan, O. A. Bogomolova, T. A. Sabitova // Trudy mezhdunarodnoy konferentsii «Geotekhnicheskie problemy XXI veka v stroitel'stve zdaniy i sooruzheniy. — Perm, PGU, 2007.
5. Bogomolov A. N. K voprosu o velichine koeffitsienta zapasa ustoychivosti gruntovogo mas-siva / A. N. Bogomolov, S. I. Shiyan, O. A. Bogomolova, T. A. Sabitova // Trudy mezhdunarodnoy konferentsii «Geotekhnicheskie problemy XXI veka v stroitel'stve zdaniy i sooruzheniy. — Perm', PGU, 2007.

6. *Bogomolov A. N. Ustoychivost (napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) / A. N. Bogomolov i dr. // Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g.*

7. *Tsvetkov V. K. Raschet ustoychivosti otkosov i sklonov. — Volgograd : Nizhnevolzhskoe knizhnoe izd-vo, 1979.*

8. *Kosterin E. V. Napryazhennoe sostoyanie i ustoychivost krutikh otkosov vyemok. — Omsk: SIBADI, 1973. — 110 s.*

© *Богомолова О. А., Иванов И. В., Иванов А. С.,
Соловьев А. В., Шиян С. И., 2012*

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Длительная устойчивость вертикальных стенок траншей / О. А. Богомолова, И. В. Иванов, А. С. Иванов, А. В. Соловьев, С. И. Шиян // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 47—53.

УДК 624.152.634.3

Р. А. Мангушев, С. В. Ланько

ВЛИЯНИЕ ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОГРАЖДЕНИЙ ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ

Рассматривается влияние грунтоцементных конструкций, выполненных по технологии струйной цементации, на горизонтальные деформации ограждений глубоких котлованов в условиях слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ограждение котлованов, струйная цементация грунтов, численное моделирование.

The authors consider in the article the influence of unpaved and concrete constructions executed by jet-grouting technology on horizontal deformations of enclosures of deep trenches under conditions of low in water dust-clayey soils.

K e y w o r d s: enclosures of trenches, jet-grouting, numerical modeling.

При устройстве ограждений котлованов в слабых водонасыщенных грунтах, как правило, используется металлический шпунт. Одним из недостатков такой конструкции ограждения при большой глубине котлованов является большая гибкость шпунта, вследствие чего необходимо выполнять раскрепление ограждения (устройство системы распорок, анкеров, плит перекрытий и др.).

Зачастую слабые водонасыщенные пылевато-глинистые грунты при техногенных воздействиях (вибропогружение шпунта, устройство свай, отрывка котлована и др.) проявляют тиксотропные свойства. Такие грунты переходят в текучее состояние (расструктурирование) и приобретают свойства вязкой жидкости. Значения угла внутреннего трения и сцепления в этом случае становятся близкими к нулю, что приводит к увеличению активного давления на ограждении котлована практически в 2 раза и больше. Вследствие этого, горизонтальные перемещения ограждения могут оказаться выше прогнозируемых величин, что в условиях городской застройки может значительно увеличить дополнительные осадки зданий окружающей застройки.

Одним из вариантов снижения горизонтальных деформаций ограждений является увеличение его жесткости путем устройства железобетонных (касательные, пересекающиеся сваи, траншейные стены) или грунтоцементных (по струйной или бурсмесительной технологиям [1]) «стен в грунте».

Струйная технология (jet-grouting) при устройстве ограждения котлованов успешно применяется в ряде городов России [2] и зарубежья [3]. Ограждения такого типа представляют собой сплошную «стену в грунте». Сплошность такой конструкции обеспечивается путем устройства, как правило, двух, трех рядов пересекающихся грунтоцементных свай. Прочность сечения обеспечивается армированием стволов грунтоцементных свай стальными трубами или прокатными профилями (двутаврами). Для снижения горизонтальных перемещений ограждения и обеспечения устойчивости используют одно-, двухрядное анкерное крепление стенок (при сооружении глубоких котлованов).

Технологию струйной цементации, как правило, применяют для устройства конструкций ограждения, распорной или противодиффузионной диафрагмы ниже дна котлована, а также для создания грунтоцементного массива

с внешней стороны железобетонной стены в грунте, который снижает горизонтальные деформации ограждения и осадки соседней застройки [4].

Одним из вариантов увеличения жесткости готового шпунтового ограждения является устройство вертикальных грунтоцементных конструкций (свай) с внешней стороны шпунта. Толщина (количество рядов свай) грунтоцементных конструкций подбирается расчетом. Крайний ряд грунтоцементных свай армируется стальными прокатными профилями (труба, швеллер, двутавр). Сверху шпунт и армирующие элементы объединяются железобетонной обвязочной балкой. Таким образом, шпунт и армирующий элемент служат в качестве «жесткой арматуры», а грунтоцемент выступает в роли связующей матрицы и обеспечивает размещение «арматуры» в сечении. Такая конструкция комбинированного ограждения была реализована на одном из объектов Санкт-Петербурга [5].

Котлован в плане представлял собой прямоугольную трапецию с размерами сторон $82 \times 67 \times 159 \times 158$ м. Грунтоцементная стена в грунте, примыкающая к шпунту, представляла собой 3 ряда свай, диаметром 700 мм, крайние ряды армированы двутавровыми балками $N 40$ (рис. 1, а). Ниже проектной отметки дна котлована ($-12,0 \dots -14,5$ м) по периметру котлована была выполнена грунтоцементная диафрагма (ГЦД), толщиной 2,0...2,5 м. В центре котлована располагались 3 участка грунта природного сложения (островная часть).

Проектная глубина погружения шпунтового ограждения составляет 21,0 м, глубина грунтоцементных свай — 18,5 м.

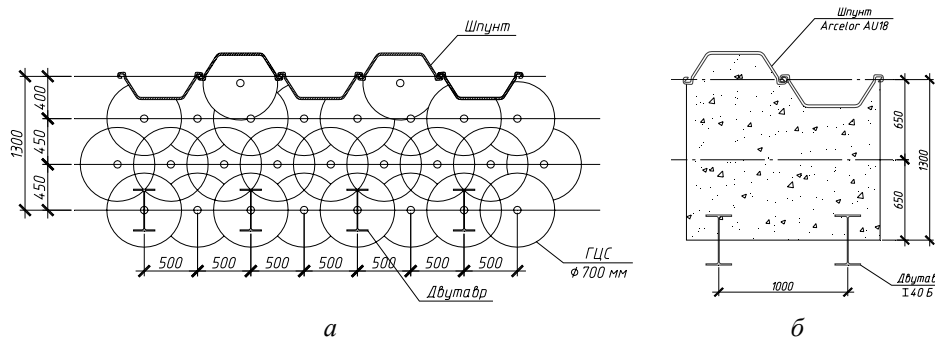


Рис. 1. Конструкция комбинированного ограждения из металлического шпунта и грунтоцементных свай (а) и расчетная схема (б)

Расчет ограждений такого типа может выполняться следующим образом: вся стена рассматривается как условная железобетонная балка с жесткой арматурой в виде стального шпунта, с одной стороны, и стального двутавра с другой. Нейтральная ось такой балки в расчетах может приниматься по центру сечения в случае, если шпунт и армирующие имеют одинаковые геометрические параметры. В противном случае положение нейтральной оси вычисляется стандартными методами. Для расчета рассматривался участок шириной 1 м (рис. 1, б). Геометрические характеристики условной балки определялись следующим образом:

условная площадь поперечного сечения $A = 2A_{\text{дв}} + A_{\text{шп}}$;

условный момент инерции $I = (2A_{\text{дв}} + A_{\text{шп}})h^2$.

При расчете в программных комплексах такую конструкцию можно моделировать двумя элементами типа «плита» с характеристиками шпунта и двутавров, пространство между ними «заполняется» грунтом с условными характеристиками грунтоцемента.

Параметры схем ограждения приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Характеристики конструкций ограждения

№ схемы	Эскиз	Площадь A , см ² /м	Момент инерции I , см ⁴ /м	Вес, кН/м ³ /м	EA , кН/м	EI , кНм ² /м
1		150	39300	17,0	3150000	62530
2		294,4	1243840	17,0	6182400	2612064
3		150	39300	17,0	3150000	62530
		144,4	40038	17,0	3032400	84080

Для оценки влияния грунтоцементных конструкций на горизонтальные перемещения ограждения были проведены сравнительные расчеты в ПК Plaxis v8. Моделирование конструкции ограждения выполнялось расчетными схемами, представленными в табл. 1. Расчетная схема ограждения представлена на рис. 2.

Характеристики грунтов основания площадки строительства представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Характеристики грунтов основания

ИГЭ	Наименование грунта	ρ , г/см ³	ϕ , град.	c , кПа	E , МПа
1	Насыпной грунт	1,7	—	—	—
2	Пески пылеватые	1,94	26	2	11,0
3	Суглинки текучие	1,95	16	14	7,5
4	Суглинки текучие	1,83	13	24	5,6
5	Супеси пластичные	2,23	24	7,5	9,9
6	Суглинки тугопластичные	2,10	24	22	13,8
7	Суглинки полутвердые	2,05	27	29	17,0
8	Грунтоцемент	1,75	35	1000	450

В расчетах учитывалось проектное поэтапное возведение подземной части сооружения:

1. Разработка грунта до отметки 4,41 м.
2. Разработка грунта в островной части до отметки 8,00 м.
3. Разработка грунта от отметки 4,41 м до 8,00 м в периферийной части и до отметки –12,00 м в островной части.
4. Разработка грунта от отметки 8,00 м до 12,00 м в периферийной части.
5. Устройство железобетонных конструкций подземной части.

Результаты сравнительных расчетов и данные натурных инклинометрических наблюдений представлены на совмещенном графике на рис. 3.

В данных расчетах не учитывалось изменение характеристик грунтов при устройстве вертикальных и горизонтальных грунтоцементных конструкций.

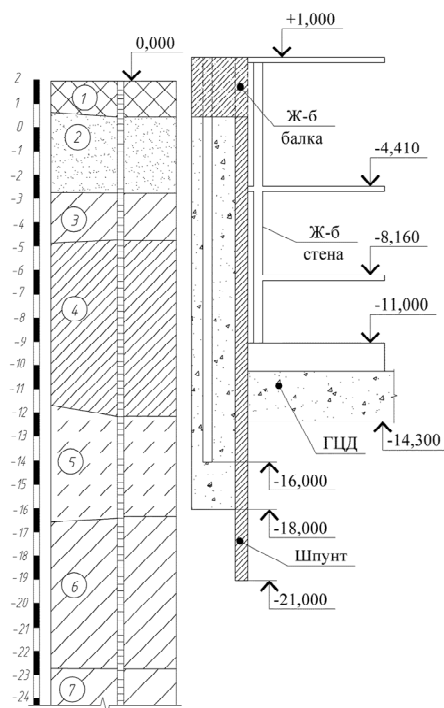


Рис. 2. Расчетная схема ограждения

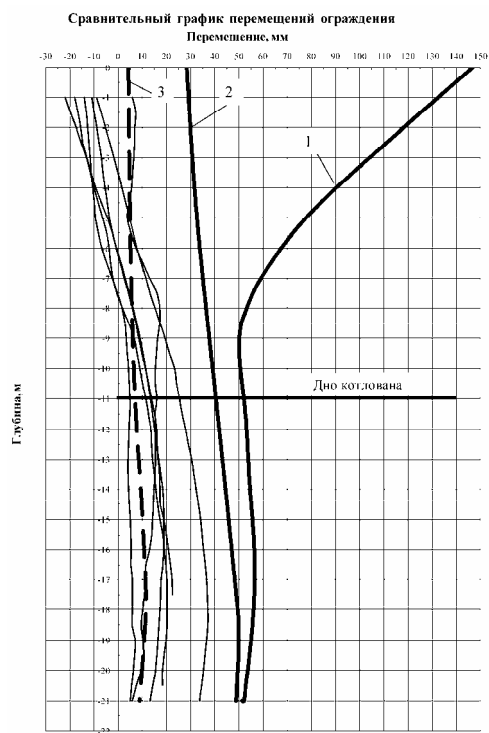


Рис. 3. Результаты сравнительных расчетов и данные натурных наблюдений: 1 — расчет по схеме 1; 2 — расчет по схеме 2; 3 — расчет по схеме 3; графики без подписей — данные инклинометрических наблюдений

Как видно из графиков, в случае использования шпунтового ограждения максимальные горизонтальные перемещения наблюдаются в верхней части ограждения. Применение грунтоцементных вертикальных конструкций позволило увеличить жесткость ограждения, что отражено на графиках расчетных значений (схема 2 и 3, табл. 1) перемещений. Максимальные значения натурных величин перемещений не превысили расчетных значений по схеме № 2 в табл. 1, т. е. без учета характеристик грунтоцемента.

Учет характеристик грунтоцементных вертикальных конструкций в расчетах ограждений показывает более близкие значения горизонтальных перемещений, однако на стадии проектирования предпочтительней расчет производить по схеме № 2 (табл. 1), так как прогноз механических характеристик грунтоцемента на стадии проекта затруднителен. Расчет ограждений по схеме № 3 (табл. 1) рекомендуется производить в том случае, когда имеются данные по определению физико-механических характеристик грунтоцемента.

Выводы

1. Основное влияние на снижение горизонтальных деформаций ограждений котлованов оказывает увеличение жесткости ограждения.
2. При расчете комбинированного ограждения, состоящего из шпунта и грунтоцементной стены в грунте, на стадии проектирования рекомендуется использовать расчетную схему без учета грунтоцемента.
3. Расчетную схему ограждения котлована с учетом характеристик грунтоцемента предлагается использовать на стадии строительства, при наличии данных по испытанию механических характеристик грунтоцемента.
4. Максимальные перемещения ограждения, полученные по результатам инклинометрических наблюдений, не превысили расчетных величин, полученных по схеме № 2 (табл. 1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мангушев Р. А. Методы подготовки и устройства искусственных оснований: учебное пособие / Р. А. Мангушев, Р. А. Усманов, С. В. Ланько, В. В. Конюшков. — М., СПб. : Изд-во АСВ, 2012. — 266 с.
2. Малинин А. Г. Струйная цементация грунтов. — М. : Стройиздат, 2009. — 196 с.
3. Бройд И. И. Струйная геотехнология: учебное пособие. — М. : Изд-во АСВ, 2004. — 448 с.
4. Готман Ю. А. Определение оптимальных размеров грунтоцементного массива, снижающего перемещения ограждений глубоких котлованов: автореф. дисс... канд. техн. наук. — М., 2011. — 24 с.
5. Мангушев Р. А., Гутовский В. Э., Конюшков В. В. Определение прочностных характеристик грунтоцементного массива, выполненного по технологии jet-grouting в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 2. — С. 69—77.
1. Mangushev R. A. Metody podgotovki i ustroystva iskusstvennykh osnovaniy: uchebnoe posobie / R. A. Mangushev, R. A. Usmanov, S. V. Lanko, V. V. Konyushkov — M., SPb. : Izd-vo ASB, 2012. — 266 s.
2. Malinin A. G. Struynaya tsementatsiya gruntov. — M. : Stroyizdat, 2009. — 196 s.
3. Broyd I. I. Struynaya geotekhnologiya: ucheb. posobie. — M. : Izd-vo ASB, 2004. — 448 s.
4. Gotman Yu. A. Opredeleniye optimalnykh razmerov gruntotsementnogo massiva, snizhayushchego peremeshcheniya ograzhdeniy glubokikh kotlovanov: avtoref. diss... kand. tekhn. nauk. — M., 2011. — 24 s.

5. *Mangushev R. A., Gutovskiy V. E., Konyushkov V. V.* Opredeleniye prochnostnykh kharak-teristik gruntotsementnogo massiva, vypolnennogo po tekhnologii jet-grouting v inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh Sankt-Peterburga // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2010. № 2. — S. 69—77.

© Мангушев Р. А., Ланько С. В., 2012

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Мангушев Р. А., Ланько С. В. Влияние грунтоцементных конструкций на горизонтальные перемещения ограждений глубоких котлованов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 54—59.

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

УДК 539.3

Н. А. Гуреева, Р. З. Киселева, В. В. Леонтьева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ СОЧЛЕНЕНИЯ ПЛОСКОНАГРУЖЕННЫХ РАЗНОРОДНЫХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПЛАСТИН НА ОСНОВЕ МКЭ

Для определения напряженно-деформированного состояния в зонах сочленения разнородных криволинейных пластин, находящихся в условиях плоского нагружения, используется объемный конечный элемент с поперечным сечением в форме четырехугольника с узловыми неизвестными в виде перемещений и их производных. Для конечных элементов, примыкающих к границе сочленения пластин, получены соотношения между узловыми неизвестными одной пластины, принятой за основную, и пластины, примыкающей к основной.

К л ю ч е в ы е с л о в а: МКЭ, криволинейные пластины, объемный конечный элемент, узловые неизвестные, условия на границе пересечения криволинейных пластин, разнородный материал.

To determine stressed and strained state in the zone of intersection of heterogeneous curved plates, which are able to load the plane, an element of finite volume with a cross-section in the form of a quadrangle with nodal unknown in the form of displacements and their derivatives is used. Parities (ratio) between nodal unknown of one plate accepted as a basic one, and a plate adjoining the basic one were received for finite elements adjoining border of the joint of plates.

К e y w o r d s: method of finite elements, curvilinear plates, volume finite element, nodal unknown, conditions on border of crossing of the plates, dissimilar material.

1. Геометрия криволинейной пластины конечного элемента. Положение произвольной точки M срединной поверхности криволинейной пластины в декартовой системе координат xOz определяется радиус-вектором (рис. 1).

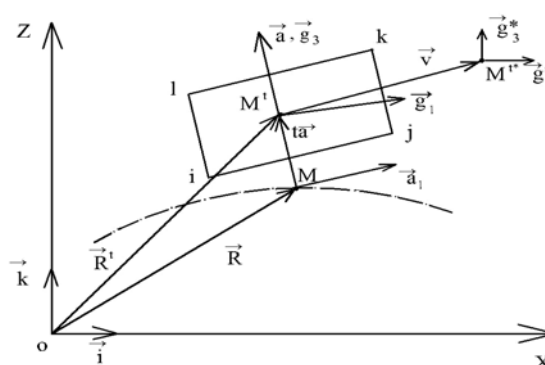


Рис. 1. Положение произвольной точки M срединной поверхности криволинейной пластины в декартовой системе координат xOz

$$\vec{R} = x\vec{i} + z(x)\vec{k}, \quad (1)$$

где $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ — орты декартовой системы координат.

Векторы локального базиса точки M определяются выражениями

$$\vec{a}_1 = \vec{R}_s = x_s \vec{i} + z_s \vec{k}; \quad \vec{a} = \vec{a}_1 \times \vec{j} = -x_s \vec{k} - \vec{i} z_s. \quad (2)$$

Производные векторов локального базиса определяются дифференцированием выражений (2)

$$\{\vec{a}_s\} = [m]\{\vec{a}\}^T, \quad (3)$$

где $\{\vec{a}_s\}^T = \{\vec{a}_{1,s} \vec{a}_s\}$; $\{\vec{a}\}^T = \{\vec{a}_1 \vec{a}\}$.

Положение произвольной точки M^t криволинейной пластины, отстоящей на расстоянии t от точки M , определяется радиусом-вектором (рис. 1)

$$\vec{R}^t = \vec{R} + t\vec{a}. \quad (4)$$

Векторы локального базиса точки M^t определяются дифференцированием (4) и с учетом (3), записываются в виде

$$\vec{g}_1 = \vec{R}_s^t = \vec{R}_s + t\vec{a}_s = \vec{a}_1(1 + tm_{21}) + tm_{22}\vec{a}; \quad \vec{g}_3 = \vec{R}_s^t = \vec{a}. \quad (5)$$

Под действием нагрузки точка M^t перейдет в положение точки M^{*t} (рис. 1). Вектор перемещения точки M^t определяется в базисе точки M выражением

$$\vec{v} = v\vec{a}_1 + v\vec{a}. \quad (6)$$

Производные вектора (6) с учетом (3) имеют вид

$$\vec{v}_s = \vec{a}_1 f_1^1 + \vec{a} f_1; \quad \vec{v}_t = \vec{a}_1 v_{,t}^1 + v_{,t} \vec{a}, \quad (7)$$

где $f_1^1 = v_{,s}^1 + v^1 m_{11} + v m_{21}$; $f_1 = v^1 m_{12} + v_{,s} + v m_{22}$. (7,a)

Векторы локального базиса точки M^t в деформированном состоянии определяются выражениями

$$\vec{g}_1^* = \vec{R}_s^t + \vec{v}_s = \vec{g}_1 + \vec{v}_s; \quad \vec{g}_3^* = \vec{R}_t^t + \vec{v}_t = \vec{g}_3 + \vec{v}_t. \quad (8)$$

Деформации в точке M^{*t} определяются соотношениями механики сплошной среды [1]

$$\varepsilon_{11} = \frac{1}{2}(g_{11}^* - g_{11}) = (1 + tm_{21})f_1^1 + tm_{22}f_1; \quad \varepsilon_{33} = \frac{1}{2}(g_{33}^* - g_{33}) = v_{,t};$$

$$2\varepsilon_{13} = g_{13}^* - g_{13} = (1 + tm_{21})v_{,t}^1 + tm_{22}v_{,t} + f_1. \quad (9)$$

Связь между напряжениями и деформациями определяется соотношениями механики сплошной среды [1]

$$\sigma^{ij} = \lambda I_1(\varepsilon)g^{ij} + 2\mu g^{im}g^{jn}\varepsilon_{mn},$$

где λ, μ — параметры Ламе; $I_1(\varepsilon) = \varepsilon_{ij}g^{ij}$ — первый инвариант тензора деформации в произвольной точке пластинки; g^{ij} , g_{ij} — контравариантные и ковариантные компоненты метрического тензора.

Для плосконагруженной криволинейной пластины соотношения между деформациями и напряжениями запишутся матричным выражением

$$\{\sigma\} = [C] \{\varepsilon\}, \quad (10)$$

где $\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_{11} \ \varepsilon_{33} \ 2\varepsilon_{13}\}$, $\{\sigma\}^T = \{\sigma^{11} \ \sigma^{33} \ \sigma^{13}\}$.

2. Матрица жесткости объемного конечного элемента с поперечным сечением в форме произвольного четырехугольника формируется согласно [2]. Для выполнения численного интегрирования произвольный четырехугольник с узлами i, j, k, l (рис. 1) отображается на квадрат с локальными координатами a, b , изменяющимися в пределах $-1 \leq a, b \leq 1$.

Глобальные координаты x, z внутренней точки четырехугольного элемента пластины определяются через узловые значения координат билинейными соотношениями

$$\lambda = \{f(a, b)\}^T \{\lambda_y\}, \quad (11)$$

где под символом λ понимаются координаты x, z ; $\{\lambda_y\}_{1 \times 4}^T = \{\lambda^i \ \lambda^j \ \lambda^k \ \lambda^l\}$ —

матрица-строка узловых значений координаты λ .

Дифференцированием (11) определяются производные глобальных координат x, z в локальной системе координат x_a, x_b, z_a, z_b и локальных координат a, b в глобальной системе координат a_x, a_z, b_x, b_z .

Перемещения внутренней точки конечного элемента аппроксимируются через соответствующие узловые значения матричными соотношениями

$$\gamma = \{\varphi(a, b)\}^T \{\gamma_y^n\}, \quad (12)$$

где $\{\gamma_y^n\}_{1 \times 12}^T = \{\gamma^i \ \gamma^j \ \gamma^k \ \gamma^l \ \gamma_{,a}^i \ \gamma_{,a}^j \ \gamma_{,a}^k \ \gamma_{,a}^l \ \gamma_{,b}^i \ \gamma_{,b}^j \ \gamma_{,b}^k \ \gamma_{,b}^l\}$ — вектор узловых неиз-

вестных в локальной системе координат; под символом γ понимаются перемещения v^1, v ; $\{\varphi(a, b)\}$ — матрица функций формы, полученных на основе полиномов Эрмита третьей степени.

Вектор узловых неизвестных в глобальной системе координат имеет вид

$$\{\gamma_y^\Gamma\}_{1 \times 12}^T = \{\gamma^i \ \gamma^j \ \gamma^k \ \gamma^l \ \gamma_{,s}^i \ \gamma_{,s}^j \ \gamma_{,s}^k \ \gamma_{,s}^l \ \gamma_{,t}^i \ \gamma_{,t}^j \ \gamma_{,t}^k \ \gamma_{,t}^l\}.$$

Связь между векторами $\{\gamma_y^n\}$ и $\{\gamma_y^\Gamma\}$ записывается в матричном виде

$$\{\gamma_y^n\}_{12 \times 1}^T = [r]_{12 \times 12} \{\gamma_y^\Gamma\}_{12 \times 1}, \quad (13)$$

где матрица $[r]$ формируется на основе соотношений

$$\gamma_{,a} = \gamma_{,s} \cdot s_{,a} + \gamma_{,t} \cdot t_{,a}. \quad (14)$$

Формулы Коши теории упругости с использованием выражений (11), (12) представляются в матричном виде

$$\{\epsilon\} = \begin{bmatrix} B \\ 3 \times 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y^l \\ 3 \times 24 \\ 24 \times 1 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$\text{где } \{V_y^l\}^T = \left\{ \left\{ v_{y^l}^1 \right\}^T \left\{ v_{y^l}^2 \right\}^T \right\}.$$

$\begin{matrix} 1 \times 24 & 1 \times 12 & 1 \times 12 \end{matrix}$

При нагружении упругого тела на основе равенства работ внешних и внутренних сил [1] с использованием выражений (10), (15) формируется матрица жесткости конечного элемента $[K]$, определяющая систему уравнений [2, 3]

$$[K]\{V_y\} = \{f_y\}, \quad (16)$$

где $\{f_y\}$ — вектор узловых усилий конечного элемента.

3. Геометрия в зоне пересечения криволинейных пластин из разнородных материалов. При сопряжении криволинейных пластин из разнородных материалов положение плоскости раздела считается заданным (рис. 2). В узловой точке, расположенной на границе плоскости раздела, определяются углы α , β между локальными базисами узловых точек конечных элементов сопрягаемых пластин и единичными векторами $\vec{p}$, $\vec{\tau}$ (нормальным и касательным к граничной плоскости пластин соответственно).

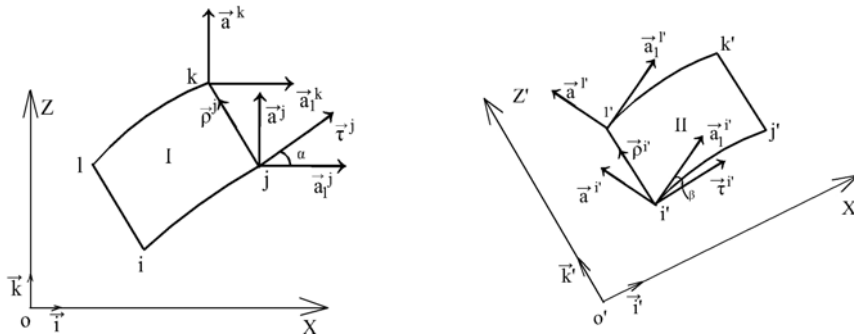


Рис. 2. Криволинейные пластины из разнородных материалов

В граничной узловой точке конечных элементов рассматриваются следующие векторы узловых неизвестных

$$\{v_y\} = \{v^1 \ v_{,s}^1 \ v_{,t}^1 \ v \ v_{,s} \ v_{,t}\}; \quad (17)$$

$$\{v_{,y}^1\} = \{v^{1'} \ v_{,s'}^{1'} \ v_{,t'}^{1'} \ v' \ v_{,s'}' \ v_{,t'}'\}; \quad (18)$$

$$\{v^p\} = \{v^p \ v_{,p}^p \ v_{,\tau}^p \ v^\tau \ v_{,p}^\tau \ v_{,\tau}^\tau\}; \quad (19)$$

$$\{v^{p'}\} = \{v^{p'} \ v_{,p'}^{p'} \ v_{,\tau'}^{p'} \ v^{\tau'} \ v_{,p'}^{\tau'} \ v_{,\tau'}^{\tau'}\}. \quad (20)$$

Матричные соотношения между векторами (17), (19) и (18), (20) определяются по обычным формулам преобразования компонент векторов перемещений из одной системы координат s, t в другую ρ, τ и представляются выражениями

$$\{v_y\} = [z_1] \{v_y^p\}; \quad (21)$$

$$\{v_y'\} = [z_2] \{v_y^p\}. \quad (22)$$

Соотношения между векторами (17), (19) определяются с использованием следующих условий:

1) условие о равенстве векторов перемещений в граничной точке в различных системах координат приводит к выражениям

$$v^p = v^p; v^\tau = v^\tau; \quad (23)$$

2) равенство производных компонент вектора перемещения вдоль оси τ определяет выражения

$$v_{,\tau}^\tau = v_{,\tau}^\tau; v_{,\tau}^p = v_{,\tau}^p; \quad (24)$$

3) условие равенства касательных напряжений в плоскости раздела материалов

$$\sigma^{\rho\tau} = \sigma^{\rho\tau}, \Rightarrow G' \left(v_{,\tau}^p + v_{,\rho}^\tau \right) = G \left(v_{,\tau}^p + v_{,\rho}^\tau \right)$$

приводит к выражению

$$v_{,\tau}^p = v_{,\tau}^p \frac{G}{G'} + v_{,\rho}^\tau \left(\frac{G}{G'} - 1 \right), \quad (25)$$

где G, G' — модули упругости материалов при сдвиге;

4) равенство нормальных напряжений в системе координат ρ, τ $\sigma^{\rho\rho} = \sigma^{\rho\rho}$ приводит к соотношению

$$\frac{E'}{1-\nu'^2} \left(\varepsilon'_{\rho\rho} + \nu' \varepsilon'_{\tau\tau} \right) = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\varepsilon_{\rho\rho} + \nu \varepsilon_{\tau\tau} \right),$$

откуда получается

$$v_{,\rho}^p = \frac{E}{1-\nu^2} \frac{1-\nu'^2}{E'} \left(\frac{\partial v^p}{\partial s_\rho} + \nu \frac{\partial v^\tau}{\partial s_\tau} \right) - \nu \frac{\partial v^\tau}{\partial s_\tau}, \quad (26)$$

где E, E' — модули упругости материалов; ν, ν' — коэффициенты Пуассона.

На основании выражений (23), (24), (25), (26) матричная зависимость между векторами (18) и (20) запишется в виде

$$\{v_y^p\} = [z^p] \{v_y\}. \quad (27)$$

С учетом выражений (27), (21) и (22) можно получить матричное соотношение между векторами (17) и (19) сопрягаемых криволинейных пластин из разнородных материалов

$$\{v'_y\} = [z'_2] [z^p] [z_1]^{-1} \{v_y\} = [L] \{v_y\}. \quad (28)$$

С использованием (28) формируется матрица преобразования $[T]$ для матрицы жесткости и вектора узловых нагрузок граничного конечного элемента примыкающей криволинейной пластины

$$[K'] = [T]^T [K] [T]; \quad \{f'\} = [T]^T \{f\}. \quad (29)$$

Пример. Определено напряженно-деформированное состояние криволинейной пластины, сочлененной с круговой пластиной из разнородных материалов. Конструкция загружалась сосредоточенной силой Q , приложенной в точке D , по нормали к криволинейной поверхности круговой пластины (рис. 3).

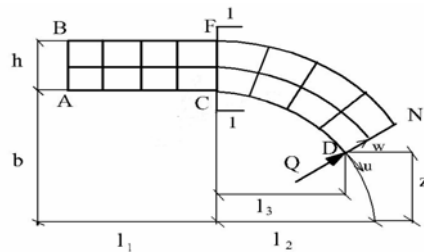


Рис. 3. Пластина, сочлененная с круговой оболочкой

Были приняты следующие исходные данные: $l_1 = 0,1$ м; $l_2 = 0,05$ м; $l_3 = 0,04$ м; $Q = 8$ Н; $h = 0,0005$ м; $b = 0,05$ м; $E = 2 \cdot 10^2$ МПа; $\nu = 0,3$; $E' = 2 \cdot 10^3$ МПа, $\nu' = 0,25$.

По толщине пластина и круговая оболочка разбивались на 5 равных конечных элементов.

По длине пластина разбивалась на 40 одинаковых элементов, а круговая оболочка — на 25 одинаковых элементов.

По полученным результатам построена эпюра нормальных напряжений σ_{xx} в сечении 1—1 (рис. 4).

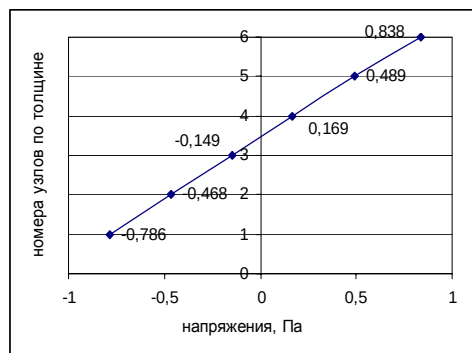


Рис. 4. Эпюра нормальных напряжений σ_{xx} в сечении 1—1 пластины и круговой оболочки из разнородных материалов

Условие равновесия по силам ($\sum x = 0$) выполняется с погрешностью $\delta = 1,23\%$, а по моментам ($\sum M_x = 0$) погрешность составила $\delta = 1,2\%$.

Величина перемещения в точки D равна $w = 0,0295$ м.

На основе анализа результатов выполненного расчета можно сделать вывод о корректности алгоритма определения напряженно-деформированного состояния в зонах сочленения тонкостенных плосконагруженных конструкций из разнородных материалов на основе объемных конечных элементов с узловыми неизвестными в виде перемещений и их производных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Седов Л. И.* Механика сплошной среды: в 2 т. — М. : Наука, 1976. — Т. 1. — 536 с.; Т. 2. — 574 с.
2. *Гуреева Н. А.* Расчет многослойной оболочки с использованием объемного конечного элемента / Н. А. Гуреева, Р. З. Киселева, А. П. Киселев // Известия ВолгГТУ. — Волгоград. 2010. № 4. — С. 125—128.
3. *Николаев А. П.* К расчету оболочек на основе метода конечных элементов / А. П. Николаев, А. П. Киселев // Вестник РУДН, спец. выпуск, серия «Инженерные исследования». 2002. № 1. — С. 107—111.
1. *Sedov L. I.* Mekhanika sploshnoy sredy: v 2 t. — M. : Nauka, 1976. — T. 1. — 536 s.; T. 2. — 574 s.
2. *Gureeva N. A.* Raschyot mnogosloynoy obolochki s ispolzovaniyem obemnogo konechnogo elementa / N. A. Gureeva, R. Z. Kiseleva, A. P. Kiselev // Izvestiya VolgGTU. — Volgograd. 2010. № 4. — S. 125—128.
3. *Nikolaev A. P.* K raschyotu obolochek na osnove metoda konechnykh elementov / A. P. Nikolaev, A. P. Kiselev // Vestnik RUDN, spets. vypusk, seriya «Inzhenernyye issledovaniya». 2002. № 1. — S. 107—111.

© Гуреева Н. А., Киселева Р. З., Леонтьева В. В., 2012

Поступила в редакцию
в мае 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Гуреева Н. А., Киселева Р. З., Леонтьева В. В. Определение напряжений в зоне сочленения плосконагруженных разнородных криволинейных пластин на основе МКЭ // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 60—66.

УДК 539.4.015/019

Л. В. Кукса, В. И. Клименко**УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОВЫШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
УПРОЧНЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Приведены результаты исследования устойчивости сжатых стержней в зависимости от повышения физико-механических свойств конструкционных материалов различными способами. Показана эффективность применения разработанного способа увеличения сопротивляемости потери устойчивости на основе применения многократной механико-термической обработки с использованием деформационного старения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: устойчивость, критическое напряжение, сопротивляемость потери устойчивости, физико-механические свойства, упрочнение конструкционных материалов.

The author gives the results of the research of compressed rods stability depending on increase of physical and mechanical properties of structural materials by various ways. It is shown that application of the developed way of increase of resistibility of stability loss on the basis of the use of multiple mechanical and thermal treatment with the use of strain ageing is efficiently.

K e y w o r d s: stability, critical stress, resistibility of stability loss, physical and mechanical properties, hardening of structural materials.

Проблема устойчивости элементов конструкций и деталей машин является актуальной проблемой в механике деформируемого твердого тела, сопротивлении материалов и строительной механике и тесно связана с дальнейшим развитием техники и строительства. Несущая способность конструкций, повышение их прочности, снижение материалоемкости во многих случаях определяются их устойчивостью [1].

Сопротивляемость потери устойчивости сжатых стержней можно оценивать по значению критического напряжения $\sigma_{кр}$, зависящего от гибкости стержня и физико-механических свойств материала. Гибкость стержня λ зависит от способа закрепления стержня, его длины, формы и размеров поперечного сечения, но не зависит от свойств материала и определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}}, \quad (1)$$

где μ — коэффициент приведенной длины стержня, зависящий от способа закрепления; l — длина стержня; $i_{\min}$ — минимальный радиус инерции поперечного сечения стержня.

Зависимость между критическими напряжениями и гибкостью для стали [2] обычно представляется состоящей из трех основных участков (рис. 1, а). Для стержней малой гибкости (от 0 до λ_1) критическое напряжение принимается равным физическому пределу текучести σ_T , для стержней большой гибкости зависимость $\sigma_{кр}$ от λ описывается формулой Эйлера:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}. \quad (2)$$

Пределы применимости формулы Эйлера определяются в зависимости от значения предела пропорциональности [2] из условия:

$$\sigma_{кр} \leq \sigma_{пц}, \quad (3)$$

тогда

$$\lambda_0 \geq \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_{пц}}}, \quad (4)$$

где E — модуль Юнга; $\sigma_{пц}$ — предел пропорциональности; λ_0 — наименьшее значение гибкости, при котором можно использовать формулу Эйлера.

При $\lambda_1 < \lambda < \lambda_0$ используется эмпирическая зависимость, предложенная Ф. С. Ясинским (формула Ясинского):

$$\sigma_{кр} = a - b \cdot \lambda, \quad (5)$$

где a и b — константы, зависящие от материала.

Для металлов, в частности для стали, деформирующейся с образованием площадки текучести значения предела текучести σ_T , предела пропорциональности $\sigma_{пц}$ и предела упругости $\sigma_{уп}$ одинаковы [3]:

$$\sigma_T = \sigma_{пц} = \sigma_{уп}. \quad (6)$$

Поэтому для определения значения λ_0 надо использовать условие:

$$\sigma_{кр} \leq \sigma_T, \quad (7)$$

и тогда

$$\lambda_0 \geq \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_T}}. \quad (8)$$

На основании этого установлен действительный вид зависимости критического напряжения $\sigma_{кр}$ от гибкости λ (рис. 1, б), [3]. Эта зависимость состоит из двух участков.

Для стержней, работающих в упругой области $\lambda \geq \lambda_0$, критическое напряжение определяется по формуле Эйлера и зависит от модуля Юнга E . Для стержней с гибкостью ($\lambda \leq \lambda_0$) значение критического напряжения принимается равным пределу текучести σ_T . Для увеличения сопротивляемости потери устойчивости сжатых стальных стержней необходимо повысить значение критического напряжения, для участка с гибкостью $\lambda \leq \lambda_0$ — увеличить предел текучести σ_T .

Учитывая наличие зависимости критического напряжения от физико-механических свойств, представляет большой интерес исследование устойчивости сжатых стержней на основе правильного выбора и применения различных способов упрочнения конструкционных материалов.

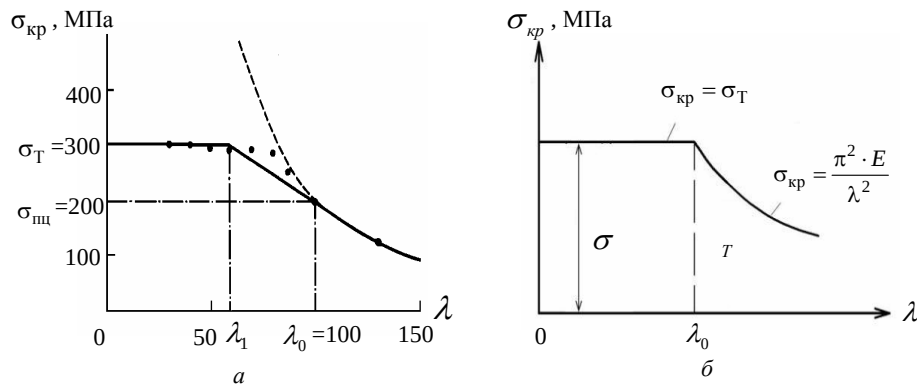


Рис. 1. Зависимости критического напряжения от гибкости для стали, деформирующейся с образованием площадки текучести: *а* — состоящий из трех участков; *б* — действительный вид зависимости из двух участков

Механические свойства металлов определяются их химическим составом и микроструктурой. В зависимости от химического состава и способа термической обработки можно получить различные по размерам, форме и свойствам структурные составляющие. Механические свойства металлов, определяемые при испытании образцов, формируются в результате сложного взаимодействия между собой отдельных зерен и структурных составляющих и зависят от их прочности, прочности границ зерен, способности к деформированию и упрочнению отдельных микрообъемов поликристаллического сплава [4].

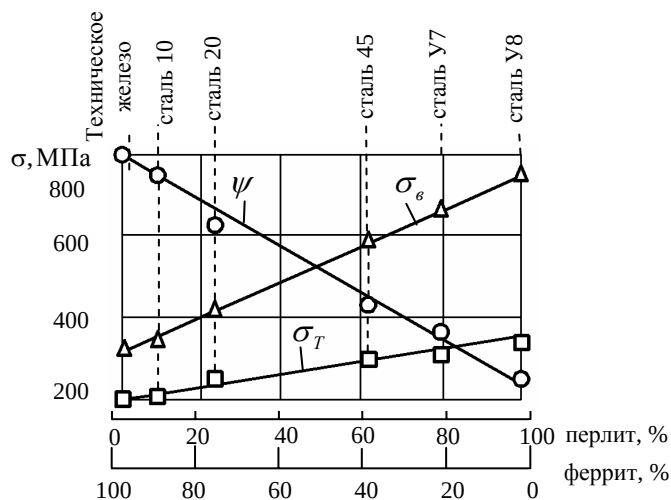


Рис. 2. Изменение предела прочности σ_{σ} , предела текучести σ_T и относительного остаточного сужения ψ , в зависимости от процентного содержания структурных составляющих

Результаты испытания образцов, изготовленных из технического железа и углеродистых сталей различных марок — стали 10, 20, 45, У7, У8 — с различным химическим составом, показаны на рис. 2 [4]. Изменение предела

прочности σ_B предела текучести σ_T и относительного остаточного сужения ψ зависит от содержания углерода, определяющего процентное содержание структурных составляющих перлита и феррита для различных марок стали.

Зависимости критических напряжений от гибкости, приведенные на рис. 3, согласуются с результатами определения механических свойств (рис. 2). Увеличение предела текучести при переходе от одной марки стали к другой обуславливает существенное повышение критического напряжения [4, 5].

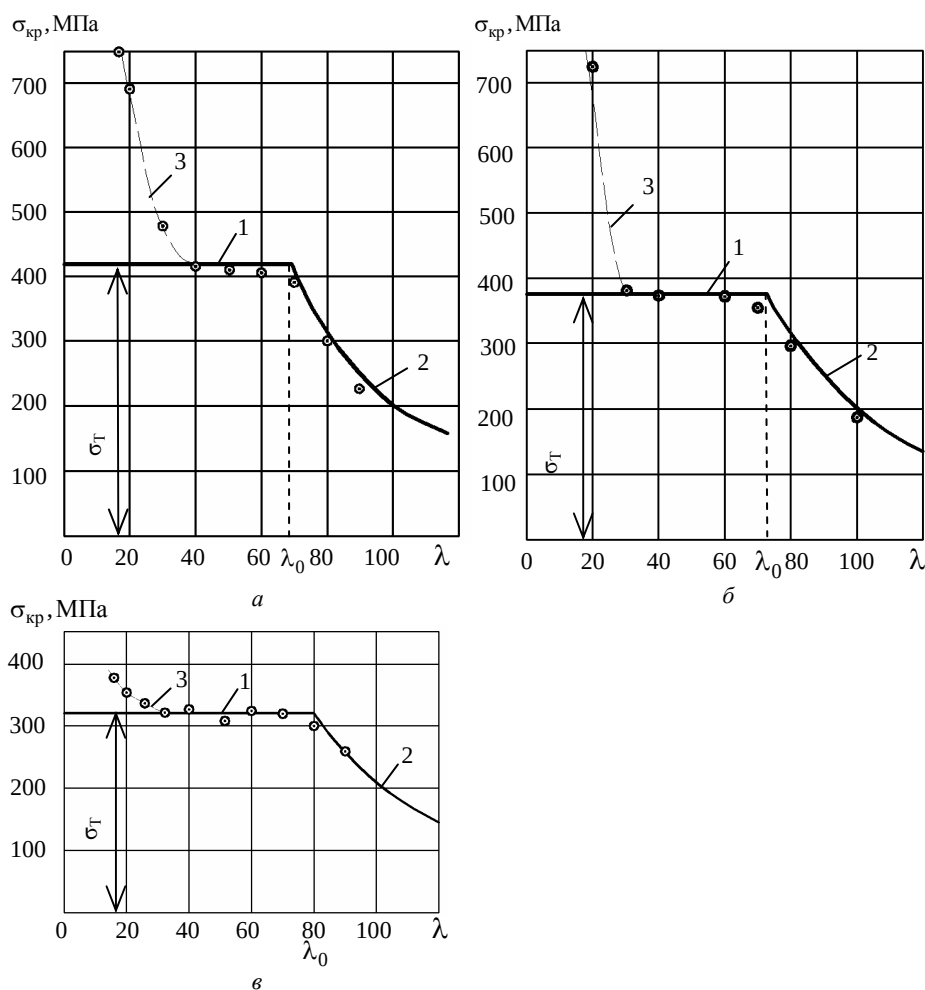


Рис. 3. Зависимости критических напряжений $\sigma_{кр}$ от гибкости λ : а — для стали

У8; б — для стали 45; в — для стали 20: прямая 1 — $\sigma_{кр} = \sigma_T$; кривая 2 — $\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$; кривая 3 — $\sigma_{кр}$ при малых значениях гибкости; $\odot$ — экспериментальные точки

Применение определенной термической обработки стали вызывает повышение прочностных свойств и увеличение сопротивляемости потере устойчивости. Испытывались образцы из стали 45 после закалки и различных

температур отпуска в течение 1 часа. Изменение механических свойств и диаграмм растяжения показано на рис. 4.

При испытаниях на растяжение применялись цилиндрические образцы диаметром 10 мм и длиной рабочей части 100 мм. Испытания проводились на испытательной машине Р—20. Сравнение кривых на растяжение, построенных в истинных координатах, показывает, что с увеличением температуры отпуска происходит резкое изменение механических свойств: уменьшение прочностных свойств и увеличение пластических свойств. В состоянии после отжига (рис. 4, кривая 1), когда структура стали состоит из зерен феррита и перлита, наряду с уменьшением прочностных свойств, происходит снижение и пластических свойств, что можно объяснить увеличением микрон неоднородности деформации за счет локализации по ферритным зернам.

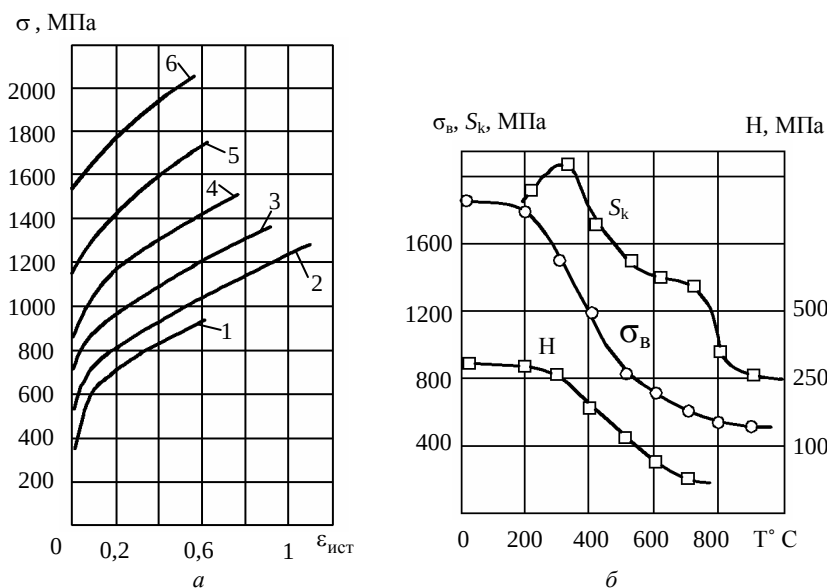


Рис. 4. Диаграммы растяжения и изменения механических свойств стали 45: а — диаграммы растяжения после закалки и различных температур отпуска (отжига) в истинных координатах: 1 — отжиг при 900 °C; 2 — отпуск при 700 °C; 3—600 °C; 4—500 °C; 5—400 °C; 6—300 °C; б — механические свойства после закалки и различных температур отпуска в опытах на растяжение

С увеличением температуры отпуска уменьшаются временное сопротивление (предел прочности) $\sigma_{в}$, истинное сопротивление разрыву S_k и микротвердость H , которая служит косвенной характеристикой прочностных свойств микрообъемов (рис. 4, б). Некоторое увеличение истинного сопротивления разрыву S_k наблюдается при температуре отпуска 300 °C, так как относительное остаточное сужение ψ в этом случае достигает уже значительной величины по сравнению с той, которая имеет место при температуре 200 °C. Отступление от плавного хода зависимости S_k наблюдается при 700 °C, при этой температуре отпуска ψ имеет максимальные значения [6, 7].

Для исследования влияния термической обработки на зависимость критического напряжения $\sigma_{кр}$ от гибкости λ были испытаны образцы после различной термической обработки (рис. 5). Установлено, что увеличение температуры отпуска приводит к уменьшению критических напряжений, но только в интервале значений гибкости $\lambda < \lambda_0$. Для стали в состоянии закалка+отпуск 350 °С значение критических напряжений максимальны (рис. 5, б, прямая 3), а при отжиге 900 °С — минимальны (рис. 5, а, прямая 1). В интервале гибкости $\lambda \geq \lambda_0$ потеря устойчивости происходит при значениях критического напряжения, определенных по формуле Эйлера, зависящих от значения модуля Юнга (рис. 5, кривая 4). Результаты экспериментов также подтверждают вывод о том, что зависимость критического напряжения от гибкости для стали состоит из двух частей.

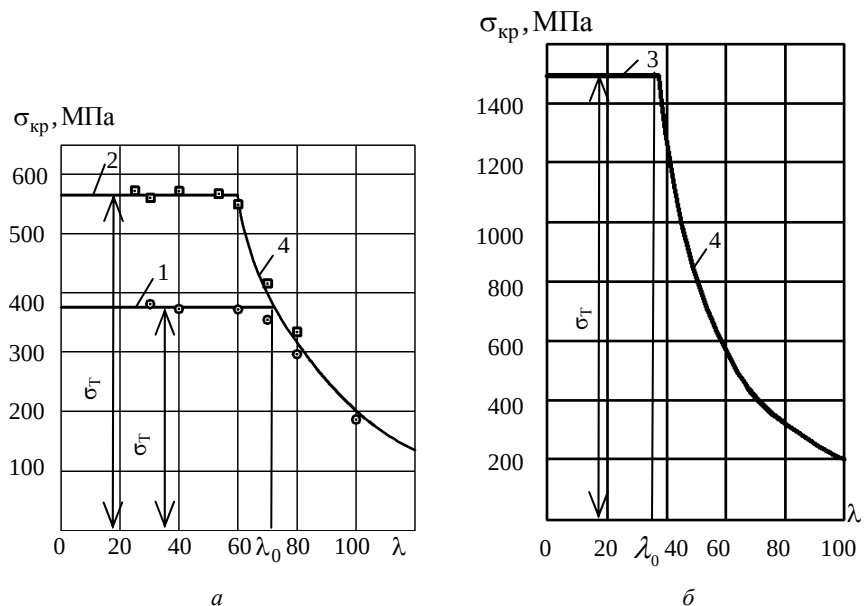


Рис. 5. Зависимости критических напряжений $\sigma_{кр}$ от гибкости λ : а — для стали 45 (закалка+отпуск 700 °С, отжиг 900 °С); б — для стали 45 (закалка+отпуск 350 °С); прямая 1 — $\sigma_{кр} = \sigma_T$ отжиг 900 °С; прямая 2 — $\sigma_{кр} = \sigma_T$ закалка+отпуск 700 °С; прямая 3 — $\sigma_{кр} = \sigma_T$ закалка+отпуск 350 °С; кривая 4 — $\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$; $\odot$, $\square$ — экспериментальные точки

Повышение сопротивляемости потере устойчивости достигается также с применением концепции А. А. Ильюшина и В. Г. Зубчанинова [8] или методом упругопластической тренировки, предложенным В. Г. Зубчаниновым [9]. Согласно этим методам повышение критического напряжения достигается применением систем временных поддерживающих связей (рис. 6), которые удерживают стержень от бокового выпучивания и дают возможность производить его сжатие до напряжения, превышающего критическое. После удаления поддерживающих связей стержень способен выдержать напряжение

большее, чем критическое напряжение в системе без поддерживающих связей. Таким образом повышается устойчивость элементов конструкций за пределом упругости.

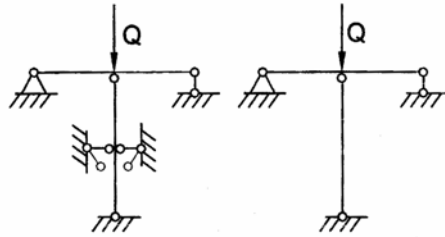


Рис. 6. Система поддерживающих связей в методе упругопластической тренировки, предложенном В. Г. Зубчаниновым

Для пластичных сталей кривые деформации, полученные в опытах на растяжение и сжатие, имеют одинаковый вид [10]. Поэтому физико-механические характеристики, полученные в опытах на растяжение можно использовать для опытов на сжатие. Значения модуля Юнга E при растяжении и сжатии принимаются одинаковыми.

Нами разработан способ увеличения сопротивляемости потери устойчивости с использованием многократной механико-термической обработки, основанной на деформационном старении.

Для повышения предела текучести и соответственно сопротивляемости потере устойчивости использована многократная механико-термическая обработка, основанная на деформационном старении. Пластическое деформирование образца, нагрев и выдержка при определенной температуре возвращают стали способность повторного деформирования с образованием площадки текучести. Это дает возможность проводить деформационное старение в несколько ступеней. На рис. 7 приведены зависимости пределов текучести σ_T от температуры старения после прохождения последовательно пяти площадок текучести. Как видно из рис. 7, в результате многократного деформационного старения значение предела текучести σ_T может быть увеличено более чем в 2 раза. Наибольший эффект повышения предела текучести имеет место при температуре 250—300 °С. Измерение твердости подтверждает характер зависимости предела текучести упрочненной стали. Проведение деформационного старения возвращает упругие свойства в исходное состояние.

С целью исследования увеличения сопротивляемости потери устойчивости проведены испытания образцов на устойчивость из стали 20. Для повышения предела текучести стали образцы были упрочнены способом деформационного старения в две ступени. Они были деформированы на величину площадки текучести сжимающей нагрузкой, как и при испытаниях на устойчивость, чтобы исключить влияние эффекта Баушингера, нагреты до температуры 300 °С и выдержаны при этой температуре в течение 60 минут. Для сравнения полученных результатов были испытаны на устойчивость образцы тех же геометрических размеров и гибкости из неупрочненной стали. Результаты испытаний приведены в таблице.

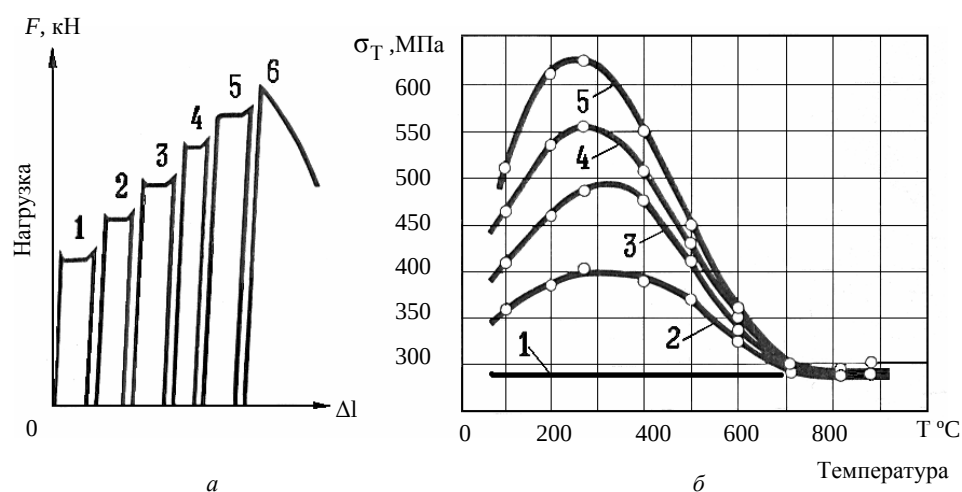


Рис. 7. Повышение предела текучести после многократной механико-термической обработки стали 20: *а* — ступени нагружения при пластическом деформировании образца; *б* — зависимости предела текучести от температуры старения

Сравнение результатов испытания

№ образца	Гибкость образца λ	Образец	Критическое напряжение $\sigma_{кр}$, МПа	Прирост критического напряжения, %
1	35	Неупрочненный	308	28,2
		Упрочненный	395	
2	45	Неупрочненный	293	33,8
		Упрочненный	392	
3	55	Неупрочненный	295	33,9
		Упрочненный	395	
4	65	Неупрочненный	292	32,2
		Упрочненный	386	
5	75	Неупрочненный	280	32,5
		Упрочненный	371	

Как видно из таблицы, критическое напряжение после двух ступеней деформационного старения увеличивается более чем на 30 %. Полученные результаты показывают необходимость дальнейшего исследования влияния многократной механико-термической обработки с различным количеством ступеней деформационного старения на увеличение критического напряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зубчанинов В. Г. Устойчивость и пластичность. — Тверь: Изд-во Тверского гос. техн. ун-та, 2006. Кн. 3. — 400 с.
2. Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. Сопротивление материалов: учеб. для вузов / под ред. А. В. Александрова. — 3-е изд., испр. — М.: Высш. шк., 2003. 560 с.: илл.
3. Кукса Л. В., Черепенников А. В. Экспериментальные исследования устойчивости элементов конструкций и физико-механических свойств конструкционных материалов // Современные проблемы пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела, VI Междунар. науч. симпозиум: тез. докл. — Тверь, 2006. — С. 56—66.

4. Кукса Л. В. Механика структурно-неоднородных материалов на микро- и макроуровнях : науч. монография. — Волгоград : ВолгГАСА, 2002. — 160 с.
 5. Кукса Л. В., Черепенников А. В. Микромеханизм деформации и физико-механические свойства стали при растяжении, сжатии и испытаниях на устойчивость // Известия ВолгГТУ. Серия: Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. 2008. Вып. 2. № 10 (48). С. 118—123.
 6. Кукса Л. В. Микродеформации и механические свойства поликристаллических сплавов при статических, динамических и высокотемпературных испытаниях // Физика металлов и металловедение. 1997. Т. 84. Вып. 1. — С. 96—105.
 7. Кукса Л. В., Черепенников А. В. Микронеоднородность деформации и механические свойства стали в зависимости от структуры при различных условиях испытания // Известия ВолгГТУ. Серия: Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. 2007. Вып. 1. № 3 (29). — С. 84—90.
 8. Зубчанинов В. Г. Сопротивление материалов: учебное пособие. Кн. 2. — 2-е. изд. — Тверь: ТГТУ, 2005. — 350 с.
 9. Зубчанинов В. Г. Актуальные проблемы теории пластичности и устойчивости // Устойчивость и пластичность в механике деформируемого твердого тела. Мат. III симпоз. — Тверь, 1992. Ч. 1. — С. 10—94.
 10. Гурьев А. В., Кукса Л. В. О построении действительной кривой упрочнения металлов по испытаниям на растяжение и сжатие // Заводская лаборатория. 1964. Т. 30. Вып. 10. — С. 1258—1259.
1. Zubchaninov V. G. Ustoychivost i plastichnost. — Tver: Izd-vo Tverskogo gos. tekhn. un-ta, 2006. Kn. 3. — 400 s.
 2. Aleksandrov A. V., Potapov V. D., Derzhavin B. P. Soprotivleniye materialov: ucheb. dlya vuzov / pod red. A. V. Aleksandrova. — 3-e izd., ispr. — M.: Vyssh. shk., 2003. 560 s.: ill.
 3. Kuksa L. V., Cherepennikov A. V. Eksperimentalnyye issledovaniya ustoychivosti elementov konstruksiy i fiziko-mekhanicheskikh svoystv konstruksionnykh materialov // Sovremennye problemy plastichnosti i ustoychivosti v mekhanike deformiruemogo tverdogo tela: VI Mezhdunar. nauch. simpozium : tez. dokl. — Tver, 2006. — S. 56—66.
 4. Kuksa L. V. Mekhanika strukturno-neodnorodnykh materialov na mikro- i makrourovnyakh : nauch. monografiya. — Volgograd : VolgGASA, 2002. — 160 s.
 5. Kuksa L. V., Cherepennikov A. V. Mikromekhanizm deformatsii i fiziko-mekhanicheskiye svoystva stali pri rastyazhenii, szhatii i ispytaniyakh na ustoychivost // Izvestiya VolgGTU. Seriya: Problemy materialovedeniya, svarki i prochnosti v mashinostroenii. 2008. Vyp. 2. № 10 (48). — S. 118—123.
 6. Kuksa L. V. Mikrodeformatsii i mekhanicheskiye svoystva polikristallicheskikh splavov pri staticheskikh, dinamicheskikh i vysokotemperaturnykh ispytaniyakh // Fizika metallov i metallovedeniye. 1997. T. 84. Vyp. 1. — S. 96—105.
 7. Kuksa L. V., Cherepennikov A. V. Mikroneodnorodnost deformatsii i mekhanicheskiye svoystva stali v zavisimosti ot struktury pri razlichnykh usloviyakh ispytaniya // Izvestiya VolgGTU. Seriya: Problemy materialovedeniya, svarki i prochnosti v mashinostroenii. 2007. Vyp. 1. № 3 (29). — S. 84—90.
 8. Zubchaninov V. G. Soprotivleniye materialov: uchebnoe posobie. Kn. 2. — 2-e. izd. — Tver: TGTU, 2005. — 350 s.
 9. Zubchaninov V. G. Aktualnyye problemy teorii plastichnosti i ustoychivosti // Ustoychivost i plastichnost v mekhanike deformiruemogo tverdogo tela: Mat. III simpoz. — Tver, 1992. Ch. 1. — S. 10—94.
 10. Gurev A. V., Kuksa L. V. O postroenii deystvitel'noy krivoy uprochneniya metallov po ispytaniyam na rastyazheniye i szhatiye // Zavodskaya laboratoriya. 1964. T. 30. Vyp. 10. — S. 1258—1259.

© Кукса Л. В., Клименко В. И., 2012

Поступила в редакцию
в июне 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Кукса Л. В., Клименко В. И. Устойчивость сжатых стержней в зависимости от повышения физико-механических свойств упрочненных конструкционных материалов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 67—75.

УДК 626/627:691.327:627.5/6

В. П. Попов, А. Ю. Давиденко

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА КОНСТРУКЦИЙ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, РАБОТАЮЩИХ НА СЖАТИЕ,
НА БАЗЕ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ**

Предложена математическая модель разрушения бетона гидротехнических сооружений сжатием, базирующаяся на аппарате энергетической концепции и кинетической теории механики разрушения. Показано, что скорость разрушения бетона зависит от начальных физико-механических характеристик материала и скорости приложения нагрузки.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гидротехнические сооружения, разрушение бетона сжатием, механика разрушения, математическая модель, физико-механические и кинетические характеристики.

The author suggests mathematic model of rupture of concrete hydrotecnical construction based on apparatus of energetic conception and kinetic theory of mechanic of rupture. It is shown that the speed of rupture depends on initial physical and mechanical characteristics of the material and velocity of applied compression.

K e y w o r d s: hydrotecnical construction, concrete rupture by compression, mechanic of rupture, mathematical model, physical and mechanical and kinetic characteristics.

Гидротехнический бетон, как конструкционный материал, обладает анизотропными прочностными свойствами: прочность на сжатие у него намного больше прочности на растяжение, поэтому все бетонные и большинство железобетонных конструкций гидротехнических сооружений проектируются из условия работы их на осевое или внецентренное сжатие. При этом механизм разрушения бетона на сжатие до сих пор мало изучен, модели, описывающие процесс разрушения бетона сжатием, как правило, носят эмпирический характер и используют ряд коэффициентов, которые необходимо определять опытным путем в лабораторных условиях. Такое положение может быть объяснено, с одной стороны, сложностью структуры бетона, представляющей многокомпонентную смесь исходных составляющих, находящихся в состоянии химического или физического взаимодействия друг с другом, и имеющей большое число технологических дефектов. С другой стороны, до сих пор отсутствовали исследования, пытавшиеся применить для создания математической модели процессов разрушения бетона сжатием аппарат механики разрушения. В данной работе предпринята попытка использовать аппарат механики разрушения для описания процессов его деструкции.

Современная механика разрушения использует для описания процессов развития трещин в реальных материалах, обладающих дефектами, две концепции: энергетическую и механистическую. Первая концепция применяется к материалам, имеющим хрупкий характер разрушения, вторая используется для материалов, развитие трещин в которых сопровождается значительными начальными пластическими деформациями. Как было показано в работах [1, 2], бетон имеет хрупкий характер разрушения, а его физико-механические характеристики близки по значениям к аналогичным характеристикам стекла. В тех же работах показано, что применение энергетической концепции механики разрушения позволяет построить достаточно простую математическую модель разрушения бетона, которая может быть применена в строительной практике. Все вышесказанное позволило использовать тот же аппарат механики разрушения для описания деструкции бетона.

Физическая картина процесса разрушения бетона одноосным статическим сжатием в описываемых исследованиях была принята в следующем виде.

Приложение сжимающей нагрузки к бетону разрушает структуру последнего в три этапа. На первом этапе, характеризуемом небольшой величиной сжимающей нагрузки, интенсивность трещинообразования пренебрежимо мала, трещины появляются на субмикро- и микроуровнях, энергия разрушения незначительна, физико-механические характеристики материала остаются неизменными и практически равными начальным. На втором этапе, при напряжениях в материале, превышающих некоторый предел, как правило, индивидуальный для каждой структуры бетона, процесс трещинообразования интенсифицируется, появляется сеть микротрещин в его структуре, существенно влияющих на значения физико-механических характеристик материала. При этом энергия трещинообразования на этом этапе разрушения на порядок выше, чем на предшествующем. На третьем этапе, называемом собственно «разрушение», величина нагрузки приближается к такому уровню, что микротрещины, сливаясь друг с другом, образуют магистральные макротрещины, делящие материал на отдельные элементы, не способные в дальнейшем сопротивляться действующим напряжениям. Энергия трещинообразования на этом этапе максимальная и на несколько порядков выше, чем на первых двух этапах.

Учитывая сложность структуры бетона и широкий диапазон возможных условий нагружения бетонного элемента сжимающей нагрузкой, был принят ряд допущений, существенно упрощающий математический аппарат процесса разрушения материала. В частности, было внесено допущение, что структура бетона является статистически устойчивой и относительно однородной. Это позволило оперировать интегральными характеристиками материала и напряжениями, действующими в его структуре. Второе допущение представило процесс развития трещин в бетоне как дискретное явление, которому предшествует период раскрытия трещин и накопления в их устьях энергии упругой деформации. Третье допущение ограничило скорость приложения нагрузки линейным законом, что позволило, с одной стороны, упростить математическую модель процесса разрушения, с другой стороны, это соответствует условиям стандартных испытаний бетона на сжатие. И последнее допущение, которое было принято, это то, что все начальные дефекты материала, в виде микротрещин были объединены в единую трещину единичной ширины, названную авторами «приведенной». Такое допущение позволило использовать аппарат механики разрушения, исследующей поведение единичной трещины, для описания процесса деструкции бетона.

Энергетический баланс бетонного элемента, нагружаемого одноосным статическим сжатием, по А. А. Гиффитсу запишется в виде [3]:

$$\sum_{i=1}^K \sum_{\sigma=0}^{\sigma=R} \frac{1}{2E} \pi \sigma_i^2 (l_i^\sigma)^2 \delta_i^\sigma (1-\mu^2) = 4\nu \sum_{i=1}^K \sum_{\sigma=0}^{\sigma=R} l_i^\sigma \delta_i^\sigma, \quad (1)$$

где σ_i — напряжение, действующее в i -й трещине, Па; l_i — длина i -й трещины при действующем на нее напряжении σ_i , м; δ_i — ширина i -й трещины при действующем на нее напряжении σ_i , м; E — модуль упругости бетона, Па; ν — поверхностная энергия бетона, Дж/м²; μ — коэффициент Пуассона.

Упрощая уравнение (1) путем замены всех длин трещин и их ширины приведенными значениями этих параметров, на величину которых выросли трещины на каждом из этапов нагружения при действующих на элемент напряжениях равных σ , получим выражение:

$$\frac{1}{2E} \pi \sigma^2 (l^\sigma)^2 \delta^\sigma (1 - \mu^2) = 4\nu l^\sigma \delta^\sigma. \quad (2)$$

Поскольку энергетическая концепция механики разрушения рассматривает процесс развития трещины в материале как единичный акт, не предусматривающий его развития во времени, авторы исследования применили кинетическую теорию механики разрушения С. Н. Журкова [4], в виде, представленном К. И. Кузнецовой [5]:

$$\frac{dl}{dt} = a_0 e^{\frac{\alpha_0 \sigma}{R}}. \quad (3)$$

Здесь a_0 — характеристика, отражающая склонность материала к трещинообразованию при определенных условиях внешних воздействий, м/с; α_0 — характеристика, отражающая интенсивность процессов трещинообразования, величина безразмерная.

Учитывая принятое допущение о линейном законе нагружения материала во времени, воспользуемся зависимостью:

$$\frac{d\sigma}{dt} = K. \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в зависимость (3) имеем:

$$\frac{dl}{d\sigma} = \frac{dl \cdot dt}{dt \cdot d\sigma} = \frac{a_p}{K} \exp\left(\alpha_p \frac{\sigma}{R}\right). \quad (5)$$

Произведя замену $B_p = a_p/K$, получим:

$$\frac{dl}{d\sigma} = B_p \exp\left(\alpha_p \frac{\sigma}{R}\right), \quad (6)$$

где B_p — кинетическая характеристика материала, отражающая склонность бетона к трещинообразованию, Па/м; α_p — кинетическая характеристика, отражающая интенсивность трещинообразования, величина безразмерная; σ/R — относительный уровень напряженного состояния бетонного элемента, величина безразмерная.

Проинтегрированная зависимость (6) примет вид:

$$l = \frac{B_p \cdot R}{\alpha_p} \left[\exp\left(\alpha_p \frac{\sigma}{R}\right) - 1 \right]. \quad (7)$$

Зависимость (7) показывает закономерность изменения длины приведенной трещины с ростом уровня напряженного состояния.

Подстановка зависимости (7) в уравнение (2) даст зависимость:

$$\frac{1}{2E\alpha_p} \pi \sigma_i^2 \cdot R \cdot B_p [\exp(\alpha_p \frac{\sigma}{R}) - 1] (1 - \mu^2) = 4\nu \quad (8)$$

В момент разрушения бетонного элемента, когда $\sigma_i^2 = R_p$, уравнение (8) примет вид:

$$\frac{1}{2E\alpha_p} \pi R_p^3 \cdot B_p [\exp(\alpha_p - 1)] (1 - \mu^2) = 4\nu. \quad (9)$$

Для перехода от растягивающих напряжений, действующих в бетонном элементе к сжимающим, воспользуемся зависимостью, предложенной в работе В. А. Кузьменко [6], показавшего, что в случаях одноосного сжатия максимальные растягивающие напряжения вычисляются как приведенные и равняются $\sigma_p = \mu R_{сж}$. Таким образом, справедливо равенство

$$R_p = -\mu R_{сж}. \quad (10)$$

Выполняем замену в формуле (9) с учетом зависимости (10) и, выражая из нее значение прочности на сжатие, получим

$$R_{сж} = \sqrt[3]{\frac{8E\nu\alpha_{сж}}{\pi\mu^3 B_{сж} \cdot \exp(\alpha_{сж} - 1)(1 - \mu^2)}}, \quad (11)$$

здесь $R_{сж}$ — прочность бетона на сжатие, Па; E — модуль упругости бетона, Па; ν — поверхностная энергия бетона, Дж/м²; μ — коэффициент Пуассона; $B_{сж}$ — склонность бетона к трещинообразованию при сжимающих напряжениях, м/Па; $\alpha_{сж}$ — интенсивность трещинообразования при сжимающих напряжениях, величина безразмерная.

Анализ зависимости (11) позволяет заметить, что прочность бетона на сжатие при одноосном статическом воздействии зависит от трех начальных физико-механических характеристик бетона: поверхностной энергии, модуля упругости и коэффициента Пуассона, а также двух кинетических характеристик: склонности бетона к трещинообразованию при сжатии и интенсивности трещинообразования при сжатии. Экспериментальные исследования, выполненные авторами, показали неплохую сходимость результатов теоретических исследований с экспериментальными данными [7] и позволили разработать методику определения прочности бетона на сжатие, применимую к условиям ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов В. П. Исследование процессов деструкции бетона растягивающими и изгибающими напряжениями с применением аппарата механики разрушения // Строительные материалы. 1998. № 8. С. 13—25.
2. Комохов П. Г., Попов В. П. Энергетические и кинетические аспекты механики разрушения бетона. — Самара : Изд-во РИА, 1999. — 111 с.
3. Griffith A. A. The phenomenon of rupture and flow in solids // Phil. Trans. Roy. Soc. Ser. A. 1920. № 221. P. 163—198.

4. *Журков С. Н., Нарзулаев Б. Н.* Временная зависимость прочности твердых тел // Журнал технической физики. Т. XXIII. Вып. 10. 1953. — С. 56—61.
5. *Кузнецова К. И.* Закономерности разрушения упруго-вязких тел и некоторые возможности приложения их к сейсмологии. — М. : Наука, 1969. — 251 с.
6. *Кузьменко В. А.* Новые схемы деформирования твердых тел. — Киев : Наукова думка, 1973. — С. 63—66.
7. *Попов В. П., Давиденко А. Ю.* Особенности расчета прочности бетона на сжатие с использованием методов механики разрушения // Строительный вестник Российской инженерной академии. Вып. 10. 2009. С. 61—62.
1. *Popov V. P.* Issledovaniye protsessov destruktzii betona rastyagivayushchimi i izgibayushchimi napryazheniyami s primeneniym apparata mekhaniki razrusheniya // Stroitelnye materialy. 1998. № 8. S. 13—25.
2. *Komokhov P. G., Popov V. P.* Energeticheskiye i kineticheskiye aspekty mekhaniki razrusheniya betona. — Samara : Izd-vo RIA, 1999. — 111 s.
3. *Griffith A. A.* The phenomenon of rupture and flow in solids // Phil. Trans. Roy. Soc. Ser. A. 1920. № 221. P. 163—198.
4. *Zhurkov S. N., Narzulaev B. N.* Vremennaya zavisimost prochnosti tverdykh tel // Zhurnal tekhnicheskoi fiziki. T. XXIII. Vyp. 10. 1953. — S. 56—61.
5. *Kuznetsova K. I.* Zakonomernosti razrusheniya uprugovo-vyazkikh tel i nekotorye vozmozhnosti prilozheniya ikh k seismologii. — M. : Nauka, 1969. — 251 s.
6. *Kuzmenko V. A.* Novye skhemy deformirovaniya tverdykh tel. — Kiev : Naukova dumka, 1973. — S. 63—66.
7. *Popov V. P., Davidenko A. Yu.* Osobennosti raschyota prochnosti betona na szhatiye s ispolzovaniym metodov mekhaniki razrusheniya // Stroitelnyi vestnik Rossiiskoi inzhenernoi akademii. Vyp. 10. 2009. — S. 61—62.

© Попов В. П., Давиденко А. Ю., 2012

Поступила в редакцию
в мае 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Попов В. П., Давиденко А. Ю. Исследование процессов разрушения бетона конструкций гидротехнических сооружений, работающих на сжатие, на базе механики разрушения // Вестник Волггос. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 76—80.

УДК 624.044

Д. П. Торшин, Д. Д. Торшин**О СПЕКТРЕ ОДНОЙ ЗАДАЧИ О ДЕФОРМАЦИЯХ**

Поперечные деформации строительных конструкций являются предметом исследования и изучения не только инженеров, но и математиков.

Посвящена изучению качественных свойств собственных значений и собственных функций дифференциального оператора, порожденного обыкновенным дифференциальным уравнением второго порядка, решения которого удовлетворяют краевым условиям, определенным системой струн, связанных в виде пучка, жестко закрепленных на другом конце.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дифференциальный оператор, краевые задачи, теорема, доказательство.

Cross-section deformations of construction designs is an object of research and studying not only engineers but also mathematicians.

This work is devoted to studying of qualitative properties of own values and own functions of the differential operator generated by the ordinary differential equation of the second order which decisions satisfy to the regional conditions defined by system of strings, connected in the form of a bunch, rigidly fixed on other end.

К e y w o r d s: differential operator, regional tasks, theorem, proof.

Изучение малых поперечных деформаций системы струн, связанных в виде плоского пучка, приводит к необходимости нахождения решения обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка

$$(px')' + \lambda qx = 0, \quad (1)$$

удовлетворяющего краевым условиям вида

$$x(a_i) = 0, \quad (i = \overline{1, n}), \quad (2)$$

$$x(b_i) = x(b_j), \quad (i, j = \overline{1, n}), \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n (px')(b_i) = 0, \quad (i = \overline{1, n}). \quad (4)$$

Здесь решение $x(t)$, определяется на несвязанном компакте $\Delta = \bigcup_{i=1}^n \Delta_i$ ($\Delta_i = [a_i; b_i]$, $a_1 < b_1 < a_2 < \dots < b_n$) оси Ot и описывает деформацию i -й струны при $t \in \Delta_i$.

Функции $p(t)$ (натяжение струны) и $q(t)$ (плотность распределения масс) положительные, причем, $p(t)$ — абсолютно непрерывна, а $q(t)$ — суммируема на Δ .

Условия (2) являются условиями жесткого закрепления концов. Условие непрерывности деформаций в точке соединения (узел) имеют вид (3). Условие

(4) физически означает, что реакции натяжения в узле уравниваются (что и обеспечивает поперечные колебания узла перпендикулярно плоскости недеформированного состояния пучка).

Обозначим через $D_2(\Delta)$ множество функций, имеющих абсолютно непрерывную производную на несвязном компакте Δ и определим на $D_2(\Delta)$ дифференциальный оператор

$$Lx \equiv -(px')' . \quad (5)$$

Оператор L определен и на множестве всех функций $x \in D_2(\Delta)$, удовлетворяющих условиям (2)—(4), которое обозначим через D .

Рассмотрим спектральную задачу

$$Lx = \lambda qx, \quad x \in D . \quad (6)$$

Следуя [1], назовем число λ_0 собственным значением краевой задачи (1)—(4), если при $\lambda = \lambda_0$ существует нетривиальное решение задачи (6). Эта функция называется собственной функцией краевой задачи, соответствующей собственному значению λ_0 . Число линейно независимых собственных функций, соответствующих λ_0 , назовем кратностью собственного значения λ_0 .

Множество собственных значений краевой задачи (1)—(4) будем называть спектром оператора L на D .

Так, определенный дифференциальный оператор L на множестве функций D является самосопряженным [2], а обратный оператор — вполне непрерывный и u_0 — положительный [3].

Из этих свойств следует, что спектр рассматриваемой задачи вещественен, собственные функции, отвечающие различным собственным значениям, ортогональны, а минимальное по модулю собственное значение λ_0 задачи (6) является положительным и простым [3], причем λ_0 соответствует собственной функции строго положительная на Δ везде, кроме точек $t = a_i$ ($i = \overline{1, n}$).

В данной работе с помощью преобразования Прюфера [4] изучаются качественные свойства собственных значений и собственных функций. Предварительно дается совсем простое объяснение неотрицательности всех точек спектра.

Утверждение. Собственные значения краевой задачи (1)—(4) положительные.

Доказательство. Пусть λ_0 собственное значение и $x_0(t)$ — соответствующая собственная функция краевой задачи (1)—(4), т. е.

$$(px'_0)' + \lambda_0 qx_0 \equiv 0, \quad t \in \Delta . \quad (7)$$

Умножим тождество (7) на $x_0(t)$ и проинтегрируем по Δ , получим

$$\int_{\Delta} (px'_0)' x_0 dt + \lambda_0 \int_{\Delta} qx_0^2 dt = 0 .$$

Интегрируя первое слагаемое по частям, получим

$$\sum_{i=1}^n p x'_0 \cdot x_0 \Big|_{a_i}^{b_i} - \int_{\Delta} p (x'_0)^2 dt + \lambda_0 \int_{\Delta} q x_0^2 dt = 0.$$

Учитывая (2)—(4), имеем

$$- \int_{\Delta} p (x'_0)^2 dt + \lambda_0 \int_{\Delta} q x_0^2 dt = 0.$$

Последнее равенство означает (вследствии положительности p и q), что если $\lambda_0 < 0$, то $x_0(t) \equiv 0$. Это противоречит определению λ_0 и $x_0(t)$.

Теорема 1. Если $x(t, \lambda_0)$ собственная функция, соответствующая собственному значению λ_0 , спектральной задачи (6), то:

$x(b_i, \lambda_0) \neq 0$, $i = 1, 2, \dots, n$, то λ_0 — простое собственное значение;

$x(b_i, \lambda_0) = 0$ при каком-то i , то кратность λ_0 равна $(k-1)$, где k — число отрезков Δ_i , на каждом из которых краевая задача $(px')' + \lambda qx = 0$, $x(a_i) = x(b_i) = 0$ содержит λ_0 в своем спектре.

Доказательство первого утверждения теоремы. Предположим, что существует еще одна собственная функция $y(t, \lambda_0)$ спектральной задачи (6), отвечающая этому же собственному значению, линейно независимая с $x(t, \lambda_0)$. На каждом Δ_i , где $y(t, \lambda_0) \neq 0$, рассмотрим функцию

$$z(t, \lambda_0) = y(t, \lambda_0) - \frac{y'(a_i, \lambda_0)}{x'(a_i, \lambda_0)} x(t, \lambda_0).$$

Так как $z(a_i, \lambda_0) = 0$ и $z'(a_i, \lambda_0) = 0$, то $z(t, \lambda_0) \equiv 0$ на тех Δ_i , где $y(t, \lambda_0) \neq 0$. Следовательно, $z(b_i, \lambda_0) = 0$ т. е.

$$y(b_i, \lambda_0) = \frac{y'(a_i, \lambda_0)}{x'(a_i, \lambda_0)} x(b_i, \lambda_0). \quad (8)$$

Учитывая, что функции $y(t, \lambda_0)$ и $x(t, \lambda_0)$ удовлетворяют условиям (3), то можем написать

$$y(b_j, \lambda_0) = \frac{y'(a_j, \lambda_0)}{x'(a_j, \lambda_0)} x(b_j, \lambda_0). \quad (9)$$

А так как $y(b_i, \lambda_0) = y(b_j, \lambda_0)$ и $x(b_i, \lambda_0) = x(b_j, \lambda_0) \neq 0$, то из (8) и (9) следует, что

$$\frac{y'(a_i, \lambda_0)}{x'(a_i, \lambda_0)} = \frac{y'(a_j, \lambda_0)}{x'(a_j, \lambda_0)}.$$

Обозначив эти отношения производных через α , получаем, что там где $y(t, \lambda_0) \neq 0$ имеем $y(t, \lambda_0) = \alpha x(t, \lambda_0)$ т. е. функции $x(t, \lambda_0)$ и $y(t, \lambda_0)$ оказались линейно зависимыми, что противоречит предположению.

Доказательство второго утверждения теоремы. Пусть $x_i = x_i(t, \lambda)$ решение задачи Коши:

$$(px')' + \lambda qx = 0, \quad t \in \Delta_i, \quad (10)$$

$$x(a_i) = 0, \quad (px')(a_i) = 1, \quad (11)$$

которое (в силу основных теорем теории обыкновенных дифференциальных уравнений) является при фиксированном t целой функцией параметра λ .

Решение $x(t, \lambda)$ уравнения (1), удовлетворяющее условиям (2), может быть записано в виде

$$x(t, \lambda) = \sum_{i=1}^n A_i x_i(t, \lambda) \theta_i, \quad (12)$$

где A_i — произвольные постоянные, а θ_i — функция множества Δ_i :

$$\theta_i(t) = \begin{cases} 1, & t \in \Delta_i \\ 0, & t \in \Delta / \Delta_i \end{cases}.$$

Для того чтобы функция (12) была собственной функцией краевой задачи (1)—(4), необходимы постоянные A_i , не равные все нулю, такие, чтобы функция $x(t, \lambda)$ удовлетворяла условиям (3)—(4). Это имеет место только том случае, когда система уравнений

$$\begin{cases} A_1 x_1(b_1, \lambda) = A_2 x_2(b_2, \lambda) = \dots = A_n x_n(b_n, \lambda), \\ A_1 px'_1(b_1, \lambda) + A_2 px'_2(b_2, \lambda) + \dots + A_n px'_n(b_n, \lambda) = 0 \end{cases} \quad (13)$$

имеет нетривиальное решение. Эта система уравнений для неизвестных $A_1, A_2, \dots, A_n$ имеет нетривиальное решение только когда определитель этой системы $\Delta(\lambda)$ равен нулю. Нули этого определителя суть собственные значения оператора L на D .

Так как краевая задача (1)—(4) не вырождена [2], то оператор L имеет не более чем счетное число собственных значений.

Для доказательства воспользуемся преобразованием Прюфера. На каждом Δ_i введем новую переменную

$$px'_i = y_i, \quad (14)$$

тогда уравнение (1) можно интерпретировать на каждом Δ_i как линейную систему дифференциальных уравнений первого порядка

$$\begin{cases} x'_i = \frac{1}{p} y_i, \\ y'_i = -\lambda q x_i. \end{cases} \quad (15)$$

Далее положим

$$x_i = \rho_i \cdot \sin \varphi_i, \quad y_i = \rho_i \cdot \cos \varphi_i. \quad (16)$$

Этим самым мы на каждом Δ_i вводим две новые функции: ρ_i и φ_i . Используя соотношения (15) и (16), получаем, что функции ρ_i и φ_i удовлетворяют системе обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \varphi_i' = \frac{1}{p} \cos^2 \varphi_i + \lambda q \sin^2 \varphi_i, \\ \rho_i' = \left(\frac{1}{p} - \lambda q \right) \rho_i \cdot \sin \varphi_i \cdot \cos \varphi_i. \end{cases} \quad (17)$$

Так как функции p и q интегрируемые, то решение системы (17) единственно в обычном смысле.

Учитывая, что решения уравнения (1) и системы (17) находятся во взаимнооднозначном соответствии, определитель $\Delta(\lambda)$ системы (13), с учетом соотношений (16), может быть записан в виде

$$\Delta(\lambda) = \prod_{i=1}^n x_i(b_i, \lambda) \cdot \sum_{i=1}^n \operatorname{ctg} \varphi_i(b_i, \lambda). \quad (18)$$

Уравнение $\Delta(\lambda) = 0$ для определения собственных значений краевой задачи (1)–(4), учитывая (18), имеет корни, если хотя бы одно из уравнений

$$\prod_{i=1}^n x_i(b_i, \lambda) = 0 \quad (19)$$

или

$$\sum \operatorname{ctg} \varphi_i(b_i, \lambda) = 0 \quad (20)$$

имеет корни.

Корнями уравнения (19) являются те значения параметра λ при которых хотя бы при одном значении $i \in \overline{1, n}$ $x_i(b_i, \lambda) = 0$. При каждом i такие значения, в силу [3], существуют. Для того чтобы корень уравнения (19) $\lambda = \lambda_0$ являлся собственным значением краевой задачи (1)–(4), необходимо и достаточно, чтобы он являлся бы корнем, по крайней мере, двух уравнений $x_i(b_i, \lambda_0) = 0$ и $x_j(b_j, \lambda_0) = 0$, что следует из системы (13). Собственная функция, отвечающая данному собственному значению, имеет вид

$$x(t, \lambda) = \begin{cases} px_j'(b_j, \lambda_0) x_i(t, \lambda_0), & t \in \Delta_i, \\ -px_i'(b_i, \lambda_0) x_j(t, \lambda_0), & t \in \Delta_j, \\ 0, & t \in \Delta \setminus (\Delta_i \cup \Delta_j). \end{cases}$$

Если же, например, первые $k \leq n$ функций таковы, что $x_i(b_i, \lambda_0) = 0$, $i = \overline{1, k}$, то $\lambda = \lambda_0$ является собственным значением краевой задачи (1)—(4) кратности $k - 1$, так как ему соответствует $k - 1$ линейно независимых функций вида

$$x(t, \lambda_0) = \begin{cases} px'_i(b_i, \lambda_0)x_1(t, \lambda_0), & t \in \Delta_1, \\ -px'_1(b_1, \lambda_0)x_i(t, \lambda_0), & t \in \Delta_i, \\ 0, & t \in \Delta \setminus (\Delta_1 \cup \Delta_i), i = 2, 3, \dots, k. \end{cases}$$

Корни уравнения (19) могут являться собственными значениями краевой задачи (1)—(4), кратность которых не превосходит $k - 1$.

Теорема 2. Спектр оператора L является счетным множеством, не имеющий конечной предельной точки.

Доказательство. В работе [3] показано, что при каждом i значения параметра λ , являющиеся корнями уравнения (19), при которых хотя бы при одном значении $i = 1, 2, \dots, n$ $x_i(b_i, \lambda) = 0$, существуют и их счетное множество.

Уравнение (20) в силу монотонности функции $\text{ctg } u$ и функций $\varphi_i(b_i, \lambda)$ по λ имеет простые корни, их счетное число и они являются собственными значениями краевой задачи (1)—(4). Действительно, левая часть уравнения (20) является функцией параметра λ , определена и непрерывна на каждом интервале $(\tilde{\lambda}_j, \tilde{\lambda}_{j+1})$, границы которого определяются из соотношения $x_i(b_i, \tilde{\lambda}_j) = 0$ при каком-то $i = 1, 2, \dots, n$, что эквивалентно в силу (16), $\varphi_i(b_i, \tilde{\lambda}_j) = k\pi$, $k = 0, 1, 2, \dots$ (а уравнение $\varphi_i(b_i, \lambda) = k\pi$ имеет решение при каждом k и i , поэтому число значений $\tilde{\lambda}_j$ — счетное).

Поэтому корни уравнения (20) $\lambda = \lambda_j$, в силу непрерывности и монотонности функции $\varphi_i(b_i, \lambda)$, расположены между $\tilde{\lambda}_j$ т. е., например, имеет место неравенство

$$0 < \lambda_0 < \tilde{\lambda}_1 < \lambda_1 < \tilde{\lambda}_2 < \lambda_2 < \tilde{\lambda}_3 < \dots \rightarrow \infty. \quad (21)$$

Каждому значению $\lambda = \lambda_j$ соответствует единственная собственная функция краевой задачи (1)—(4) вида

$$x(t, \lambda_j) = \sum_{i=1}^n x_i(t, \lambda_j) \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n x_k(b_k, \lambda_j) \theta_i. \quad (22)$$

Из всего этого следует, что уравнение $\Delta(\lambda) = 0$ всегда имеет счетное число корней, которые являются собственными значениями краевой задачи (1)—(4). Множество собственных значений не имеет конечной предельной точки.

Теорема 3. Собственная функция, отвечающая первому собственному значению спектральной задачи (6), не имеет нулей внутри Δ .

Доказательство аналогичного утверждения имеется в работе [3] с использованием u_0 — положительности оператора L .

Мы приведем свое доказательство этого утверждения. При доказательстве теоремы 2 было отмечено, что первым собственным значением краевой задачи (1)–(4) является такое значение параметра $\lambda = \lambda_0$, при котором при всех $i = 1, 2, \dots, n$ выполняется неравенство $0 < \varphi_i(b_i, \lambda_0) < \pi$. В силу монотонности функций $\varphi_i(t, \lambda)$ по t при каждом λ получаем, что $0 = \varphi_i(b_i, \lambda_0) < \varphi_i(t, \lambda_0) < \varphi_i(b_i, \lambda_0) < \pi$. Из чего следует, что $\sin \varphi_i(t, \lambda_0) > 0$ при всех i и любом $t \in \dot{\Delta}_i$. А так как $x_i = \rho_i \cdot \sin \varphi_i$, то $x_i > 0$, а из равенства (22), определяющего собственную функцию, следует, что $x(t, \lambda_0) > 0$ внутри Δ .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наймарк М. А. Линейные дифференциальные операторы. — М. : Наука, 1969. — 528 с.
2. Павлов Б. С., Фадеев М. Д. Модель свободных электронов и задача рассеяния. Теоретическая и математическая физика. Т. 55. № 2. 1983. — С. 257—268.
3. Провоторова Е. Н. Спектральные свойства некоторых краевых задач для систем дифференциальных уравнений: дисс. канд. физ.-мат. наук. — Воронеж, 1987. — 109 с.
4. Мандельштам Л. И. Лекции по теории колебаний. — М. : Наука, 1972. — 470 с.
1. Naymark M. A. Lineynye differentsialnye operatory. — M. : Nauka, 1969. — 528 s.
2. Pavlov B. S., Fadeev M. D. Model svobodnykh elektronov i zadacha rasseyaniya. Teoreticheskaya i matematicheskaya fizika. T. 55. № 2. 1983. — S. 257—268.
3. Provotorova E. N. Spektralnye svoystva nekotorykh kraevykh zadach dlya sistem differentsialnykh uravneniy: diss. kand. fiz.-mat. nauk. — Voronezh, 1987. — 109 s.
4. Mandelshtam L. I. Lektsii po teorii kolebaniy. — M. : Nauka, 1972. — 470 s.

© Торшин Д. П., Торшин Д. Д., 2012

Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Торшин Д. П., Торшин Д. Д. О спектре одной задачи о деформациях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 81—87.

УДК 624.014

А. В. Чесноков

РАБОТА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК В ПОКРЫТИЯХ ЗДАНИЙ

Рассматривается работа мягких оболочек на квадратном, шести- и восьмиугольном планах, заполненных воздухом, находящемся под избыточным давлением, в условиях двухосного напряженного состояния. Предлагается методика расчета жесткостных характеристик пневмооболочек.

К л ю ч е в ы е с л о в а: пневматические, воздушнонаполненные оболочки, пленки ЭТФЭ, жесткостные характеристики.

Mechanical behavior of pneumatic cushions with four, six and eight corners in plan is concerned. The cushions are filled with air being under excessive pressure under conditions of two-axial tension. The procedure of estimation of their rigid properties is outlined.

К e y w o r d s: pneumatic, air-inflated cushions, ETFE foils, rigid properties.

Пневматические оболочки состоят из пленочных или тентовых материалов, герметично соединенных между собой и содержащих воздух под избыточным давлением [1, 2]. Тепло- и звукоизолирующие характеристики пневмоэлементов значительно лучше, чем у традиционных тентовых покрытий, область применения которых ограничивается временными сооружениями, имеющими сезонный характер.

В большинстве существующих проектов пневмоэлементы опираются на жесткий каркас и работают независимо друг от друга. Изменяющиеся из-за действия внешних нагрузок распоры воспринимаются неподвижными опорами и не передаются на соседние оболочки. Попытки уменьшить расход материалов привели к решениям, в которых пневмоэлементы непосредственно соединяются между собой, образуя непрерывную оболочку [3]. Серединная поверхность таких систем повторяет традиционные решения, присущие однослойным тентовым покрытиям.

В дальнейшем будем различать т. н. «отдельные пневмоэлементы», исследованию которых посвящена данная работа, а также «оболочки в целом», перекрывающие значительные пролеты, состоящие из упомянутых отдельных элементов. В оболочках в целом выделяются несущие и стабилизирующие нити. Они расположены в сечениях с экстремальными кривизнами. Несущие нити имеют выпуклость вниз, а стабилизирующие — вверх.

Работа нацелена на исследование пневмоэлементов, описываемых в плане правильными многоугольниками. Было рассмотрено 3 разновидности пневмоэлементов (рисунок 1): на квадратном, шестиугольном и восьмиугольном плане. Вследствие симметрии пневмоэлементов относительно горизонтальной плоскости, работа нижних частей оболочек учитывалась постановкой опор вдоль вертикальной оси Z.

Наружные грани рассматриваемых элементов были заменены изгибно-жесткими стержнями, шарнирно соединенными между собой в углах (рис. 1). Это позволило моделировать работу оболочек независимо друг от друга, т. е. без включения в систему в целом. Продольные жесткости стержней принимались равными усредненным жесткостям мембранных элементов, находящихся в непосредственной близости от данных стержней.

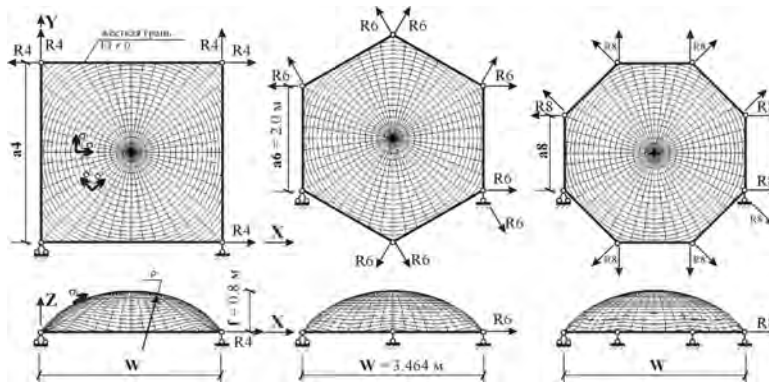


Рис. 1. Исследуемые пневмоэлементы

Для возможности сравнения результатов исследования различных по форме пневмоэлементов, их основные габаритные размеры (общая ширина W и стрелка f), а также начальное избыточное давление под оболочкой $P_0 = 10$ кПа и атмосферное давление $P_a = 100$ кПа приняты одинаковыми.

Анализ работы пневматических оболочек производился в специализированном программном комплексе *EASY* производства *TechNet GmbH*, который реализует т. н. метод плотности сил [4, 5]. Расчет тентовых и пленочных систем заключается в прохождении следующих основных этапов:

1. Поиск формы поверхности оболочки.
2. Статический расчет на действие внешних нагрузок.

Для оболочек, состоящих из пневмоэлементов, первый этап разделяется на следующие стадии:

- поиск формы серединной поверхности оболочки в целом;
- поиск формы поверхности отдельного пневмоэлемента.

Для исследуемых пневмоэлементов была применена сеть радиального типа. Напряжения σ в оболочках, подверженных действию только внутреннего избыточного давления, а также горизонтальные распоры H (кН/м), действующие по граням, могут быть вычислены по формулам (1, 2) в предположении, что поверхности оболочек близки к поверхностям сфер, вписанных в данные оболочки [6]:

$$\sigma = \frac{P_0 \cdot \rho}{2}, \quad (1)$$

$$H = \frac{P_0 \cdot (\rho - f)}{2}, \quad (2)$$

где радиус сферы

$$\rho = \frac{1}{8} \cdot \frac{W^2 + 4 \cdot f^2}{f}. \quad (3)$$

Распределенные вдоль граней распоры H были заменены сосредоточенными силами R_i (кН), где $i = 4, 6$ и 8 (рис. 1), действующими перпендикулярно граням.

Напряжения и распоры, полученные на первом этапе расчета, т. е. под действием только избыточного давления воздуха без влияния внешних нагрузок, будем называть равновесными, в отличие от неравновесных напряжений и распоров, приводящих к деформациям пневматических элементов.

Статический расчет оболочек в целом при учете действия внешних нагрузок предлагается вести заменив их отдельные участки материалом, эквивалентным по деформативности пневмоэлементам, находящимся на данных участках. Для этого следует вычислить модули упругости и коэффициенты Пуассона отдельных пневмоэлементов, представляющие собой соотношения между напряжениями, действующими в их плоскости, и деформациями.

Равновесные для пневмоэлемента распоры, изменяются под воздействием внешних нагрузок не одинаково, т. к. рост напряжений в несущих нитях оболочки сопряжен с падением напряжений в стабилизирующих, и наоборот. Распор, передаваемый на пневмоэлемент вдоль оси X , увеличится в β_x раз, а по оси Y — в β_y раз, причем:

$$(\beta_x - 1) \cdot (\beta_y - 1) \leq 0. \quad (4)$$

Пневмоэлемент, таким образом, находится в условиях двухосного напряженного состояния: растяжение (действующий распор больше равновесного) в одном направлении и условное сжатие (действующий распор меньше равновесного) — в перпендикулярном.

Соотношение между коэффициентами β принято по формуле (5):

$$\beta_y = 1/\beta_x. \quad (5)$$

Под действием внешних нагрузок объем воздуха, находящегося в пневмооболочке, изменяется, что ведет к варьированию внутреннего давления. Избыточное давление воздуха P_2 внутри деформированной оболочки вычисляется по формуле:

$$P_2 = (P_0 + Pa) \cdot V_0/V_2 - Pa, \quad (6)$$

где P_0 — начальное избыточное давление; Pa — атмосферное давление; V_0, V_2 — объемы воздуха под оболочкой в начальном и деформированном состоянии соответственно.

Для получения объема V_2 требуется знать внутреннее давление P_1 , которое, совместно с внешней нагрузкой, деформирует оболочку. Давление P_1 , в общем случае, не совпадает с требуемым P_2 , вычисленным по формуле (6). Возникает невязка, определяемая формулой (7), подлежащая минимизации итерационным путем (рис. 2).

$$\varepsilon = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \cdot 100 \% \quad (7)$$

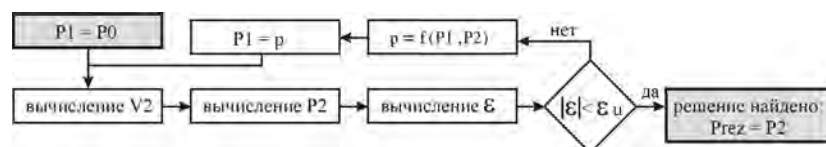


Рис. 2. Поиск давления воздуха внутри деформированной оболочки

В качестве максимальной невязки принято значение $\varepsilon u = 1 \%$, а корректирующая давление функция выбрана следующей:

$$f(P1, P2) = \frac{3 \cdot P2 + 5 \cdot P1}{8}. \quad (8)$$

Жесткостные характеристики пневмоэлементов могут быть получены из закона Гука для анизотропного материала, находящегося в условиях двухосного напряженного состояния [7]:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta \sigma_x}{E_x} - \mu_y \cdot \frac{\Delta \sigma_y}{E_y}, \quad (9)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta \sigma_y}{E_y} - \mu_x \cdot \frac{\Delta \sigma_x}{E_x}, \quad (10)$$

где $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ — относительные деформации элемента вдоль осей X и Y ; E_x, E_y — модули упругости; μ_x — коэффициент Пуассона, характеризующий сокращение элемента вдоль оси Y при растяжении по оси X ; μ_y — коэффициент Пуассона, характеризующий сокращение элемента вдоль оси X при растяжении по оси Y ; $\Delta \sigma_x, \Delta \sigma_y$ — приращения напряжений вдоль осей X и Y , вычисляемые по формулам:

$$\Delta \sigma_x = \sigma_x - \sigma_{xp}, \quad (11)$$

$$\Delta \sigma_y = \sigma_y - \sigma_{yp}, \quad (12)$$

где σ_x, σ_y — действующие напряжения вдоль осей X и Y , равные отношению усилия по соответствующему направлению к ширине элемента; σ_{xp}, σ_{yp} — предварительные напряжения, кН/м.

После преобразований (9), (10) с учетом (11), (12) получены (13) и (14), которые соответствуют формулам, приведенным в работе [8]:

$$\sigma_x = \sigma_{xp} + EA_x \cdot \varepsilon_x + EA_{cy} \cdot \varepsilon_y, \quad (13)$$

$$\sigma_y = \sigma_{yp} + EA_y \cdot \varepsilon_y + EA_{cx} \cdot \varepsilon_x, \quad (14)$$

при

$$EA_x = \frac{E_x}{1 - \mu_x \cdot \mu_y}, \quad (15)$$

$$EA_{cy} = \frac{\mu_y \cdot E_x}{1 - \mu_x \cdot \mu_y}, \quad (16)$$

$$EA_y = \frac{E_y}{1 - \mu_x \cdot \mu_y}, \quad (17)$$

$$EA_{cx} = \frac{\mu_x \cdot E_y}{1 - \mu_x \cdot \mu_y}. \quad (18)$$

Жесткостные характеристики E_{Ax} , E_{Ay} , E_{Acx} и E_{Acy} получаются из формул (13) и (14) в соответствии с рекомендациями [8]:

$$E_{Ax} = \frac{\sigma_{x_yf} - \sigma_{xp}}{\varepsilon_{x_yf}}, \quad (19)$$

$$E_{Acy}^* = \frac{\sigma_{x_xf} - \sigma_{xp}}{\varepsilon_{y_xf}}, \quad (20)$$

$$E_{Ay} = \frac{\sigma_{y_xf} - \sigma_{yp}}{\varepsilon_{y_xf}}, \quad (21)$$

$$E_{Acx}^* = \frac{\sigma_{y_yf} - \sigma_{yp}}{\varepsilon_{x_yf}}, \quad (22)$$

$$E_{Acx} = E_{Acy} = E_{Ac} = \frac{E_{Acx}^* + E_{Acy}^*}{2}. \quad (23)$$

где суффиксы « $_{xf}$ » и « $_{yf}$ » при напряжениях и деформациях означают наличие закреплений во всех опорных узлах по осям X и Y соответственно, т. е. $\varepsilon_{x_xf} = \varepsilon_{y_yf} = 0$, а $\sigma_{x_yf} = \sigma_{xp} \cdot \beta_x$, $\sigma_{y_xf} = \sigma_{yp} \cdot \beta_y$, где коэффициенты β_x и β_y удовлетворяют условию (4).

Модули упругости и коэффициенты Пуассона выражаются из формул (15)—(18), с учетом (23):

$$E_x = E_{Ax} - \frac{E_{Ac}^2}{E_{Ay}}, \quad (24)$$

$$\mu_x = \frac{E_{Ac}}{E_{Ay}}, \quad (25)$$

$$E_y = E_{Ay} - \frac{E_{Ac}^2}{E_{Ax}}, \quad (26)$$

$$\mu_y = \frac{E_{Ac}}{E_{Ax}}. \quad (27)$$

Результаты расчета пневмоэлементов при различных напряжениях по осям X и Y , определяемых коэффициентами β_x и β_y (условие (5)), приведены в табл.

Результаты статического расчета пневмоэлементов

Число граней	Коэф- фици- ент β_x	Внутреннее давление		Модули упругости		Коэффициент Пуассона		Внутреннее на- пряжение	
		P , кПа	ΔP , %	E_x , кН/м	E_y , кН/м	μ_x	μ_y	σ_{max} , кН/м	σ_{max}/σ_m
4	1,050	9,829	1,71	319	233	0,58	0,43	20,9	1,6
	1,075	9,836	1,64	316	229	0,59	0,43	24,1	1,8
	1,150	9,742	2,58	327	217	0,65	0,43	43,7	3,3
	1,300	9,774	2,26	328	200	0,69	0,42	92,4	7,1

Окончание табл.

Число граней	Коэф- фици- ент β_x	Внутреннее давление		Модули упругости		Коэффициент Пуассона		Внутреннее на- пряжение	
		P , кПа	ΔP , %	E_x , кН/м	E_y , кН/м	μ_x	μ_y	$\sigma_{\max}$, кН/м	$\sigma_{\max}/\sigma_m$
6	1,050	9,905	0,95	255	172	0,73	0,49	21,5	1,8
	1,075	9,920	0,80	250	185	0,70	0,51	25,5	2,1
	1,150	9,890	1,10	249	169	0,73	0,50	48,8	4,0
	1,300	9,835	1,65	248	161	0,76	0,50	101,4	8,4
8	1,050	9,922	0,78	256	183	0,65	0,46	20,5	1,8
	1,075	9,933	0,67	254	178	0,66	0,46	23,8	2,0
	1,150	9,915	0,85	255	169	0,70	0,46	46,3	4,0
	1,300	9,854	1,46	258	151	0,76	0,44	98,2	8,4

Примечания: $\sigma_{\max}$ — максимальное напряжение в пневмоэлементе; σ_m — усредненное напряжение в пневмоэлементе, полученное на этапе поиска его формы.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Изменение внутреннего избыточного давления под оболочкой, деформируемой в перпендикулярных плоскостях, не превышает 2,6 % и уменьшается с ростом числа граней оболочки. Таким образом, на этапе вариантного проектирования допускается принимать давление внутри оболочки постоянным.

2. Оболочки, деформируемые в перпендикулярных плоскостях, проявляют анизотропные свойства: в плоскости условного сжатия модули упругости меньше, чем в плоскости растяжения.

3. Наибольшими жесткостями по сравнению с шести- и восьмиугольной оболочками обладает пневмоэлемент на квадратном плане.

4. Модули упругости меняются незначительно с изменением действующих напряжений, таким образом:

физической нелинейностью при расчете пневмоэлементов можно пренебречь;

статический расчет оболочки, состоящей из множества пневмоэлементов, допускается производить, заменив ее отдельные участки материалом, эквивалентным по деформативности пневмоэлементам, находящимся на данных участках. Это позволит значительно упростить работу по сравнению различных вариантов при технико-экономическом обосновании.

5. Напряжения в центральной части пневмоэлементов в плоскости растяжения значительно увеличиваются по сравнению с исходным равновесным состоянием, что обуславливает необходимость усиления центральных частей оболочек приваркой дополнительных слоев пленочного материала.

6. Рост напряжений минимален для оболочки на квадратном плане, что в совокупности с п. 3 настоящих выводов свидетельствует о преимуществах применения четырехугольных оболочек по сравнению с шести- и восьмиугольными элементами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Robinson L. A. Structural opportunities of ETFE (ethylene tetra fluoro ethylene) // Massachusetts Institute of Technology. 2004. — 66 p.

2. *Stimpfle B.* Recent ETFE-foil projects with large-format cushions // *Ingenieure für tragwerk und leichtbau gmbh*. 2006. — 52 p.
 3. *Tarczewski R.* Post-Tensioned Modular Inflated Structures // *Textile Composites and Inflatable Structures* / Springer, Netherlands. 2005. — P. 221—239.
 4. *Tibert G.* Numerical Analyses of Cable Roof Structures. Licentiate Thesis, 174 p. 1999. Bulletin 46.
 5. *Чесноков А. В.* Метод плотности сил для расчета тросовых сетей / А. В. Чесноков, В. В. Михайлов, Е. А. Хорошилов // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. Воронеж — Липецк : РААСН, ЛГТУ, 2008. — С. 270—274.
 6. *Отто Ф.* Пневматические строительные конструкции. Конструирование и расчет сооружений из тросов, сеток и мембран / Ф. Отто, Р. Тростель. — М. : Издательство литературы по строительству, 1967. — 320 с.
 7. *Ермолов В. В.* Пневматические конструкции воздухоопорного типа / В. В. Ермолов, А. С. Воблый, А. И. Маньшавин, М. И. Петровнин, Ю. И. Хрущев; под ред. В. В. Ермолова. — М. : Стройиздат, 1973. — 288 с.
 8. *Forster B.* European design guide for tensile surface structures / B. Forster, M. Mollaert. — Brussel, TensiNet, 2004. — 354 p.
-
1. *Robinson L. A.* Structural opportunities of ETFE (ethylene tetra fluoro ethylene) // Massachusetts Institute of Technology. 2004. — 66 p.
 2. *Stimpfle B.* Recent ETFE-foil projects with large-format cushions // *Ingenieure für tragwerk und leichtbau gmbh*. 2006. — 52 p.
 3. *Tarczewski R.* Post-Tensioned Modular Inflated Structures // *Textile Composites and Inflatable Structures* / Springer, Netherlands. 2005. P. 221—239.
 4. *Tibert G.* Numerical Analyses of Cable Roof Structures. Licentiate Thesis, 174 p. 1999. Bulletin 46.
 5. *Chesnokov A. V.* Metod plotnosti sil dlya raschota trosovykh setey / A. V. Chesnokov, V. V. Mikhailov, E. A. Khoroshylov // Vestnik tsentralnogo regionalnogo otdeleniya Rossiiskoy akademii arkhitektury i stroitelnykh nauk. — Voronezh — Lipetsk : RAASN, LGTU, 2008. — S. 270—274.
 6. *Otto F.* Pnevmaticheskiye stroitelnyye konstruksii. Konstruirovaniye i raschot sooruzhenii iz trosov, setok i membran / F. Otto, R. Trostel. — M. : Izdatelstvo literatury po stroitelstvu, 1967. — 320 s.
 7. *Ermolov V. V.* Pnevmaticheskiye konstruksii vozduhoopornogo tipa / V. V. Ermolov, A. S. Voblyi, A. I. Manshavin, M. I. Petrovnin, Yu. I. Khrushcheyev; pod red. V. V. Yermolova. — M. : Stroizdat, 1973. — 288 s.
 8. *Forster B.* European design guide for tensile surface structures / B. Forster, M. Mollaert. — Brussel, TensiNet, 2004. — 354 p.

© Чесноков А. В., 2012

Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Чесноков А. В. Работа пневматических оболочек в покрытиях зданий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 88—94.

УДК 621.643.053:624.042.7(204.1)

Л. В. Муравьева**КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

Основной задачей проектирования морских трубопроводных систем является разработка соответствующих заданному уровню надежности и безопасности подводных трубопроводов на всех этапах «жизненного» цикла.

Целью данного исследования является разработка вопросов комплексного анализа безопасности морского подводного трубопровода.

Общая процедура объединяет вопросы оценки безопасности подводных трубопроводов, применяемые для анализа надежности: оценка параметров надежности, учет сочетаний нагрузок, моделирование (анализ наихудшего случая, имитационное моделирование, анализ по методу конечных элементов).

К л ю ч е в ы е с л о в а: морской подводный трубопровод, комплексный анализ надежности подводных трубопроводов, сочетание нагрузок

The main purpose of designing of sea pipeline systems is to develop corresponding the set level of reliability and safety of underwater pipelines at all stages of a “vital” cycle.

The purpose of the given research is the development of issues of complex analysis of the sea underwater pipeline safety.

The general procedure unites elements of estimation of underwater pipelines safety applicable for the analysis of reliability: the assessment of reliability parameters, consideration of combined load, modelling (the analysis of the worst case, imitating modelling, the analysis of final elements).

Key words: marine pipeline, complex analysis of reliability, underwater pipelines, combined load.

При воздействии проектного землетрясения подводный незаглубленный трубопровод должен оставаться в режиме нормальной эксплуатации, при этом должно выполняться требование [1]:

$$\sigma_{\max} \geq R_e, \quad (1)$$

$\sigma_{\max}$ — максимальные суммарные напряжения в трубопроводе; R_e — минимальный предел текучести основного металла трубы, МПа.

Эти требования в условиях эксплуатационных нагрузок широкого диапазона, сочетания давления и температуры и с учетом вероятности появления природных экстремальных воздействий приводят к необходимости решения ряда задач, связанных с оценкой внешних сил, взаимодействия системы «трубопровод-грунт», нормирования состояния трубопровода.

Особое значение при оценке надежности сооружений имеют критерии несущей способности и деформативности оснований, поскольку они определяют стабильность положения и устойчивость сооружения в целом.

В качестве первого критерия надежности можно сформулировать условие прочности для незаглубленного трубопровода (1).

Не менее важным критерием является требование жесткости сооружения:

$$\frac{\max w - \min w}{l} < \frac{w^*}{l}, \quad (2)$$

w — перемещение трубопровода, w^* — предельные значения неравномерности осадки, l — длина.

Целью данного исследования является разработка методики оценки показателей безопасности морского подводного трубопровода на основе проведения вероятностных расчетов и оценки надежности.

Вероятностные характеристики общих и экстремальных нагрузок и анализ поведения системы сооружение-основание под их воздействием — две неразрывные части комплексного решения задачи анализа безопасности подводных трубопроводов.

Модель сейсмической нагрузки, действующей в продольно-поперечном направлении, на трубопровод принимается в виде стационарного случайного процесса, моделирующегося случайной затухающей функцией $\tilde{F}(t)$, равной произведению $A_0 e^{-\gamma t} \tilde{X}_0(t)$, согласно методике В. В. Болотина.

Математическая модель колебаний подводного трубопровода под действием сейсмической нагрузки описывается линейным стохастическим оператором

$$(m + m_{\text{пр}}) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + (C + 2K_D K_L) \frac{\partial y}{\partial t} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - N \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \tilde{F}(t), \quad (3)$$

где K_D, K_L — соответственно $K_D = \frac{1}{2} \rho D C_D$, $K_L = \sqrt{\frac{8}{\pi}} \sigma_v$ с начальными и соответствующими краевыми условиями, при $t = 0$; $x(t) = 0$ [2]; $x'(t) = 0$ [2].

Решение вероятностной задачи колебаний трубопровода под действием сейсмической нагрузки находится методом канонических разложений.

Для решения проблемы динамического расчета конструкции используется прямой динамический метод.

Динамика во времени

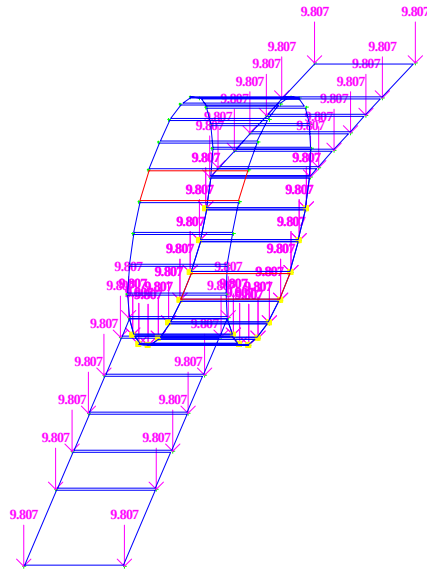


Рис. 1. Фрагмент конечно-элементной модели для прямого динамического расчета

Вероятностный расчет конструкции проводится методом статистических испытаний по реализациям акселерограмм [4]. Расчетная динамическая модель

подводного трубопровода — дискретная пространственная модель МКЭ. Выходные случайные параметры — перемещение, усилие и напряжение в трубопроводной конструкции.

Проведение прямого динамического расчета с учетом пространственной работы сооружения, возможно только с рядом допущений, моделирования реакции грунта — коэффициент постели грунта, моделирования воздействия в виде сейсмического поля.

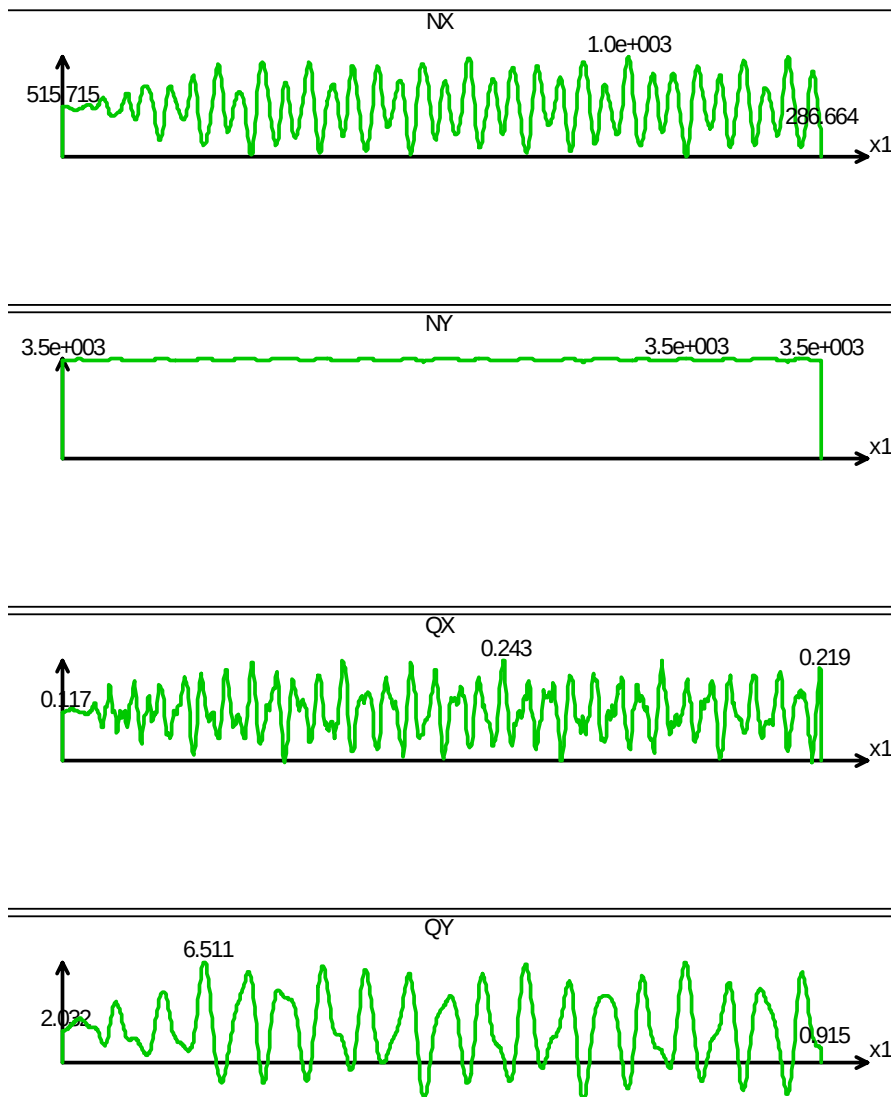


Рис. 2. Изменения усилий в узле КЭ модели трубопровода во времени

Функция надежности определяется как вероятность пребывания элемента $v(\tau)$ в области допустимых состояний Ω_0 на отрезке времени $[0, t]$:

$$P(t) = P \{v(\tau) \in \Omega_0; \tau \in [0, t]\}. \quad (4)$$

Для вычисления показателей надежности используется аппарат теории выбросов случайных процессов [5].

Вероятность того, что в течение времени T нагрузка $F(t)$ хотя бы один раз превысит значение Q_0 равна

$$H_t = 1 - \exp \left[- \int_0^T \bar{U}(Q_0) dt \right]. \quad (5)$$

Эта вероятность определяет степень уязвимости сооружения и его элементов при условии реализации землетрясения расчетной интенсивности.

Требуемый уровень безопасности сооружения $P(\varphi > a^* | t)$, обеспечивающий заданную величину сейсмического риска P^* при нормативном сроке службы T_0 , вычисляется по формуле

$$P(\varphi > a^* | t) = \frac{P^*}{1 - \exp(-\Lambda T_0)}, \quad (6)$$

где Λ — частота проявления сейсмического события.

Для расчетов морских трубопроводных конструкций, строящихся в районах с повышенной сейсмической активностью, требуется: учет грунтовых условий района строительства, моделирование характера взаимодействия сооружения с основанием.

Рассмотрен вариант применения вероятностных моделей для расчета показателей надежности подводных трубопроводов с учетом взаимодействия с грунтом. Модель основания принимается согласно теории Винклера.

Линейный участок подводного трубопровода рассматривается как стохастическая система, работа которой определяется следующими входными случайными характеристиками: случайная величина $\tilde{S}_{eff}$ — продольное усилие в трубопроводе), стационарная случайная функция координат $f_v(x)$ (сопротивление грунта) и стационарная случайная функция внешнего воздействия — $f_L(x)$.

Анализ сопротивления грунта для подводного трубопровода выполняется, согласно матрицы грунтовых условий, на рис. 1 учитывается разброс вертикального и горизонтального сопротивлений грунта.

Проведение нелинейного конечно-элементного расчета в условиях неопределенности свойств грунтов выполняется на основании коэффициентов вариации значений сопротивлений грунта $CoV(X_A)$ и $CoV(X_B)$ согласно матрицы состояния грунтов.

Следует отметить, что решение контактных задач с учетом статистической изменчивости входных параметров (нагрузки) требует больших затрат машинного времени и компьютеров. Так как метод статистического моделирования представляет собой имитацию некоторого реального эксперимента, для сложных систем весьма эффективно использование алгоритмов планирования эксперимента и обработки информации.

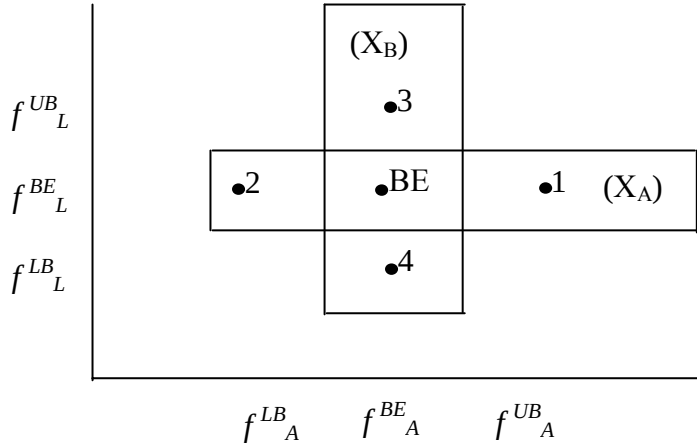


Рис. 3. Матрица грунтовых условий: X_A — сопротивление грунта в вертикальном направлении, X_L — сопротивление грунта в горизонтальном направлении, BE — состояние равновесия, состояния 1 и 2 определяют разброс сопротивления грунта ($1 > 2$), индексы U_B и U_L указывают верхний и нижний пределы сопротивления грунта

Среднеквадратическое отклонение свойств грунта для сечения трубопровода определяется для горизонтального и вертикального сопротивлений грунта согласно

$$n_A = \frac{f_A^{UB} - f_A^{LB}}{f_A^{BE} \cdot \text{CoV}(f_A)}, \quad (7)$$

$$n_B = \frac{f_B^{UB} - f_B^{LB}}{f_B^{BE} \cdot \text{CoV}(f_B)}, \quad (8)$$

Резльтирующее значение коэффициента корреляции

$$\text{CoV}(X_F(p, T)) = \sqrt{\left(\text{CoV}(X_A(p, T))^2 + \text{CoV}(X_F(p, T))^2 \right)}. \quad (9)$$

Усилия в трубопроводе определяют на основании матрицы грунтовых условий;

$$\begin{aligned} M(p; T; f_L^{BE}; f_A^{BE}; f_y; F) &\Rightarrow M_{BE}, \\ M(p; T; f_L^{BE}; f_A^{UB}; f_y; F_T) &\Rightarrow M_1, \\ M(p; T; f_L^{BE}; f_A^{LE}; f_y; F_T) &\Rightarrow M_2, \end{aligned} \quad (10)$$

где M — момент в сечении трубопровода, f_y и f_u (пределы текучести и прочности металла труб).

Коэффициент корреляции изгибающего момента при учете разброса грунтовых условий определяется из соотношения

$$\text{CoV}(X_A(p; T; F_T)) = \frac{1}{M_{BE}} \frac{|M_2 - M_1|}{n_A}. \quad (11)$$

Критерии прочности конструкции трубопровода допустимые значения напряжений $\tilde{\sigma}_{\text{экв}}, \tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2$.

Для отражения работы трубопровода из стали марок X52, 60, 70 и учета упругопластической работы конструкции в руководстве ASCE по расчету трубопроводов на сейсмические воздействия рассматривается соотношение Рамберга и Осгуда. Соотношение между σ_y определенное в результате расчета и допустимым значением f_y вычисляется по [2]

$$\lambda = \sqrt{\frac{4\left(\frac{\sigma_y}{f_y}\right)^2 - 3(\alpha_p \cdot q_h)^2}{4 - 3(\alpha_p \cdot q_h)^2}}, \quad (12)$$

где q_h — показатель нормального давления, α_p — коэффициент твердости.

Данное соотношение рассматривает взаимосвязь между деформациями трубопровода ε и характеристиками трубной стали — пределом текучести σ_y , прочностью металла труб.

Выходными случайными характеристиками заданной системы являются: перемещение $\tilde{f}(x)$ и напряжения в сечениях трубопровода $\tilde{\sigma}_{\text{экв}}, \tilde{\sigma}_1, \tilde{\sigma}_2$.

Функция надежности заданной системы при назначенном уровне надежности:

$$P_t = P[\sigma_e(\tilde{S}_{\text{eff}}, \tilde{s}_u \in \Omega_0)] = 1 - \frac{1}{2} \int_{\beta}^{\infty} \exp\left(-\frac{\beta^2}{2}\right) d\beta. \quad (13)$$

Отказ в этом случае связан с выбросом значений выходных случайных характеристик системы, описывающих поведение трубопроводной конструкции за пределы допустимой области Ω_0 .

Реальное инженерное сооружение представляет собой многокомпонентную систему, в которой можно выделить две главные части: основание, сооружение, предназначенные для выполнения заданных функций. Очевидно, что для каждой из указанных частей должен быть сформулирован частный критерий надежности, отражающий специфику их работы. Кроме того, для всей системы в целом необходим единый критерий, гарантирующий стабильное положение сооружения в пространстве, т. е. отсутствие чрезмерных деформаций.

Вероятность безотказной работы R реализуется при условии, что трубопровод находится в сложных грунтовых условиях описываемых вероятностью $P[\sigma_e(\tilde{S}_{\text{eff}}, \tilde{s}_u)]$, и подвергается сейсмическому воздействию.

Тогда функцию надежности заданной конструкции при учете грунтовых условий и вероятности появления природных экстремальных воздействий, можно вычислить следующим образом:

$$R = P[\sigma_e(\tilde{S}_{\text{eff}}, \tilde{s}_u)] \cdot H_t. \quad (14)$$

Заключительным этапом является расчет уязвимости трубопровода по заданному критерию отказа (по пределу упругости материала сооружения).

В соответствии с существующими нормативными документами повторяемость землетрясений на территории нашей страны, которые могли бы привести к существенным потерям, в сопоставлении с «экономическим» сроком функционирования конкретного магистрального трубопровода, принимаемым равным 33 года, весьма мала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов. — СПб, 2009.
 2. Recommended Practice DNV-RP-F105 “Free Spanning Pipeliners”, 2002.
 3. Recommended Practice DNV-RP-F109 “On-bottom stability design of submarine pipelines”, 2007.
 4. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. — М., 2011.
 5. Оценка риска морского трубопровода при сейсмических воздействиях / Л. В. Муравьева // Труды RAO/GIS Offshore, 2009. 15—18 сентября. — СПб., 2009.
-
1. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh podvodnykh truboprovodov. — SPb, 2009.
 2. Recommended Practice DNV-RP-F105 “Free Spanning Pipeliners”, 2002.
 3. Recommended Practice DNV-RP-F109 “On-bottom stability design of submarine pipelines”, 2007.
 4. SP 14.13330.2011. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh. — M., 2011.
 5. Otsenka riska morskogo truboprovoda pri seysmicheskikh vozdeystviyakh / L. V. Muraveva // Trudy RAO/GIS Offshore, 15—18 sentyabrya, 2009. — SPb., 2009.

© Муравьева Л. В., 2012

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Муравьева Л. В. Комплексный анализ безопасности подводных трубопроводов при динамических воздействиях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 95—101.

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

УДК 625.032

А. Н. Тиратуриян, Е. В. Углова, А. А. Ляпин

**ВЛИЯНИЕ МЕЖСЛОЙНОГО СЦЕПЛЕНИЯ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТКЛИКА НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**

С использованием математической модели системы «дорожная конструкция — грунт» исследуется влияние межслойных разрушений на спектральные характеристики отклика дорожных одежд при ударном нагружении. Делается вывод о возможности обнаружения разрушений между конструктивными слоями нежестких дорожных одежд на стадии эксплуатации с применением малогабаритной установки ударного нагружения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ударное нагружение, амплитудно-частотная характеристика, межслойное разрушение.

In this paper the authors examine the influence of interlayer destruction on the spectral characteristics of pavement response under shock loading using the mathematical model «road construction — ground». The conclusion about the possibility to detect destruction between the structural layers of non-rigid pavement during its operation with compact shock loading set is made.

Key words: shock loading, amplitude-frequency characteristic, interlayer destruction.

Эффективная модернизация дорожно-транспортной сети Российской Федерации невозможна без выработки грамотной стратегии сохранности эксплуатируемых автомобильных дорог. Основой для принятия решения о необходимости проведения ремонта или реконструкции эксплуатируемой автомобильной дороги является диагностика. Диагностика состояния дорожных конструкций, традиционно осуществляемая в Российской Федерации в большей степени устарела, особенно в части оценки прочности дорожной конструкции. Большую актуальность на данный момент представляет разработка способа оценки модулей упругости элементов дорожной конструкции на стадии эксплуатации, базирующегося на применении современной математической модели нежесткой дорожной конструкции.

В зарубежной практике разработан, внедрен и активно применяется метод «обратного» расчета — backcalculation [1]. Суть метода заключается в определении величин модулей упругости элементов нежестких дорожных конструкций путем корректировки расчетных величин вертикальных перемещений, вычисленных с использованием механических моделей дорожной конструкции, относительно экспериментальных перемещений зарегистрированных в полевых условиях с использованием установок динамического

нагружения. Данный метод в части разработки механических моделей дорожных одежд берет истоки в работах таких зарубежных ученых как Odemark, Acum, Fox, Burmister [2, 3]. Ими были разработаны математические модели дорожных конструкций, основывающиеся на статических положениях линейной теории упругости. Данные модели применяются в программах для определения напряженно-деформированного состояния жестких дорожных конструкций таких как Elsym, Bisar, Weslea. В ходе расчета в среде данных программ вычисляются поля напряжений и перемещений в различных точках дорожной конструкции. На их основе разработаны программные модули, позволяющие осуществлять «обратный» расчет модулей упругости элементов дорожных одежд. К ним относят такие программы как Elsdef, Bisdef, EverCalc. Во всех этих программах дорожная конструкция моделируется как многослойная система, на границах слоев которой задано полное сцепление.

В качестве оборудования для экспериментального нагружения наиболее широкое распространение в зарубежной практике получили установки типа FWD (falling weight deflectometer), [4]. Данная установка позволяет возбуждать ударное нагружение, отклик от которого регистрируется датчиками геофонами, расположенными на различном удалении от точки приложения нагрузки. Время ударного воздействия для данной установки составляет 30 м/сек, что совпадает с временем динамического воздействия колеса автотранспортного средства на дорожную конструкцию.

В Ростовском государственном строительном университете разработана собственная методика «обратного» расчета, базирующаяся на математической модели динамического напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции [5]. В основе этой модели лежат современные положения теории упругости и вязкоупругости.

Значительный объем экспериментальных исследований, проведенных в последние годы на эксплуатируемых дорогах, наглядно показывает, что не всегда на границах конструктивных слоев жестких дорожных одежд присутствует полное сцепление. Это приводит к тому, что проведение «обратного» расчета эксплуатационных модулей упругости жестких дорожных одежд в конечном итоге может привести к неверным результатам. Таким образом, проблема, связанная с разрушениями на границах слоев дорожной одежды, приводящая к расслоению между ее конструктивными элементами, является актуальной и требует проведения исследований.

Для экспериментальных исследований динамического деформирования дорожных конструкций в РГСУ разработан мобильный виброизмерительный комплекс, включающий в себя малогабаритную установку ударного нагружения, датчики пьезокерамические виброакселерометры, устанавливаемые на различном удалении от точки приложения расчетной нагрузки, и аналогово-цифровой преобразователь.

Характерной особенностью малогабаритной установки ударного нагружения, разработанной в РГСУ, является малое время контактного взаимодействия, составляющее 3 м/сек. Кратковременный удар, производимый грузом данной установки обладает очень широким спектром воздействия и позволяет исследовать динамические процессы в широком частотном диапазоне (до 500 Гц.), (рис. 1).

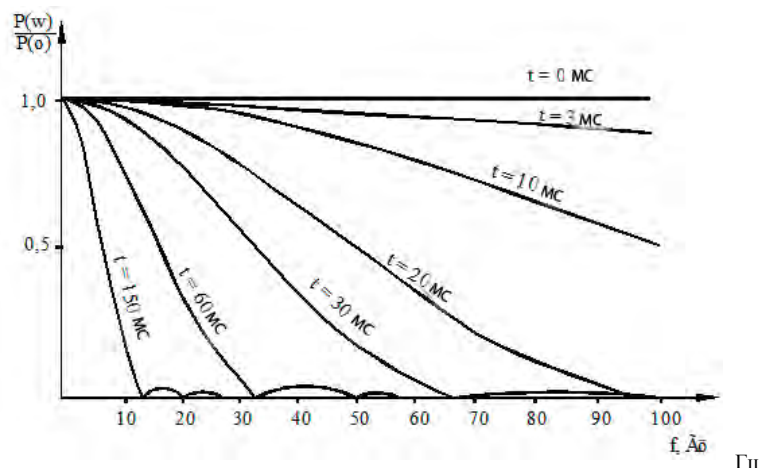


Рис. 1. Спектры нагрузок, возбуждаемые установками динамического нагружения с различным временем контактного соударения

В ходе испытаний малогабаритной ударной установкой выполняются 4 серии по 4 удара по поверхности дорожной одежды. Регистрация сигнала от импульса ударной установки производится четырьмя датчиками-акселерометрами, установленными на расстояниях 0,25; 0,75; 1,25; 2,5 м (рис. 2).

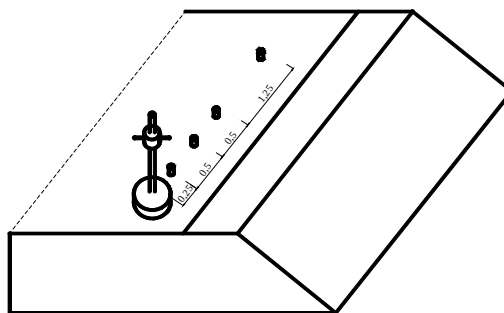


Рис. 2. Схема регистрации чаш максимальных динамических прогибов

Процедура обработки исходного сигнала подробно описана в [6]. В результате обработки главным анализируемым параметром в частотной области является АЧХ ускорения точек поверхности дорожной конструкции, формирующаяся при воздействии установки ударного нагружения (рис. 3).

Наибольший интерес представляет форма АЧХ ускорения точек покрытия дорожной одежды, зарегистрированная на расстоянии 0,75 м. Выбор данной точки связан с тем, что толщина дорожной конструкции в среднем составляет 0,7...0,8 м и соответственно АЧХ сигнала, зарегистрированного на расстоянии 0,75 м от точки ударного воздействия, позволяет анализировать процессы отражения и преломления волн в структуре дорожной одежды.

Серьезный практический интерес представляет появление на АЧХ ускорения точек поверхности дорожной конструкции ряда четко выраженных волн с собственными частотными максимумами (рис. 4). Как правило, такая форма АЧХ ускорения наблюдается на конструкциях со значительными деформациями и разрушениями.

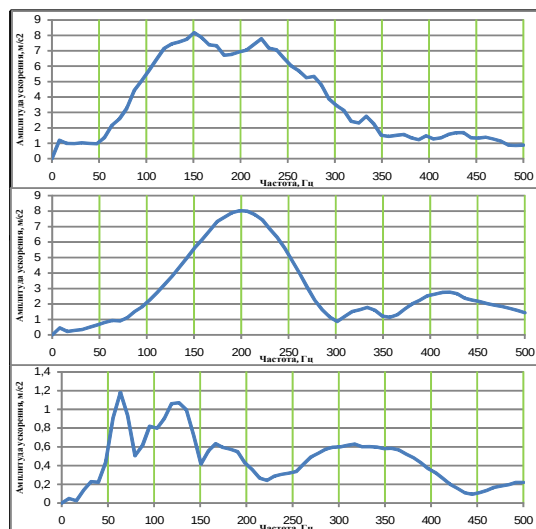


Рис. 3. Экспериментальные АЧХ ускорений зарегистрированные на расстоянии 0,25; 0,75; 2,5 м от точки ударного воздействия

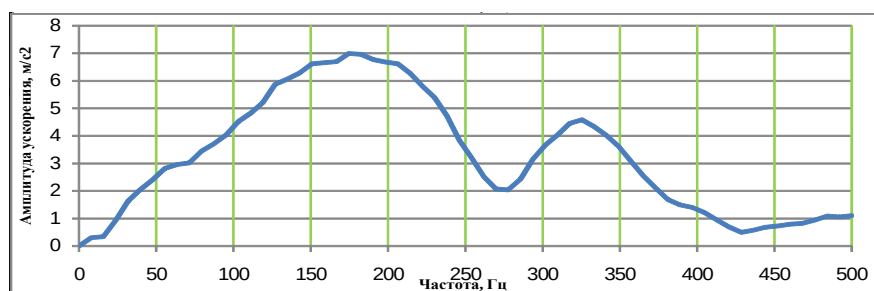


Рис. 4. Экспериментальная АЧХ ускорения точек поверхности дорожной конструкции со значительными деформациями

Исходя из вышесказанного, следует отметить, что анализ формы АЧХ ускорения точек поверхности дорожной конструкции может предоставить важные сведения о состоянии дорожной одежды.

В РГСУ под руководством профессора А. А. Ляпина была разработана механико-математическая модель многослойного полупространства «дорожная конструкция — грунт», основывающаяся на современных решениях динамической теории упругости и вязкоупругости (рис. 5).

С помощью данной математической модели можно моделировать отсутствие межслойного сцепления в конструкции дорожной одежды. В качестве моделируемой была выбрана дорожная конструкция со следующими параметрами (таблица):

Моделировались две ситуации:

1. Полное межслойное сцепление в конструкции дорожной одежды (рис. 6).
2. Отсутствие межслойного сцепления между слоями асфальтобетона и основания дорожной одежды, а также между слоем песка и грунтом земляного полотна (рис. 7).

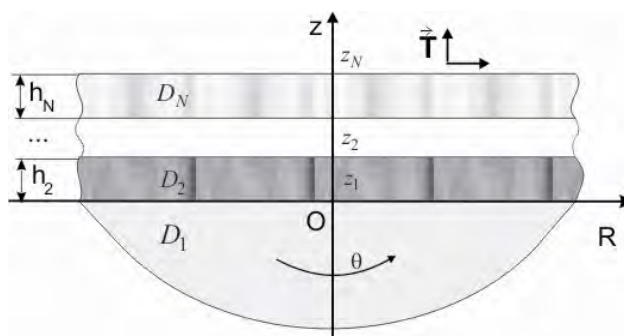


Рис. 5. Механико-математическая модель многослойного полупространства «дорожная конструкция — грунт»

Расчетные параметры моделируемой конструкции

Расчетные характеристики	Элементы дорожной конструкции			
	Покрытие	Щебеночное основание	Песчаное основание	Грунт
Модуль упругости E , МПа	2500	350	120	46
Плотность ρ , кг/м ³	2350	1600	1900	2000
Коэффициент Пуассона ν	0,35	0,3	0,35	0,35
Толщина h , м	0,18	0,30	0,30	∞

Моделирование осуществлялось для данной дорожной конструкции при воздействии ударной нагрузки, распределенной по площади 0,125 м, при времени взаимодействия 3 м/с. Диссипативные свойства материалов дорожной конструкции не учитывались, т. е. все слои принимались абсолютно упругими. Тем не менее полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что нарушение сплошности дорожной конструкции, а следовательно и рассогласование в работе слоев дорожной конструкции, находит отражение на АЧХ ускорения точек поверхности дорожной одежды в виде выраженных максимумов, расположенных в различных частотных диапазонах.

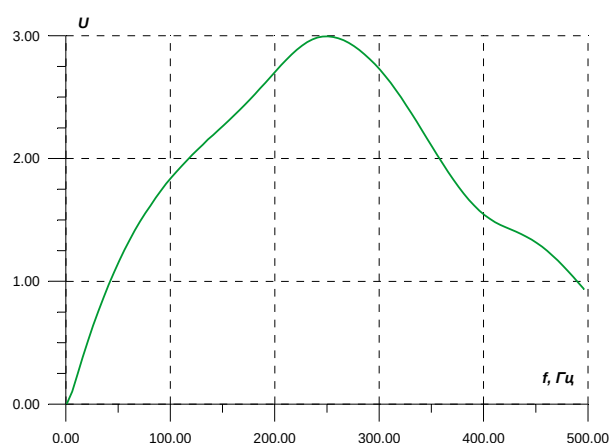


Рис. 6. Расчетная АЧХ ускорения дорожной конструкции без учета расслоений (на расстоянии 0,75 м от точки ударного воздействия)

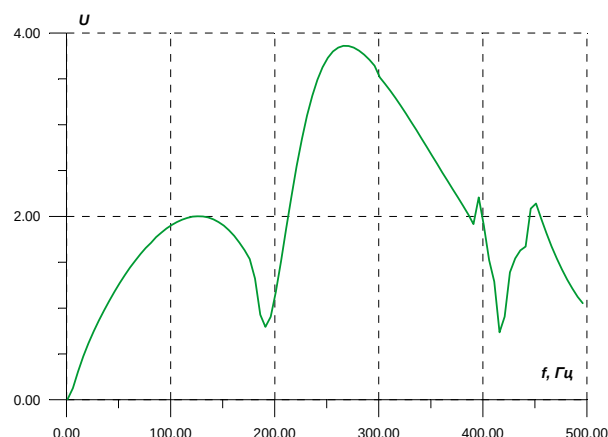


Рис. 7. Расчетная АЧХ ускорения дорожной конструкции с расслоением под слоем асфальтобетона и слоем песка (на расстоянии 0,75 м от точки ударного воздействия)

Результаты, полученные в ходе численного эксперимента, подтверждают гипотезу о влиянии рассогласования в конструкции дорожной одежды на форму амплитудно-частотной характеристики точек покрытия.

Характерным является тот факт, что максимум амплитудно-частотной характеристики ускорения находится на частоте примерно в 250 Гц для монолитной конструкции (рис. 6). При появлении межслойных разрушений, сопровождающихся рассогласованностью в работе конструктивных слоев нежесткой дорожной одежды образуются дополнительные резонансные пики, из которых предположительно наиболее низкочастотный связан с собственной частотой колебаний грунта земляного полотна, пик в области средних частот связан с колебаниями слоев основания дорожной конструкции, а наиболее высокочастотный пик связан с собственной частотой колебаний слоев асфальтобетонного покрытия (рис. 7).

Нормальная форма АЧХ ускорения свидетельствует о согласованности в работе слоев дорожной конструкции и о ее монолитности. Двугорбая форма АЧХ указывает на снижение или местное отсутствие сцепления между слоями дорожной конструкции. Волнистая форма АЧХ с четко выраженными максимумами свидетельствует о полном рассогласовании в работе конструктивных слоев дорожной одежды. Волнистость формы АЧХ ускорения объясняется тем фактом, что при динамическом воздействии на дорожную конструкцию, отсутствующем сцеплении между слоями дорожной одежды, каждый ее элемент будет совершать колебания с собственной частотой.

Полученные в результате численного эксперимента данные неоднократно подтверждались многочисленными экспериментальными исследованиями, проведенными на дорогах Ростовской области и Краснодарского края.

Выводы:

1. Разработана математическая модель, позволяющая учитывать влияние межслойных разрушений в дорожной одежде на спектральные характеристики отклика дорожной конструкции при ударном воздействии.

2. Экспериментально установлено, что межслойные разрушения в конструкции дорожной одежды приводят к появлению дополнительных частотных максимумов на амплитудно-частотной характеристике ускорения точек поверхности покрытия дорожной одежды, зарегистрированной при ударном воздействии.

3. В ходе численного эксперимента, проводимого с использованием математической модели динамического напряженно-деформированного состояния нежесткой дорожной конструкции, также доказано, что расслоение между элементами дорожной одежды приводит к появлению дополнительных частотных максимумов на амплитудно-частотной характеристике ускорения точек покрытия дорожной одежды.

4. В случае рассогласования между элементами дорожной конструкции наиболее низкочастотный максимум на амплитудно-частотной характеристике связан с собственной частотой колебаний грунта земляного полотна, максимум в области средних частот связан с колебаниями слоев основания дорожной конструкции, а наиболее высокочастотный максимум связан с частотой колебаний слоев асфальтобетонного покрытия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wael Alkasawneh Backcalculation of pavement moduli. 2007.
2. Acum W. A., Fox L. Computation of Load Stresses in a Three-Layer Elastic. 1951. T. Geotechnique, Vol. 2.
3. Burmister D. M. The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Soil Systems. 1945. T. Journal of Applied Physics, Vol.16.
4. Long — Term Pavement Performance Program Manual for Falling Weight Deflectometer measurements U.S. Department of transportation. Federal Highway Administration, 2006.
5. Илиополов С. К., Селезнев М. Г., Углова Е. В. Динамика дорожных конструкций. — Ростов н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2002. — 258 с.
6. Углова Е. В., Мизонов В. В., Тиратурян А. Н. Оценка эксплуатационного состояния элементов дорожной конструкции усовершенствованным методом спектрального анализа волновых полей // Вестник ВолгГАСУ. 2011. № 4.
1. Wael Alkasawneh Backcalculation of pavement moduli. 2007.
2. Acum W. A., Fox L. Computation of Load Stresses in a Three-Layer Elastic. 1951. T. Geotechnique, Vol. 2.
3. Burmister D. M. The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Soil Systems. 1945. T. Journal of Applied Physics, Vol.16.
4. Long — Term Pavement Performance Program Manual for Falling Weight Deflectometer measurements U.S. Department of transportation. Federal Highway Administration, 2006.
5. Илиополов С. К., Селезнев М. Г., Углова Е. В. Динамика дорожных конструкций. — Ростов н/Д: Ростовский государственный строительный университет, 2002. — 258 с.
6. Углова Е. В., Мизонов В. В., Тиратурян А. Н. Оценка эксплуатационного состояния элементов дорожной конструкции усовершенствованным методом спектрального анализа волновых полей // Вестник ВолгГАСУ. 2011. № 4.

© Тиратурян А. Н., Углова Е. В., Ляпин А. А., 2012

Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Тиратурян А. Н., Углова Е. В., Ляпин А. А. Влияние межслойного сцепления на спектральные характеристики отклика нежестких дорожных одежд // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 102—108.

УДК 625.731.1.042

Н. Е. Кокодеева, А. В. Кочетков, Е. М. Хижняк, Л. В. Янковский**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРЕЩИН
С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
В КОНСТРУКЦИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Предлагается программный продукт для расчета риска возникновения трещин в монолитном слое при изгибе, в основе которого лежит теоретико-вероятностный подход профессора В. В. Столярова. Данная программа выполнена в рамках реализации Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Ключевые слова: программное обеспечение, техническое регулирование, теория риска, геосетка, прочность, вероятность нарушения монолитного слоя при изгибе.

The software product for calculation of risk of cracks occurrence in monolithic layer at a bend is offered in the article. This product is based on theoretical and probability approach developed by the professor V. V. Stolyarova. The program is carried out within the frameworks of Federal law № 184-FZ "On technical regulation".

Key words: software, technical regulation, the risk theory, geogrid, durability, probability of infringement of a monolithic layer at a bend.

Программный комплекс оценки риска возникновения трещин (RISK_01) — это специализированное программное обеспечение, позволяющее автоматизировать процесс расчета дорожных одежд с использованием геосеток и плоских георешеток и без них. Данный программный продукт является полнофункциональным макетом части автоматизированной системы по расчету дорожных одежд нежесткого типа.

В рамках развития методологических основ комплексной оценки надежности автомобильных дорог предложена процедура оценки и уменьшения вероятности возникновения опасности (рис. 1) с учетом объема полученной информации о потенциальных опасностях.

В качестве процедуры исследования вероятности возникновения опасности выполнено обоснование нового критерия качества строительства автомобильной дороги на основе оценки допустимых средних квадратических отклонений параметров дороги как исходных данных к математическим моделям теоретико-вероятностного подхода (см. табл.).

Типовой алгоритм расчета оценки степени риска заключается в последовательной оценке следующих параметров [1, 2]:

Первый случай. Для систем, функционирующих безопасно (нормально) при $A_{CP} \gg A_{KP}$; A_{CP} — фактическое среднее значение переменной; A_{KP} — значение математического ожидания, соответствующего риску возникновения нежелательного события, равному 50 %.

Алгоритм оценки степени риска следующий.

1. Методами математической статистики определено необходимое число измерений параметра A :

$$n = \frac{(A_{\max} - A_{\min})^2 \cdot t^2}{(6 \cdot \Delta)^2},$$

где $A_{\max}$ и $A_{\min}$ — максимальный и минимальный прогибы дорожных одежд на данном участке дороги, мм; t — коэффициент значимости, определяемый по доверительной вероятности 95 %, ($t = 1,96 \approx 2$); Δ — допустимое отклонение среднего прогиба ($\Delta = 0,2$ мм).

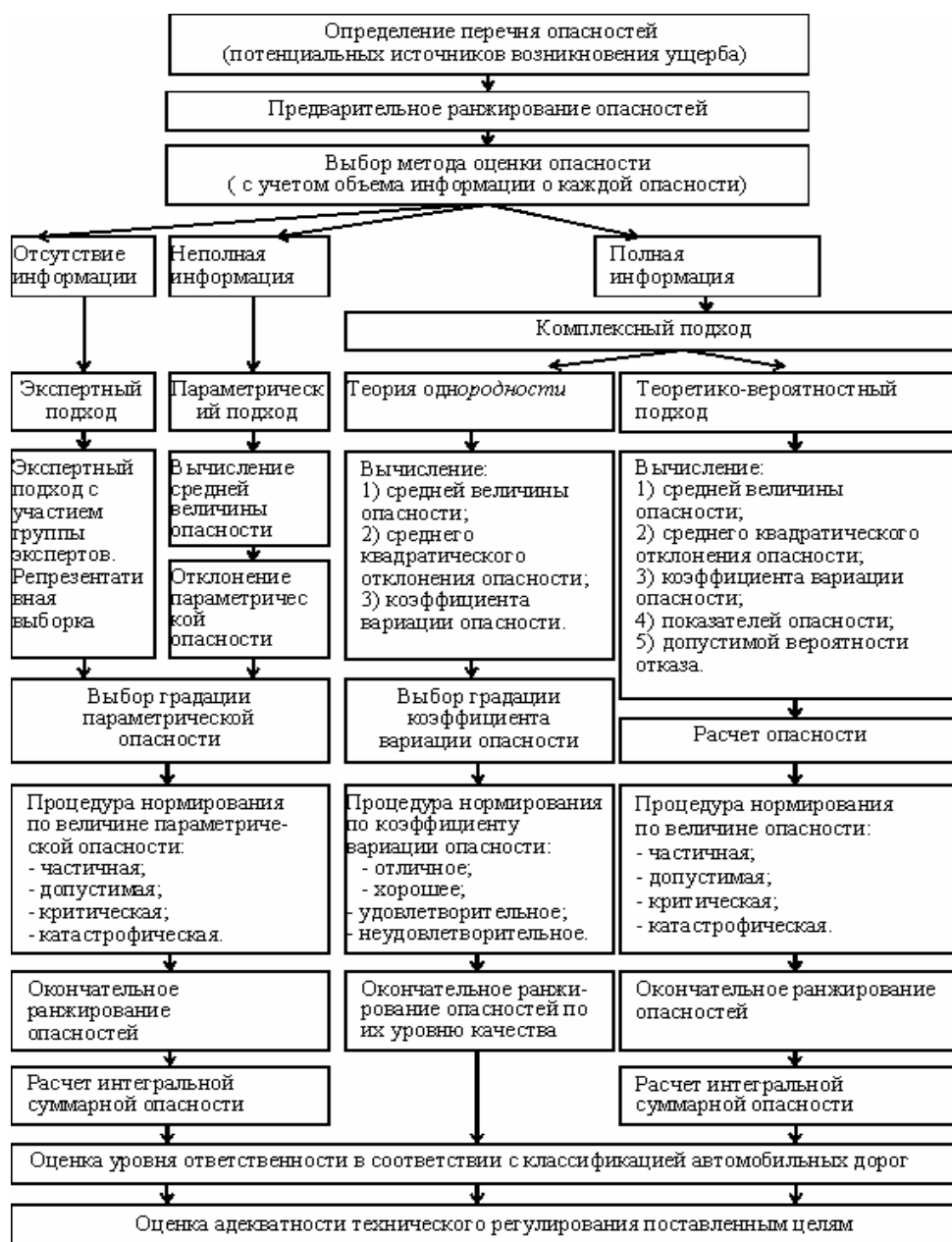


Рис. 1. Процедура оценки и уменьшения вероятности возникновения опасности

Допустимые средние квадратические отклонения параметров

Параметр А (с учетом работ В. А. Семенова)	Оценка качества			
	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Температура укладки черной смеси	$<0,08A$	$(0,08 \div 0,14) \cdot A$	$(0,14 \div 0,2)A$	$>0,2A$
Плотность зернистых материалов	$<0,025A$	$(0,025 \div 0,038)A$	$(0,038 \div 0,053)A$	$>0,053A$
Плотность грунта	$<0,025A$	$(0,025 \div 0,052)A$	$(0,052 \div 0,08)A$	$>0,08A$
Модуль упругости на слое щебня	$<0,15A$	$(0,15 \div 0,21)A$	$(0,21 \div 0,26)A$	$>0,26A$
Толщина слоя щебня	$<0,12A$	$(0,12 \div 0,22)A$	$(0,22 \div 0,31)A$	$>0,31A$
Толщина слоя а/б	$<0,1A$	$(0,10 \div 0,22)A$	$(0,22 \div 0,34)A$	$>0,34A$
Плотность а/б	$<0,038A$	$(0,038 \div 0,055)A$	$(0,055 \div 0,071)A$	$>0,071A$
Модуль упругости на а/б	$<0,12A$	$(0,12 \div 0,2)A$	$(0,2 \div 0,27)A$	$>0,27A$

2. При использовании стандартного метода математической статистики устанавливают фактическое среднее значение A_{CP} :

$$A_{CP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i.$$

3. При использовании стандартного метода математической статистики устанавливают среднее квадратическое отклонение фактического среднего значения A_{CP} :

$$\sigma_{A_{CP}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - A_{CP})^2}{n-1}}.$$

4. При использовании стандартного метода математической статистики устанавливают коэффициент вариации фактического среднего значения A_{CP} :

$$C_V^{A_{CP}} = \frac{\sigma_{A_{CP}}}{A_{CP}}.$$

5. Устанавливают значение критической переменной A_{KP}

при $C_V^{A_{CP}} \neq 0,2$

$$A_{KP} = \sqrt{\frac{A_{доп}^2 + [25(C_V^{A_{KP}})^2 - 1] \cdot (A_{доп}^2 - 25\sigma_{A_{доп}}^2)}{25(C_V^{A_{KP}})^2 - 1}} - A_{доп};$$

при $C_V^{A_{CP}} = 0,2$

$$A_{KP} = \frac{A_{доп}^2 - 25\sigma_{A_{доп}}^2}{2A_{доп}},$$

где $A_{доп}$ — допустимое (безопасное) значение переменной А; $\sigma_{A_{доп}}$ — строительный допуск на среднее квадратическое отклонение параметра $A_{доп}$;

$C_V^{A_{KP}}$ — принимается равным параметру $C_V^{A_{CP}}$, учитывая, что закон распределения критической переменной (A_{KP}) должен обладать эквивалентной однородностью с законами распределения фактической переменной (A_{CP}).

6. Параметр $\sigma_{A_{доп}}$ определяют по формуле:

$$\sigma_{A_{доп}} = C_V^{A_{доп}} \cdot A_{доп},$$

где $C_V^{A_{доп}}$ — допустимое значение коэффициента вариации параметра $A_{доп}$, которое во многих случаях не превышает 0,05.

7. Параметр $\sigma_{A_{KP}}$ определяют по формуле:

$$\sigma_{A_{KP}} = C_V^{A_{KP}} \cdot A_{KP}.$$

8. Риск возникновения нежелательного события устанавливают по формуле:

$$r = 0,5 - \Phi \left(\frac{A_{CP} - A_{KP}}{\sqrt{\sigma_{A_{CP}}^2 + \sigma_{A_{KP}}^2}} \right).$$

Второй случай:

Для систем, функционирующих безопасно (нормально) при $A_{CP} \ll A_{KP}$:

A_{CP} — фактическое среднее значение переменной; A_{KP} — значение математического ожидания, соответствующего риску возникновения нежелательного события, равному 50 %.

Алгоритм оценки степени риска следующий.

9. Методами математической статистики определено необходимое число измерений параметра A :

$$n = \frac{(A_{\max} - A_{\min})^2 \cdot t^2}{(6 \cdot \Delta)^2},$$

где $A_{\max}$ и $A_{\min}$ — максимальный и минимальный прогибы дорожных одежд на данном участке дороги, мм; t — коэффициент значимости, определяемый по доверительной вероятности 95 %, ($t = 1,96 \approx 2$); Δ — допустимое отклонение среднего прогиба ($\Delta = 0,2$ мм).

10. При использовании стандартного метода математической статистики устанавливают фактическое среднее значение A_{CP} :

$$A_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n}.$$

11. Устанавливают среднее квадратическое отклонение фактического среднего значения A_{CP} :

$$\sigma_{A_{CP}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - A_{CP})^2}{n-1}}.$$

12. Устанавливают коэффициент вариации фактического среднего значения A_{CP} :

$$C_V^{A_{CP}} = \frac{\sigma_{A_{CP}}}{A_{CP}}.$$

13. Устанавливают значение критической переменной A_{KP} :

при $C_V^{A_{CP}} \neq 0,2$

$$A_{KP} = 2 \cdot A_{доп} - \frac{\sqrt{A_{доп}^2 + [25(C_V^{A_{KP}})^2 - 1] \cdot (A_{доп}^2 - 25\sigma_{A_{доп}}^2)} - A_{доп}}{25(C_V^{A_{KP}})^2 - 1};$$

при $C_V^{A_{CP}} = 0,2$

$$A_{KP} = 2 \cdot A_{доп} \frac{A_{доп}^2 - 25\sigma_{A_{доп}}^2}{2A_{доп}},$$

где $A_{доп}$ — допустимое (безопасное) значение переменной A ; $\sigma_{A_{доп}}$ — допуск или допустимый стандарт отклонения нормированной или безопасной величины на среднее квадратическое отклонение параметра $A_{доп}$; $C_V^{A_{KP}}$ — принимается равным параметру $C_V^{A_{CP}}$, учитывая, что закон распределения критической переменной (A_{KP}) должен обладать эквивалентной однородностью с законами распределения фактической переменной (A_{CP}).

14. Параметр $\sigma_{A_{доп}}$ определяют по формуле:

$$\sigma_{A_{доп}} = C_V^{A_{доп}} \cdot A_{доп},$$

где $C_V^{A_{доп}}$ — допустимое значение коэффициента вариации параметра $A_{доп}$, которое во многих случаях не превышает 0,05.

15. Параметр $\sigma_{A_{KP}}$ определяют по формуле:

$$\sigma_{A_{KP}} = C_V^{A_{KP}} \cdot A_{KP}.$$

16. Риск возникновения нежелательного события устанавливают по формуле:

$$r = 0,5 - \Phi \left(\frac{A_{KP} - A_{CP}}{\sqrt{\sigma_{A_{KP}}^2 + \sigma_{A_{CP}}^2}} \right).$$

Программа RISK_01 позволяет выполнять расчеты дорожных одежд нежесткого типа автомобильных дорог общего пользования, согласно требованиям нормативных документов ОДН 218.046—01, ОДМ 218.5.001—2009, на основе теоретико-вероятностного подхода теории риска профессора В. В. Столярова. В результате представляется возможность выбора оптимальных вариантов решений на основе сравнительного анализа эффективности применения в конструкциях дорожных одежд геосеток и плоских георешеток (рис. 2).

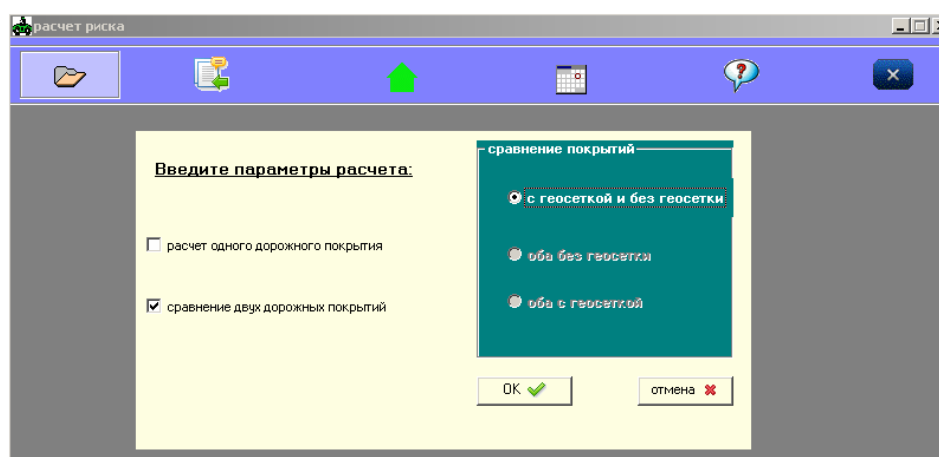


Рис. 2. Окно «Выбор задачи расчета»

Расчет соответствует требованиям нормативных документов и может быть использован в проектировании дорожных одежд при строительстве новых автомобильных дорог, на новых участках реконструированных дорог, при усилении существующих дорожных одежд.

Программное обеспечение позволяет выполнить расчет дорожной одежды нежесткого типа для капитального, облегченного и переходного типа автомобильных дорог. Расчет на прочность выполняется в соответствии с требуемым уровнем надежности, под которым понимается вероятность безотказной работы в течение межремонтного срока службы дорожной одежды.

Специфика программы RISK_01 заключается в расчете риска возникновения трещин в монолитном слое при изгибе, что в полной мере обеспечивает выполнение Федеральных законов № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации», требующих эксплуатационные характеристики прогнозировать на основе оценки степени риска и степени причинения ущерба [3, 4].

Понятие «риск возникновения трещин в монолитном слое при изгибе» является качественной инженерной характеристикой дорожной одежды нежесткого типа и имеет следующее математическое толкование:

$$r_t = \frac{S_{\text{трещ}}}{S_{\text{общ}}}, \quad (1)$$

где r_t — вероятность нежелательного события, представляющая собой риск возникновения трещин в монолитном слое при изгибе; $S_{\text{трещ}}$ — площадь

участков с трещинообразованием в монолитном слое дорожной одежды нежесткого типа за период времени t , м^2 ; $S_{\text{общ}}$ — общая площадь участка монолитного слоя дорожной одежды нежесткого типа, м^2 .

Взаимосвязь уровня надежности K_H и риска возникновения трещин в монолитном слое при изгибе r следующая:

$$K_H = 1 - r. \quad (2)$$

Последовательность расчета вероятности возникновения трещин в монолитном слое при изгибе представлена в работе [5]. Этот метод расчета позволяет на основании сравнительного анализа выбрать наиболее рациональный вариант дорожной одежды с геосеткой или без нее.

Основными функциями программы RISK_01 являются прочностные расчеты конструкции нежестких дорожных одежд с применением геосеток. В число реализованных основных алгоритмов входят:

расчет на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе;

расчет риска возникновения трещин в монолитном слое при изгибе.

Исходными данными (рис. 3) для выполнения вышеуказанных расчетов являются: коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном; расчетное давление; суммарная толщина слоев асфальтобетона; расчетный диаметр следа колеса движущегося автомобиля; общий модуль упругости на поверхности основания; средний модуль упругости слоев асфальтобетона; дорожно-климатическая зона; расчетное суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы монолитного покрытия с учетом числа расчетных суток за срок службы; нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик конструктивных слоев; уровень надежности.

Вводится также прочность геосетки (или плоской георешетки); коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении; коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов; коэффициент вариации общего модуля упругости на поверхности основания; коэффициент вариации среднего модуля упругости; коэффициента вариации суммарной толщины асфальтобетонных слоев.

Результатами расчета (рис. 4) при сравнении конструкций дорожных одежд нежесткого типа с геосеткой и без геосетки являются: наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое; коэффициент вариации растягивающих напряжений при изгибе в монолитном слое; среднее квадратическое отклонение наибольшего растягивающего напряжения в рассматриваемом слое; предельное растягивающее напряжение материала слоя с учетом усталостных явлений; среднее квадратическое отклонение допустимого растягивающего напряжения материала; критическое растягивающее напряжение в монолитном слое, при котором вероятность появления трещин равна 50 %; среднее квадратическое отклонение критического растягивающегося напряжения; аргумент функции Лапласа.

расчет риска

СРАВНЕНИЕ ДВУХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ: С ГЕОСЕТКОЙ И БЕЗ ГЕОСЕТКИ

ОБЩИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ

коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном (k_к) 0.85

расчетное давление (p), Па 0.0000006

толщина покрытия (h), м 0.2

диаметр круга, равновеликого следу колеса расчетного автомобиля (D), м 0.4

общий модуль упругости на поверхности основания (E_н), Па 0.000174

средний модуль упругости слоев асфальтобетона (E_{ср}), Па 0.002945

коэффициента вариации общего модуля упругости на поверхности основания (C_к) 0.1

коэффициента вариации среднего модуля упругости (C_{ср}) 0.1

коэффициента вариации суммарной толщины асфальтобетонных слоев (C_с) 0.1

введите климатическую зону III-V

выберите вид асфальтобетона и его марку

☐ Высокоплотный на БНД
 ☐ Пористый на БНД
 ☐ Холодные асфальтобетоны
 ☒ Высокопористый на БНД 60/90

нормативное значение предельного сопротивления растяжению (прочность) при изгибе (R₀), Па 0.0000565

коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодных-климатических факторов 0.80

показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя (m) 4.0

коэффициент, учитывающий разницу в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой (a) 7.6

расчетное суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы монолитного покрытия (Σ N_p), ед/ср 1446000

введите надежность (K_n) 0.95

коэффициент нормативного отклонения (β) 1.71

коэффициента вариации прочности асфальтобетона на растяжение при изгибе (C_г) 0.1

ДЛЯ ПОКРЫТИЯ С ГЕОСЕТКОЙ

прочность геосетки 100, ≤4 кд 1.20 к_{кв} 0.50

рассчитать

очистить все

Рис. 3. Окно «Ввод исходных данных»

расчет риска

СРАВНЕНИЕ ДВУХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ: С ГЕОСЕТКОЙ И БЕЗ ГЕОСЕТКИ

ПАРАМЕТРЫ РАСЧЕТА

	ПОКРЫТИЕ БЕЗ ГЕОСЕТКИ	ПОКРЫТИЕ С ГЕОСЕТКОЙ
наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое	0.7649430	0.7649430
значение коэффициента вариации растягивающих напряжений при изгибе в монолитном слое	0.1913655	0.1913655
среднее квадратическое отклонение наибольшего растягивающего напряжения в рассматриваемом слое	0.1463837	0.1463837
предельное растягивающее напряжение материала слоя с учетом частотных явлений	0.8212294	1.1719340
среднее квадратическое отклонение допустимого растягивающего напряжения материала	0.0821229	0.1171934
критическое растягивающее напряжение в монолитном слое, при котором вероятность появления трещин равна 50%	1.3294590	1.8972020
среднее квадратическое отклонение критического растягивающегося напряжения	0.2544125	0.3630590
аргумент функции Лапласа	1.9232620	2.8924080
найдите по таблице Лапласа значение для полученного аргумента и введите в поле ввода	0.4725705	0.4980732
вероятность возникновения трещин в монолитном слое при изгибе на момент пуска автомобильной дороги в эксплуатацию	0.0274295	0.0019268

рассчитать риск

закреть

Рис. 4. Окно «Результаты расчета»

Используя таблицу Лапласа (рис. 5), расположенную в панели инструментов, находят значение для полученного аргумента и после его ввода рассчитывают вероятность возникновения трещин в монолитном слое при изгибе на момент пуска автомобильной дороги в эксплуатацию. Для сравнительного анализа полученных результатов используют в активном окне функцию «Анализ результатов».

Таблица Лапласа

Сотые доли для и

и	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.0000000	0.0039894	0.0079783	0.0119665	0.0159534	0.0199388	0.0239222	0.0279031	0.0318813	0.0358564
0.1	0.0398273	0.0437953	0.0477584	0.0517167	0.0556699	0.0596176	0.0635594	0.0674949	0.0714236	0.0753454
0.2	0.0792596	0.0831661	0.0870643	0.0909540	0.0948348	0.0987062	0.1025680	0.1064198	0.1102611	0.1140918
0.3	0.1179113	0.1217194	0.1255157	0.1292999	0.1330716	0.1368305	0.1405763	0.1443086	0.1480271	0.1517316
0.4	0.1554216	0.1590969	0.1627571	0.1664020	0.1700313	0.1736446	0.1772417	0.1808223	0.1843861	0.1879328
0.5	0.1914623	0.1949741	0.1984680	0.2019438	0.2054013	0.2088401	0.2122601	0.2156609	0.2190425	0.2224044
0.6	0.2257466	0.2290689	0.2323709	0.2356525	0.2389134	0.2421536	0.2453728	0.2485708	0.2517475	0.2549026
0.7	0.2580361	0.2611477	0.2642372	0.2673046	0.2703497	0.2733724	0.2763724	0.2793498	0.2823043	0.2852358
0.8	0.2881443	0.2910296	0.2938916	0.2967303	0.2995455	0.3023371	0.3051051	0.3078495	0.3105700	0.3132667
0.9	0.3159295	0.3185884	0.3212133	0.3238141	0.3263909	0.3289435	0.3314720	0.3339764	0.3364566	0.3389126
1.0	0.3413444	0.3437520	0.3461354	0.3484946	0.3508297	0.3531406	0.3554273	0.3576900	0.3599285	0.3621430
1.1	0.3643335	0.3665001	0.3686427	0.3707615	0.3728564	0.3749277	0.3769752	0.3789991	0.3809995	0.3829764
1.2	0.3849299	0.3868601	0.3887671	0.3906510	0.3925119	0.3943498	0.3961649	0.3979573	0.3997270	0.4014742
1.3	0.4031991	0.4049016	0.4065821	0.4082404	0.4098769	0.4114916	0.4130846	0.4146561	0.4162062	0.4177351
1.4	0.4192429	0.4207297	0.4221937	0.4236410	0.4250638	0.4264670	0.4278345	0.4291717	0.4305629	0.4318874
1.5	0.4331923	0.4344778	0.4357440	0.4369912	0.4382193	0.4394288	0.4406196	0.4417920	0.4429461	0.4440831
1.6	0.4452002	0.4463006	0.4473834	0.4484488	0.4494970	0.4505281	0.4515423	0.4525398	0.4535209	0.4544857
1.7	0.4554341	0.4563666	0.4572833	0.4581844	0.4590700	0.4599403	0.4607956	0.4616359	0.4624615	0.4632725
1.8	0.4640692	0.4648516	0.4656200	0.4663745	0.4671154	0.4678427	0.4685567	0.4692576	0.4699454	0.4706205
1.9	0.4712829	0.4719329	0.4725705	0.4731961	0.4738096	0.4744114	0.4750016	0.4755803	0.4761477	0.4767040
2.0	0.4772493	0.4777839	0.4783078	0.4788212	0.4793243	0.4798172	0.4803002	0.4807733	0.4812367	0.4816906
2.1	0.4821350	0.4825703	0.4829964	0.4834137	0.4838221	0.4842218	0.4846131	0.4849960	0.4853707	0.4857373
2.2	0.4860960	0.4864469	0.4867901	0.4871257	0.4874540	0.4877750	0.4880888	0.4883957	0.4886956	0.4889888
2.3	0.4892733	0.4895354	0.4897929	0.4900464	0.4902956	0.4905401	0.4907806	0.4910174	0.4912504	0.4914793
2.4	0.4918019	0.4920232	0.4922392	0.4924500	0.4926558	0.4928566	0.4930526	0.4932438	0.4934303	0.4936123
2.5	0.4937988	0.4939629	0.4941317	0.4942963	0.4944568	0.4946133	0.4947658	0.4949145	0.4950594	0.4952006
2.6	0.4953382	0.4954723	0.4956029	0.4957302	0.4958542	0.4959749	0.4960924	0.4962069	0.4963183	0.4964269
2.7	0.4965325	0.4966533	0.4967754	0.4968937	0.4970097	0.4971234	0.4972349	0.4973436	0.4974495	0.4975525
2.8	0.4974443	0.4975224	0.4975983	0.4976721	0.4977438	0.4978135	0.4978812	0.4979471	0.4980111	0.4980732
2.9	0.4981336	0.4981923	0.4982493	0.4983046	0.4983584	0.4984106	0.4984613	0.4985107	0.4985582	0.4986046
3.0	0.4986496	0.4986932	0.4987356	0.4987767	0.4988166	0.4988552	0.4988927	0.4989291	0.4989644	0.4989986
3.1	0.4990318	0.4990640	0.4990952	0.4991254	0.4991547	0.4991831	0.4992106	0.4992372	0.4992630	0.4992881
3.2	0.4993123	0.4993357	0.4993585	0.4993805	0.4994018	0.4994224	0.4994424	0.4994619	0.4994804	0.4994985

Рис. 5. Окно «Таблица Лапласа»

В данном примере получили, что при исходных данных, отраженных на рис. 2—5 (и отличном качестве строительства, выраженном в виде коэффициента вариации 0,1), вероятность возникновения трещин в монолитном слое в изгибе при использовании геосетки будет снижена на 92,9 % по сравнению с конструкцией, где геосетка отсутствует (рис. 6).

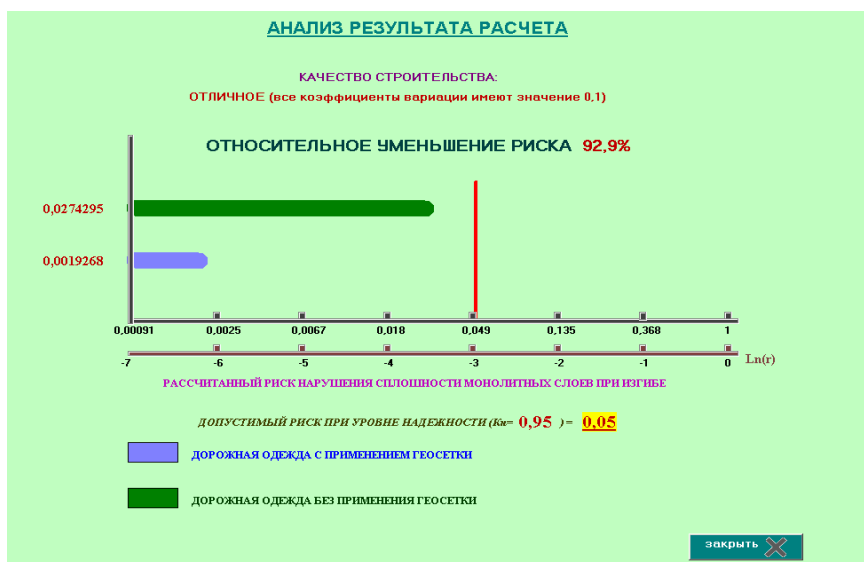


Рис. 6. Окно «Анализ результатов расчета»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Столяров В. В.* Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска. Ч. 1, 2. — Саратов: СГТУ, 1994. — С. 184—232.
2. *Кокодеева Н. Е., Талалай В. В., Кочетков А. В., Янковский Л. В., Аржанухина С. П.* Методологические основы оценки технических рисков в дорожном хозяйстве // Урбанистика: Вестник ПГТУ. — Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2011. № 3. — С. 38—49.
3. *Кокодеева Н. Е.* Принципы технического регулирования при проектировании дорожных одежд нежесткого типа с применением геоматериалов (на основе теории риска) // Строительные материалы. 2011. №1. — С. 25—28.
4. *Кокодеева Н. Е., Кочетков А. В., Янковский Л. В.* Методические подходы реализации принципов технического регулирования в дорожном хозяйстве // Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности: Вестник ПГТУ. — Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та. 2011. №1. — С. 44—56.
5. *Кокодеева Н. Е.* Влияние влажности подстилающего слоя грунта на вероятности нарушения сплошности монолитного слоя при изгибе // Актуальные проблемы эксплуатации транспорта: межвуз. науч. сб. / СГТУ. — Саратов, 2000. — С. 139—144.
1. *Stolyarov V. V.* Projektirovaniye avtomobilnykh dorog s uchotom teorii riska. Ch. 1, 2. — Saratov: SGTU, 1994. — S. 184—232.
2. *Kokodeeva N. E., Talalay V. V., Kochetkov A. V., Yankovski L. V., Arzhanukhina S. P.* Metodologicheskiye osnovy otsenki tekhnicheskikh riskov v dorozhnom khozyaystve // Urbanistika: Vestnik PGU. — Perm : Izdatelstvo PNIPU, 2011. № 3. — S. 38—49.
3. *Kokodeeva N. E.* Printsipy tekhnicheskogo regulirovaniya pri projektirovanii dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa s primeneniem geomaterialov (na osnove teorii riska) // Stroitelnye materialy. 2011. №1. — S. 25—28.
4. *Kokodeeva N. E., Kochetkov A. V., Yankovski L. V.* Metodicheskiye potkhody realizatsii printsipov tekhnicheskogo regulirovaniya v dorozhnom khozyaystve // Okhrana okruzhayushchey sredy, transport, bezopasnost zhiznedeyatelnosti: Vestnik PGU. — Perm : Izdatelstvo Perm. gos. tekhn. un-ta. 2011. №1. — S. 44—56.
5. *Kokodeeva N. E.* Vliyaniye vlazhnosti podstilayushchego sloya grunta na veroyatnosti narusheniya sploshnosti monolitnogo sloya pri izgibe // Aktualnye problemy ekspluatatsii transporta: mezhvuz. nauch. sb. / SGTU. — Saratov, 2000. — S. 139—144.

© *Кокодеева Н. Е., Кочетков А. В., Хижняк Е. М., Янковский Л. В., 2012*

*Поступила в редакцию
в мае 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Программный комплекс оценки риска возникновения трещин с учетом применения геосинтетических материалов в конструкциях автомобильных дорог / Н. Е. Кокодеева, А. В. Кочетков, Е. М. Хижняк, Л. В. Янковский // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 109—118.

УДК 625.7.711

В. С. Боровик, В. Т. Фомичев, В. Н. Прокшиц, К. М. Ковалев

МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ПАВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГРУНТА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассмотрен механизм действия поверхностно-активных веществ (ПАВ) при их использовании в процессе уплотнения грунта, используемого в качестве основы дорожного полотна. Приводятся экспериментальные данные по влиянию отходов гидролиза древесины на процесс упрочнения грунта.

К л ю ч е в ы е с л о в а: грунтовые дороги, поверхностно-активные вещества, механизм действия поверхностно-активных веществ.

The mechanism of action of surface active substances (SAS) when used in the process of soil compaction used as the basis for the roadway is considered in the article. Experimental data on the influence of waste wood hydrolysis process of hardening of the soil are given.

K e y w o r d s: dirt roads, surface-active substances, the mechanism of action of surface-active substances.

Как известно [1], толщина дорожной одежды зависит, в первую очередь, от прочности грунта земляного полотна. Одним из эффективных мероприятий, оправдавших себя на практике, является использование в качестве нижнего конструктивного слоя дорожной одежды местного грунта, уплотненного до максимальной плотности при оптимальной влажности.

Исследованиями В. И. Бируля [2], В. М. Безрука [3] Н. Я. Хархута [4] и др. установлено, что грунт при максимальной плотности и оптимальной влажности практически водонепроницаем, обладает повышенной устойчивостью против набухания и морозного пучения, мало размывается водой. Длительное сохранение максимальной плотности грунта возможно при благоприятных условиях — глубоком залегании грунтовых вод и надежном отводе поверхностных вод.

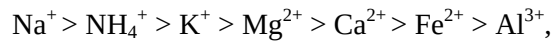
Грунт, уплотненный указанным образом, находится в состоянии твердопластичной консистенции и характеризуется наличием коагуляционной структуры, переходящей при испарении воды в конденсационную [5].

При строительстве основания дороги из грунтов максимальной плотности наиболее важным является обеспечение оптимальных технологических параметров процесса уплотнения грунта (влажности, веса и скорости движения уплотняющей техники, толщины отсыпаемого слоя). В процессе строительства верхний слой грунта насыпи рыхлится, увлажняется до влажности, близкой к оптимальной, и перемешивается фрезой на глубину 20...30 см. Уплотнение производится пневмокатком и заканчивается по достижении коэффициента уплотнения (K_y) до 1,03.

Механизм процесса упрочнения грунта достаточно многофакторен, учитывая, что грунты — пористые полидисперсные системы. Это определяет сложность учета адгезионно-когезионных взаимодействий, зависящих от дисперсности, влажности и времени контакта.

Адгезионные силы в грунтах с увеличением влажности возрастают до некоторого предела, а затем уменьшаются. Увеличение дисперсности также приводит к увеличению адгезионных взаимодействий между частицами. С увели-

чением влажности влияние давления на силу адгезии снижается, что объясняется уменьшением сжимаемости грунта вследствие заполнения пор жидкостью. Заметную роль играет солесодержание грунтов. Возрастание процентного содержания растворимых солей в них приводит к увеличению адгезии, что связано с действием электролитов на ионообменную способность фаз [6]. По данным Н. И. Горбунова и Н. И. Шаврыгина липкость грунта увеличивается по ряду ионов:



что противоположно коагуляционной активности перечисленного ряда ионов [9].

Для практических целей представляет интерес рассмотрение задачи упрочнения грунтов в контексте контактов между структурными элементами грунтов в среде «твердая фаза — жидкость — газ». В частности, капиллярные контакты между дисперсными частицами в грунтах образуются в трехкомпонентных системах «твердая фаза — жидкость — газ» за счет капиллярных менисков жидкости, располагающихся в виде манжет непосредственно в контактном зазоре (рис. 1).

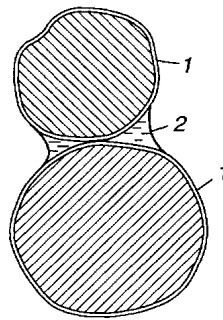


Рис. 1. Схема капиллярного контакта в трехфазном грунте: 1 — пленка связанной воды; 2 — мениск капиллярной влаги

Величина силы капиллярного притяжения частиц зависит от радиусов кривизны мениска жидкости в контактном зазоре. С уменьшением радиусов (см. рис. 1) сила капиллярной связи возрастает. В случае, когда $r \rightarrow \infty$, величина капиллярной связи стремится к нулю, а при смене знака кривизны силы притяжения могут меняться на силы отталкивания между частицами.

$$F_{\text{кап}} = 4\pi\sigma r \cos \theta,$$

где $F_{\text{кап}}$ — сила взаимного капиллярного притяжения; σ — коэффициент поверхностного натяжения жидкости; r — радиус кривизны мениска жидкости в контактном зазоре; θ — поправка на краевой угол смачивания [9].

При наличии в зазоре гидрофильных частиц несмачиваемых жидкостью или в случае гидрофобных частиц капиллярные силы проявляются как силы отталкивания между частицами. В процессе упрочнения грунтов участвуют и механические контакты с участием пленок жидких фаз в грунтах. Реальная площадь механического контакта между частицами, вследствие неровностей поверхностей, может быть очень мала. Вследствие этого, механическая сила,

действующая на частицу, отнесенная к площади истинного контакта, может достигать значительных величин, превышающих прочность самих частиц. Поэтому в зонах точечных механических контактов обычно действуют относительно высокие напряжения. Связи механической природы обусловлены физическим полем механических напряжений и эффектами сцепления и трения структурных элементов друг с другом. В общем случае сила механической связи $F_{\text{мех}}$ между частицами грунта определяется двумя составляющими:

$$F_{\text{мех}} = F_{\text{сц}} + F_{\text{тр}},$$

где $F_{\text{сц}}$ — сила механического сцепления частиц; $F_{\text{тр}}$ — сила трения между ними [8].

Сильное влияние на механический контакт в грунтах оказывают пленки поверхностно-активных (ПАВ) жидкостей. Молекулы ПАВ способны ориентироваться в контактном зазоре вдоль границы раздела «твердое тело — жидкость», формируя мономолекулярный слой, и тем самым снижать трение и поверхностную энергию системы [10].

С целью исследования влияния добавок ПАВ на процесс упрочнения грунта использовался продукт отходов гидролиза древесины — лигносульфонаты, содержащие ионы калия, кальция и алюминия. Данные предварительных исследований определили концентрационные границы добавок в пределах 0,5...1,2 мл/л. В качестве модельного грунта использован высушенный суглинок, подвергнутый механическому измельчению. Определенную часть его вводили в деионизированную воду с различным содержанием добавки ПАВ. Полученная система подвергалась механическому перемешиванию. Образованная суспензия помещалась в мерные цилиндры до объема 100 мл и выдерживалась в течение трех суток. В результате самоосаждения частиц суспензии образовывался осадок, высота которого зависела от способности к самоорганизации частиц под действием силы тяжести и действия коагуляционных сил. Наименьшая высота осадка принималась за 100 %.

В табл. 1 представлены данные о влиянии концентрации используемого ПАВ на степень самоуплотнения осадка.

Т а б л и ц а 1

Влияние концентрации лигносульфоната (ПАВ) на степень самоуплотнения осадка (относительные единицы)

№	Концентрация ПАВ, мл/л	Степень уплотнения, %
1	0,25	10,7
2	0,50	42,3
3	1,00	100,0
4	1,50	53,6
5	2,00	18,4

Экспериментальные данные показывают, что увеличение концентрации ПАВ до 1 мл/л приводит к максимальной степени самоуплотнения осадка. Дальнейшее повышение концентрации до 2 мл/л приводит к снижению действия поверхностно-активного вещества.

Для определения прочностных параметров из осадка формировались образцы — цилиндры диаметром 50 мм и высотой 50 мм — и высушивались при температуре 20...22 °С и влажности воздуха 60...70 % в течение недели. Затем они подвергались нагрузке на сжатие.

Величины предельного разрушающего давления представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Зависимость предельного давления разрушения образца от концентрации добавки ПАВ

№	Концентрация добавки, мл/л	Предельное давление разрушения, МПа
1	0,25	6,74
2	0,50	7,71
3	1,00	11,82
4	1,50	8,70
5	2,00	7,62

Сравнение данных таблицы 1 и 2 свидетельствует о связи концентрации добавки с прочностными характеристиками уплотненного модельного образца грунта и показывает, что при достижении концентрации добавки 1 мл/л величина предельного давления достигает 11,82 МПа.

Это существенно выше результатов, достигаемых с применением вяжущих материалов, например [11], где этот параметр имеет значение в диапазоне (3,3...4,3 МПа).

На рис. 2 представлены микрофотографии поверхности разлома образцов с различным количеством добавки лигносульфоната. Как следует из фотографий наиболее мелкокристаллическое строение имеет образец (рис. 2, в) с концентрацией, соответствующей наибольшей прочности.

Влияние концентрационного фактора лигносульфоната можно объяснить химическим строением данного вещества. Лигносульфонаты являются продуктом гидролиза древесины и обладают свойствами анионных ПАВ — дифильностью молекул, связанную с наличием в молекуле полярной (гидрофильной) и неполярной (гидрофобной) частей, придающим молекулам особые свойства.

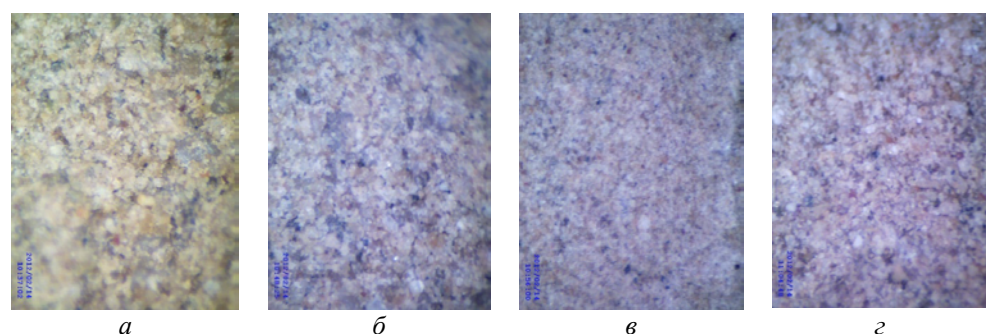


Рис. 2. Микрофотографии поверхности разлома образца. Концентрация лигносульфоната, мл/л: а — 0,0; б — 0,5; в — 1,0; г — 2,0

Согласно современным представлениям строение двойного электрического слоя (ДЭС) вблизи твердой поверхности имеет отрицательный заряд ($-\sigma_0$). При этом поверхностная плотность заряда σ_0 потенциалоопределяющего слоя образует как бы внутреннюю обкладку конденсатора, а ионы (катионы), находящиеся в жидкости, образуют внешнюю обкладку противоположного знака, причем в целом система электронейтральна:

$$-\sigma_0 = \sigma_1 + \sigma_2,$$

где σ_1 — плотность зарядов адсорбционного слоя; σ_2 — плотность зарядов диффузного слоя.

Разность потенциалов, возникающая на границе раздела фаз, характеризуется фазовым или термодинамическим потенциалом φ_0 , который равен сумме падений потенциалов в адсорбционном φ_1 и диффузном φ_2 слоях [8].

В случае лигносульфонатов натрия, кальция гидрофобной частью является лигносульфонат-ионы, а гидрофобной — ионы соответствующих металлов. Такие молекулы сорбируются на границе раздела фаз, ориентируясь гидрофильной частью в обводненную среду и изолируя от воды гидрофобную. При увеличении концентрации молекулы ПАВ самоассоциируются с образованием мицеллярных структур. Образование мицелл происходит со связыванием мономеров при концентрациях, превышающих критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ). При этом происходит резкое снижение прочности между частицами, на поверхности которых образуются мицеллярные адсорбционные слои, в результате чего происходит разрушение поверхности [10]. Если такую систему подвергнуть внешнему силовому воздействию, то при этом происходит образование более компактной системы, что придает определенную ее структурную прочность, выражающуюся в увеличении прочности структуры взрыхленного грунта.

При использовании грунта в качестве материала основания при выполнении работ по устройству дорожной одежды в ходе введения в механически разрыхленный грунт ПАВ (лигносульфоната) наблюдается взаимное действие молекулярно-поверхностных сил в процессах увлажнения и высыхания. Разрушения, производимые сольватно-адсорбционными слоями в дисперсных телах при их увлажнении раствором ПАВ, могут более или менее полно компенсироваться при обратном процессе, т. е. при высыхании, когда действуют противоположно направленные силы капиллярной контракции на рис. 3, а. представлена схема, где рассматривается процесс смачивания, при котором молекулы ПАВ, сорбируясь на поверхности механически разрыхленных частиц, включают механизм расклинивающего действия. При этом происходит увеличение дисперсности грунта. При переходе от увлажнения к высыханию (рис. 3, б) весь механизм действия молекулярно-поверхностных сил переносится из глубины разрыхленных частиц в тело на его внешнюю поверхность, на поверхность микроменисков жидкости в устьях всех пор, выходящих на микроповерхность тела. При этом поверхностные силы оказывают не разрыхляющее, а сжимающее действие, сближая частицы, прежде всего в поверхностном слое, и восстанавливая нарушенные связи [12]. Эти силы вызывают усадку и возникновение напряжения в высыхающих системах. Компромисс сил регулируется природой и концентрацией используемого поверхностно-активного вещества.

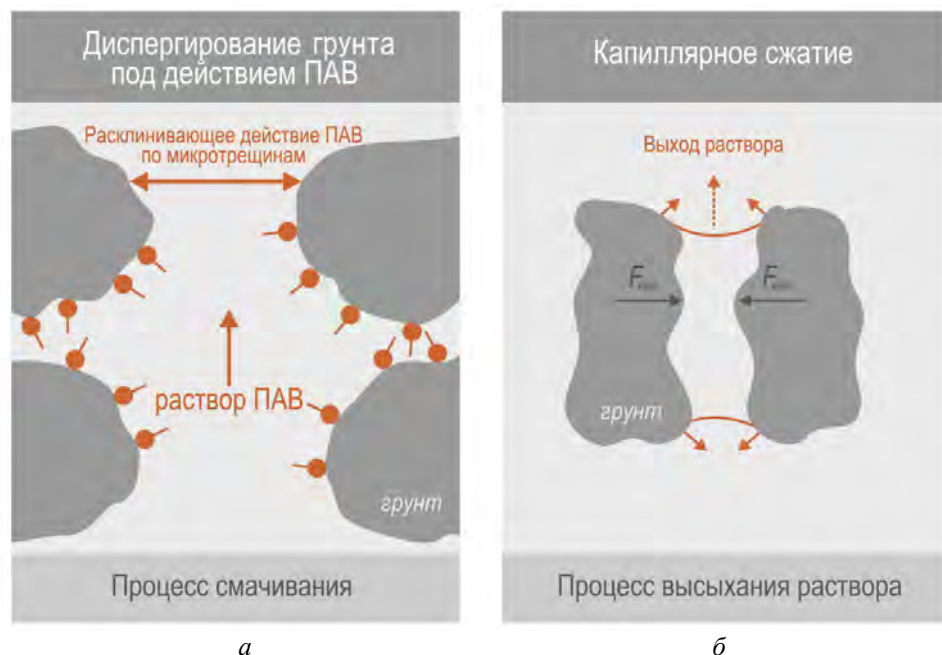


Рис. 3. Схема взаимодействия молекулярно-поверхностных сил

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.05.02—85. Автомобильные дороги.
 2. Бируля В. И. Расчет и контроль уплотнения грунтов. — М., Автотрансиздат, 1958. — С. 43.
 3. Безрук В. М. Уплотнение грунтов. — М., Транспорт, 1965. — С. 79.
 4. Хархута Н. Я., Васильев Ю. М. Устойчивость и уплотнение грунтов дорожных насыпей. — М., Автотрансиздат, 1963. — С. 56.
 5. Кучма М. И. Поверхностно-активные вещества в дорожном строительстве. — М. : Наука, 1978. — 368 с.
 6. Капиллярная химия; пер. с японск. / под ред. К. Тамару. — М. : 1983. — 272 с.
 7. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах: Коллоидная химия. Избранные труды. — М. : Наука, 1978. — 368 с.
 8. Трофимов В. Т., Королев В. А., Вознесенский Е. А. и др. Грунтоведение. — М. : Наука, 2005. — С. 126.
 9. Маслов Н. Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. — М. : Изд. Мин-ва автомат. трансп. и шоссейных дорог РСФСР, 1961. — 707 с.
 10. Яминский В. В., Пчелин В. А., Амелина Е. А., Щукин Е. Д. Коагуляционные контакты в дисперсных системах. — М. : Химия, 1982. — 185 с.
 11. Прокопец В. С., Смирнов В. П., Блинов А. Ю. Способ закрепления грунта для дорожного покрытия. Авт. св-во СССР 173891, Бюлл. № 21, 1992.
 12. Остриков М. С. О механическом действии молекулярно-поверхностных сил в процессах высыхания и увлажнения дисперсных и высокомолекулярных систем: Матер. VIII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии (секция коллоидной химии). Т. 5. — М. : Изд-во АН СССР, 1961. — 707 с.
1. SNiP 2.05.02—85. Avtomobilnye dorogi.
 2. Birulya V. I. Raschet i kontrol uplotneniya gruntov. — M., Avtotransizdat, 1958. — S. 43.
 3. Bezruk V. M. Uplotneniye gruntov. — M., Transport, 1965. — S. 79.
 4. Kharkhuta N. Ya., Vasilev Yu. M. Ustoychivost i uplotneniye gruntov dorozhnykh nasypey. — M., Avtotransizdat, 1963. — S. 56.
 5. Kuchma M. I. Poverkhnostno-aktivnye veshchestva v dorozhnom stroitelstve. — M. : Nauka, 1978. — 368 s.

6. Kapillyarnaya khimiya; per. s yaponskogo / pod red. K. Tamaru. — M. : 1983. — 272 s.
7. Rebinder P. A. Poverkhnostnye yavleniya v dispersnykh sistemakh: Kolloidnaya khimiya. Izbrannye trudy. — M. : Nauka, 1978. — 368 s.
8. Trofimov V. T., Korolev V. A., Voznesenskiy E. A. i dr. Gruntovedeniye. — M. : Nauka, 2005. — S. 126.
9. Maslov N. N. Osnovy mekhaniki gruntov i inzhenernoy geologii. — M. : Izd. Min-va avtomat. transp. i shosseynykh dorog RSFSR, 1961. — 707 s.
10. Yaminskiy V. V., Pchelin V. A., Amelina E. A., Shchukin E. D. Koagulyatsionnye kontakty v dispersnykh sistemakh. — M. : Khimiya, 1982. — 185 s.
11. Prokopets V. S., Smirnov V. P., Blinov A. Yu. Sposob zakrepleniya grunta dlya dorozhnogo pokrytiya. Avt. sv-vo SSSR 173891. Byull. № 21, 1992.
12. Ostrikov M. S. O mekhanicheskom deystvii molekulyarno-poverkhnostnykh sil v protsessakh vysykhaniya i uvlazhneniya dispersnykh i vysokomolekulyarnykh sistem: Mater.VIII Mendeleevskogo sezda po obshchey i prikladnoy khimii (sektiya kolloidnoy khimii). T. 5. — M. : Izd-vo ANSSSR, 1961. 707 s.

© Боровик В. С., Фомичев В. Т.,
Прокшиц В. Н., Ковалев К. М., 2012

Поступила в редакцию
в июне 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Механизм действия ПАВ при использовании грунта в дорожном строительстве / В. С. Боровик, В. Т. Фомичев, В. Н. Прокшиц, К. М. Ковалев // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 119—125.

УДК 625.7/8: 624.042

**Н. Е. Кокодеева, В. В. Талалай, А. В. Кочетков,
С. П. Аржанухина, Л. В. Янковский**

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ РИСКОВ

Рассматриваются методические подходы, традиционные и новые, оценки степени риска применительно к техническому регулированию в дорожном хозяйстве Российской Федерации. Предлагается подборка расчетных формул для вычисления единичного и суммарного риска через аппарат теоретико-вероятностного подхода, основанного на теории риска, предложенного профессором В. В. Столяровым.

Ключевые слова: техническое регулирование, оценка степени риска, оценка степени вреда, теория риска, мероприятия по эксплуатации.

In this article the methodological approaches, traditional and new assessments of risk for technical regulation in road economy of the Russian Federation are considered. The selection of calculating formulas for individual and total risk via the device of probability-theoretical approach based on the risk theory offered by professor V. V. Stolyarov is suggested.

Key words: technical regulation, assessment of risk, assessment of harm, risk theory, actions for operation.

В декабре 2002 г. был принят Федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании». Это было вызвано необходимостью реформирования сложившейся за многие десятилетия системы технического нормирования в Российской Федерации [1].

Одна из причин его появления заключалась в подготовке к вступлению России во Всемирную торговую организацию, что соответственно потребовало реформирования существующей системы технического нормирования в области требований ВТО, нового и глобального подходов, реализуемых в рамках ЕС в техническом регулировании, правил и рекомендаций общепризнанных международных организаций.

С 1 июля 2003 г. Федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании» юридически закрепил основы проведения реформы технического регулирования с целью обеспечения эффективности регулирующего воздействия государства и устранения необоснованных препятствий для деятельности экономических механизмов с учетом необходимости соблюдения и защиты законных прав и интересов общества и государства в трех направлениях (рис. 1, 2): в области установления, применения и исполнения обязательных требований к объектам технического регулирования (эти обязательные требования устанавливаются в технических регламентах); в области установления и применения на добровольной основе требований к объектам технического регулирования и к выполнению работ или оказанию услуг (эти добровольные для применения требования излагаются в стандартах или договорах); в области оценки соответствия.

С момента утверждения Федерального закона №184-ФЗ «О техническом регулировании» в сфере дорожного хозяйства Российской Федерации создается система технического регулирования.

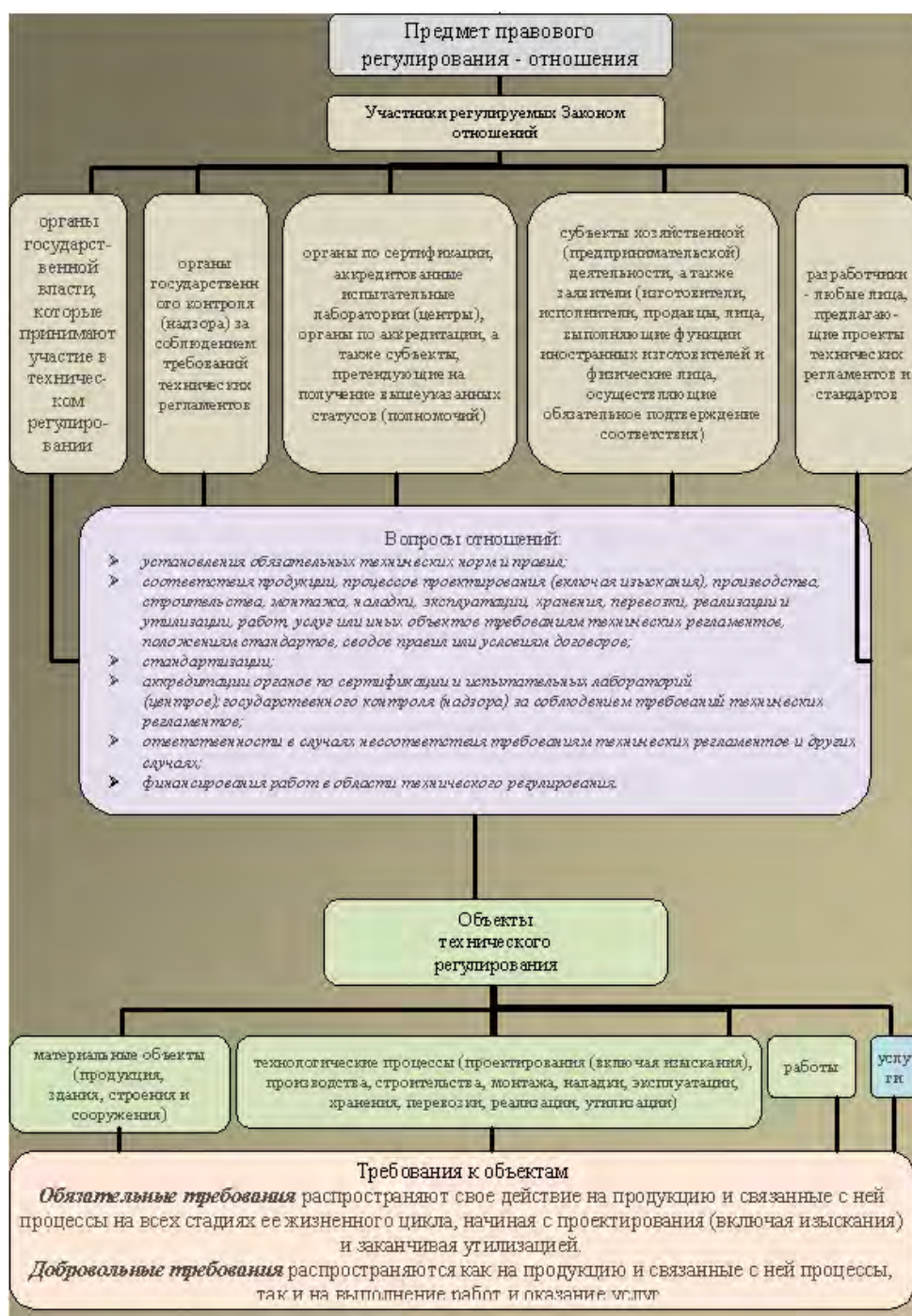


Рис. 1. Схема применения Федерального закона № 184 «О техническом регулировании»

Одним из приоритетных направлений совершенствования нормативно-правового регулирования в дорожном хозяйстве (в соответствии с Транспортной стратегией Российской Федерации, утвержденной распоряжением

Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р) является принятие или переутверждение Правительством РФ нормативных правовых актов, необходимых для государственного регулирования дорожной деятельности в соответствии с Федеральным законом № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».



Рис. 2. Принципы технического регулирования

Например, таких как порядок оценки технического состояния автомобильных дорог, порядок установления временного ограничения или прекращения движения транспортных средств по автомобильным дорогам и т. п.; а также подготовка новых документов технического регулирования — технических регламентов, национальных стандартов, стандартов организаций и актов рекомендательного характера (отраслевых дорожных методических документов). Создаваемая единая система технического нормирования безопасности и качества материалов, изделий, конструкций и услуг в дорожном хозяйстве должна соответствовать практике работы стран с развитой рыночной экономикой в указанной области. Предусматривается гармонизация российских стандартов в области дорожного хозяйства с передовыми международными стандартами.

В качестве измерителя требуемого уровня безопасности в Федеральном законе № 184-ФЗ «О техническом регулировании» предусмотрен один универсальный показатель — допустимый риск причинения вреда.

Обоснование решения научной проблемы. В связи с этим в рамках данной работы предлагается усовершенствовать научно-методическое обеспечение технического регулирования с использованием теоретико-вероятностного подхода, предложенного профессором В. В. Столяровым, который создал научное направление «Проектирование, строительство и эксплуатация автомобильных дорог по условию обеспечения безопасности движения с учетом теории риска» в Саратовском государственном техническом университете. Созданы такие методики, как риск возникновения ДТП при наезде на препятствие в пределах вогнутой и выпуклой кривых, риск переувлажнения грунта относительно оптимальной влажности, риск безопасности разезда автомобилей в городских условиях, риск возникновения процесса глиссирования, риск потери окупаемости капиталовложений в строительство двухполосных дорог и многие другие.

В целях выполнения Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании» авторский коллектив ведет активную работу по разработке и внедрению в организациях транспортного строительства стандартов предприятий с учетом региональных и климатических требований на территории Российской Федерации, в которых отражены требования к безопасности сооружений с позиции их прочности и устойчивости, к безопасности эксплуатации сооружений с позиции безопасности дорожного движения на основе допустимого риска причинения вреда жизни человеку, окружающей среде.

В соответствии со статьей 7 п.1 Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [1, стр. 9—11] технические регламенты должны устанавливать *минимально необходимые требования*, обеспечивающие различные виды безопасности, с учетом *степени риска* причинения вреда. Это означает, что понятие «риск» рассматривается в неразрывном единстве с термином «безопасность», потому как от уровня риска (вероятности причинения вреда) напрямую зависит и уровень обеспечиваемой безопасности объектов технического регулирования.

За критерий безопасности объекта транспортной инфраструктуры, процессов изыскания, проектирования, строительства, реконструкции, ремонта, эксплуатации и утилизации предлагается принимать состояние, при котором риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан или имуществу любой формы собственности, окружающей среде не превышает допустимых значений.

Допустимый риск причинения вреда по дорожным условиям с позиций проектирования должен быть представлен в виде:

допустимого числа пострадавших людей из общего количества людей, соприкасающихся с автомобильной дорогой (водители и пешеходы);

допустимой величины ущерба от вреда, причиняемого автомобильной дорогой окружающей среде жизни и здоровью животных и растений, выраженной в рублях;

допустимой величины экономического ущерба от вреда, вызванного нарушением непрерывности движения, выраженной в рублях;

допустимой величины износа потребительских свойств государственной, муниципальной или частной автомобильной дороги, как имущества физических или юридических лиц;

требуемой степени информированности об автомобильной дороге, обеспечивающей предупреждение действий, вводящих в заблуждение пользователей дорогами.

В Саратовском государственном техническом университете на кафедре строительства дорог и организация движения в течение последних 25 лет велась разработка математических и экономико-математических моделей оценки риска причинения вреда человеку, имуществу и окружающей среде в различных дорожных условиях с учетом скорости движения автомобилей. Используя в основе теории риска нормальный закон распределения, проф. В. В. Столяровым получены формулы для определения значения риска [2, 3]:

1. В первом случае, когда величина $A > A_{кр}$ применяют формулу (1), графическая интерпретация которой представлена на рис. 3:

$$r_t = 0,5 - \Phi \left(\frac{A - A_{кр}}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_{A_{кр}}^2}} \right), \quad (1)$$

где A — математическое ожидание расчетного или фактического параметра сооружения; $A_{кр}$ — математическое ожидание критического (минимального) параметра конструкции, при котором вероятность отказа равна 50 %; σ_A и $\sigma_{A_{кр}}$ — средние квадратические отклонения текущих значений указанных параметров.

Анализ формулы (1) показывает, что в случае принятия параметра A равным параметру $A_{кр}$ риск нежелательного события равен 50 %, т. е. $r = 0,5$. При $A > A_{кр}$ имеем $r < 0,5$, и в пределе, когда $A \gg A_{кр}$, риск стремится к нулю. При $A < A_{кр}$ имеем $r > 0,5$, и в пределе, когда $A \ll A_{кр}$, риск стремится к единице.

2. Во втором случае, когда величина $A < A_{кр}$ применяют формулу (2), графическая интерпретация которой представлена на рис. 4:

$$r_t = 0,5 - \Phi \left(\frac{A_{кр} - A}{\sqrt{\sigma_{A_{кр}}^2 + \sigma_A^2}} \right), \quad (2)$$

где $A_{кр}$, $\sigma_{A_{кр}}$ — математическое ожидание критического (максимального) параметра конструкции, при котором вероятность отказа равна 50 %, и его среднее квадратическое отклонение.

Анализ формулы (2) показывает, что в случае принятия параметра A равным $A_{кр}$ риск нежелательного события равен 50 %, т. е. $r = 0,5$. При $A < A_{кр}$ имеем $r < 0,5$, и в пределе, когда $A \ll A_{кр}$, риск стремится к 0. При $A > A_{кр}$ имеем $r > 0,5$, и в пределе, когда $A \gg A_{кр}$, риск стремится к единице.

Формулами (1) и (2) можно воспользоваться для тех параметров, которые распределены по нормальному закону.

Объект транспортной инфраструктуры в процессе своего функционирования подвергается влиянию различных рисков, которые можно систематизировать в блоки, соответствующие функциональным подсистемам, а именно: блок инженерных изысканий; проектирования; строительства, реконструкции; капитального ремонта; эксплуатации; разборки дороги или сооружения.

Выделение рисков в рамках функциональных подсистем позволяет более точно определить способы управления рисками в практической деятельности. В качестве характеристики степени опасности участка дороги воспользуемся суммарным риском как комплексным показателем, который может возникнуть на данном участке под совокупным влиянием всех параметров дороги одновременно. Например, при движении транспортного потока по существующей автомобильной дороге можно установить экологические риски отдельно, например:

риск возникновения ущерба от негативных последствий шумового загрязнения от транспортного потока;

риск возникновения ущерба от негативных последствий загрязнения окружающей среды вредным (токсичным) веществом;

риск возникновения ущерба от негативных последствий автотранспортных вибраций;

риск возникновения ущерба от негативных последствий применения противогололедных реагентов при зимнем содержании и т. д.

Вычислим величину суммарного риска возникновения экологической опасности от всех нежелательных событий на объектах дорожно-транспортного комплекса с учетом синергизма их действия. В. В. Столяровым при рассмотрении частного случая наличия на участке двух причин, порождающих рискованные ситуации, предложена следующая формула для определения суммарного риска [2]:

$$r_{1,2} = r_1(1 - P_1) + r_2(1 - P_2), \quad (3)$$

где r_1 и r_2 — величина риска каждой из двух причин соответственно; P_1 — возможная вероятность изменения величины r_1 при воздействии r_2 (негативное воздействие на окружающую среду по причине, порождающей r_2); P_2 — возможная вероятность изменения величины r_2 при воздействии r_1 (негативное воздействие на окружающую среду по причине, порождающей r_1).

В результате математических преобразований было получено частное уравнение суммарного риска

$$r_{1,2} = r_1 + r_2 - r_1 \cdot r_2. \quad (4)$$

При наличии на участке дороги n причин, вызывающих значения риска $r_1, r_2, \dots, r_n$, В. В. Столяровым предложено пользоваться формулой (4) последовательно $n-1$ раз. Вначале по формуле (4) вычисляют суммарный риск $r_{i,j}$ по любым двум значениям риска (например, $r_{1,2}$ по r_1 и r_2). Последующие вычисления ведут также в соответствии с произвольной индексацией значений риска. Например,

$$\sum_1^3 r_i = \sum_1^2 r_i + r_3 - r_3 \cdot \sum_1^2 r_i, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n r_i = \sum_{i=1}^{n-1} r_i + r_n - r_n \cdot \sum_{i=1}^{n-1} r_i, \quad (6)$$

где $\sum_{i=1}^2 r_i$; $\sum_{i=1}^3 r_i$; $\sum_{i=1}^{n-1} r_i$ и $\sum_{i=1}^n r_i$ — обозначения сумм, определенных по формуле (6).

Любая последовательность сложения значений риска приводит к одному и тому же суммарному риску, который при неограниченном количестве значений r_i ($0 \leq r_i \leq 1$) остается меньше или равен единице.

Специфика отраслевой принадлежности рисков к автомобильной дороге заключается в идентификации таких рисков, которые могут оказать существенное влияние на результаты функционирования автомобильной дороги. Для удобства восприятия процесс формирования рисков целесообразно представлять в виде древа рисков или структурно-логической схемы формирования рисков по каждой функциональной подсистеме и системы в целом.

Предлагается алгоритм формирования рисков и учета их при назначении видов работ выполняемых при эксплуатации.

1. Источниками риска при эксплуатации выбираем технические характеристики и эксплуатационное состояние конструктивных элементов: проезжей части; краевых полос, обочин и разделительной полосы; земляного полотна; искусственных сооружений; средств организации движения; ограждения дорог; сооружений дорожного сервиса и благоустройства дороги; искусственного освещения.

2. Рассматриваются основные факторы, определяющие возможность возникновения рисков на автомобильной дороге при ее эксплуатации:

а) соблюдение пользователями автомобильной дороги требований технических регламентов и государственных стандартов, предъявляемых:

к габаритным размерам, параметрам общей массы и осевых нагрузок, а в отдельных случаях и иным характеристикам транспортных средств, используемых в перевозочном процессе, и их техническому состоянию;

к скоростному режиму движения автомобилей с учетом типа транспортного средства, технической категории автомобильной дороги и погодноклиматических особенностей, при которых осуществляется перевозочный процесс, как в штатных условиях эксплуатации автомобильной дороги, так и при проведении эксплуатационной службой тех или иных технологических операций по ее содержанию и ремонту;

б) соответствие проекту параметров геометрических элементов земляного полотна, дорожной одежды и искусственных сооружений, а также обстановки пути и инженерного обустройства эксплуатируемой дороги;

в) соответствие показателей среднегодовой среднесуточной интенсивности движения транспортных средств установленных государственным уполномоченным органом технической категории эксплуатируемой автомобильной дороги;

г) соответствие требованиям настоящего технического регламента технического состояния проезжей части и обочин, искусственных сооружений, обстановки пути, предметов обустройства дороги и организации движения;

д) соблюдение техническим персоналом эксплуатационной службы требований соответствующих технических регламентов, государственных стандартов, технологических карт и правил:

к характеристикам, используемым при выполнении различных видов работ по содержанию и ремонту автомобильных дорог материалов, изделий, машин и механизмов, а также квалификации работников, привлекаемых к выполнению этих видов работ;

срокам и периодичности выполнения работ по содержанию и ремонту автомобильной дороги;

организации и технологии выполнения дорожно-эксплуатационных работ;

составу машин, механизмов и оборудования, используемых для производства работ по содержанию и ремонту автомобильных дорог, условиям их эксплуатации и парковки;

условиям размещения и складирования необходимых запасов ремонтно-строительных материалов и изделий;

организации движения в зоне выполнения работ по содержанию и ремонту автомобильной дороги;

защите окружающей среды и обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения при реализации всего комплекса мероприятий, связанных с проведением тех или иных видов дорожно-эксплуатационных работ;

условиям эксплуатации сооружений обслуживания движения и благоустройства дороги, расположенным на придорожной полосе эксплуатируемой автомобильной дороги;

организации и проведению контроля качества выполнения работ по содержанию и ремонту автомобильной дороги и мониторинга ее эксплуатационного состояния.

3. Разрабатываются мероприятия по эксплуатации, которые должны быть направлены на соблюдение следующих основных принципов, позволяющих обеспечить создание безопасных условий перевозки грузов и пассажиров по автомобильной дороге в течение установленного срока их службы:

защита от рисков, которые при пользовании автомобильными дорогами невозможно исключить в силу климатических, чрезвычайных и других факторов и ситуаций и могут привести к возникновению ДТП;

своевременное устранение или снижение риска возникновения дорожно-транспортных происшествий и других видов опасности и национальной безопасности в результате неблагоприятного воздействия эксплуатационного состояния дороги;

наличие и доступность информации о возможных остаточных рисках ухудшения эксплуатационного состояния автомобильной дороги и возникновения дорожно-транспортных происшествий на отдельных ее участках, вследствие недостаточности принятых мер безопасности или возникновения чрезвычайных ситуаций.

Понятие риска должно быть многомерным, а оценка его в значительной степени зависит от информации, доступной при его оценки и измерении.

Понятие риска позволит обеспечить эффективность проектирования, строительства, ремонта, эксплуатации и планирования работ по снижению риска, направленных на совершенствование надежности и экономической эффективности работы автомобильной дороги и сооружений на них в плане ужесточения требований к безопасности, экологической и социальной приемлемости. Используя данную методику, предлагается учесть степень влияния каждого

путем введения весовых коэффициентов в формулу для определения суммарного риска как комплексного показателя.

В результате проведенного анализа методов количественной и качественной оценки степени риска выбран теоретико-вероятностный подход профессора В. В. Столярова для оценки технического и экологического риска, основанный на вероятностной сущности исследуемых параметров, применительно к объектам дорожного хозяйства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон № 184-ФЗ. О техническом регулировании. — М. : Изд-во Омега-Л, 2009. — 56 с.
2. Столяров В. В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска. Ч. 1, 2. — Саратов: СГТУ, 1994. — Ч. 1. — 184 с., — Ч. 2. — 232 с.
3. Кокодеева Н. Е., Кочетков А. В., Янковский Л. В. Методические подходы реализации принципов технического регулирования в дорожном хозяйстве // Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности: Вестник ПГТУ. — Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. № 1. — С. 44—56.
1. Federalnyi zakon № 184—ФЗ. O tekhnicheskom regulirovanii. — M. : Izd-vo Omega-L, 2009. — 56 s.
2. Stolyarov V. V. Proektirovaniye avtomobilnykh dorog s uchotom teorii riska. Ch. 1, 2. — Saratov: SGTU, 1994. Ch. 1. — 184 s., — Ch. 2. — 232 s.
3. Kokodeeva N. E., Kochetkov A. V., Yankovski L. V. Metodicheskiye potkhody realizatsii printsipov tekhnicheskogo regulirovaniya v dorozhnom khozyaystve // Okhrana okruzhayushchei sredy, transport, bezopasnost zhiznyedeyatel'nosti: Vestnik PGTU. — Perm : Izdatel'stvo Perm. gos. tekhn. un-ta, 2011. № 1. — S. 44—56.

© Кокодеева Н. Е., Талалай В. В., Кочетков А. В.,
Аржанухина С. П., Янковский Л. В., 2012

*Поступила в редакцию
в июле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Методологические основы оценки технических рисков / Н. Е. Кокодеева, В. В. Талалай, А. В. Кочетков, С. П. Аржанухина, Л. В. Янковский // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 126—134.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.620.09

О. Н. Медведева

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЖПОСЕЛКОВЫХ СИСТЕМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Приводятся результаты технико-экономических исследований межпоселковых систем газораспределения, дано описание программы для компьютера по определению оптимального расположения газораспределительной станции (ГРС), выбору оптимального варианта трассы отводов от межпоселкового газопровода.

Ключевые слова: система газораспределения, оптимизация, газораспределительная станция, газопровод.

This article presents the results of feasibility technical and economic studies inter-settlement gas distribution systems: the description of a computer program for determination of the optimal placement of gas distribution stations (GDS) and the selection of optimal variant of the route branches from an inter-settlement gas pipelines.

Key words: system of gas distribution, optimization, gas-distributing station, gas pipeline.

С каждым годом все очевиднее возрастает роль природного газа в развитии промышленности и энергообеспечении России. Повышение эффективности системы газоснабжения начинается на стадии проектирования, где формируются мероприятия по обеспечению газовым топливом потребителей на всех этапах функционирования системы.

По оптимизации систем газоснабжения выполнено значительное количество работ. Исследования, проведенные в 1960 гг. прошлого века в рассматриваемой области, выполнены преимущественно в технико-технологическом аспекте, технико-экономической части уделено недостаточно внимания. Кроме того, многие работы выполнены в других экономических условиях и не отвечают современной методической базе оценки экономической эффективности газотранспортной системы. Цель работы заключается в решении задачи повышения экономичности снабжения потребителей природным газом, разработке и оптимизации систем газоснабжения населенных пунктов в новых экономических условиях.

Одними из основных вопросов технико-экономического обоснования межпоселковых систем газоснабжения являются: оптимальное размещение ГРС на плане газоснабжаемой территории и выбор оптимальной трассировки межпоселкового газопровода.

Задачу по определению оптимального местоположения станции формулируем следующим образом. ГРС снабжает газом m населенные пункты, расположенные на территории области (административного района) в точках с координатами: $x_1, y_1, \dots, x_i, y_i, \dots, x_m, y_m$. Максимальный часовой расход газа населенными пунктами составляет: $Q_1, \dots, Q_i, \dots, Q_m$. Необходимо определить координаты местоположения газораспределительной станции x, y (рис. 1). В качестве целевой функции задачи примем суммарные приведенные затраты на сооружение и эксплуатацию межпоселковых газопроводов. Оптимальному решению задачи соответствует условие:

$$Z = \sum_{i=1}^m Z_i = \min, \quad (1)$$

где Z_i — приведенные затраты в сооружение и эксплуатацию i -го межпоселкового газопровода, р./год.

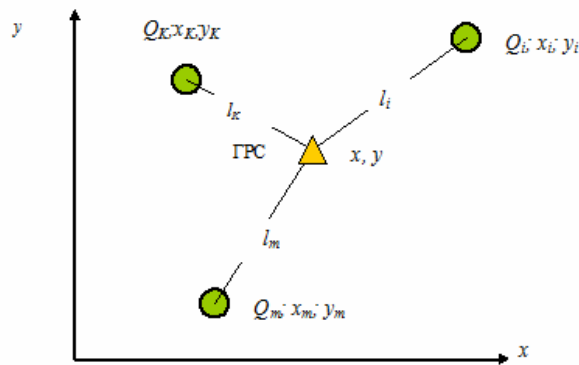


Рис. 1. Расчетная схема задачи

Приведенные затраты по i -му межпоселковому газопроводу можно определить по формуле:

$$Z_i = (a + b d_i) \cdot l_i, \quad (2)$$

где a, b — стоимостные показатели межпоселкового газопровода, р./(км·год) и р./(км·см·год) соответственно; d_i — диаметр i -го межпоселкового газопровода, см; l_i — длина i -го межпоселкового газопровода, км.

Согласно рис. 1:

$$l_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}. \quad (3)$$

Диаметр межпоселкового газопровода определяется зависимостью:

$$d_i = f(Q_{нп,i}, l_i, P_n, P_k), \quad (4)$$

где P_n, P_k — давление газа в начале и в конце межпоселкового газопровода, МПа (абс); $Q_{нп,i}$ — расчетный расход газа i -м населенным пунктом, м³/ч, опре-

деляется в зависимости от численности населенного пункта n_c , средней заселенности квартир S , типа газоиспользующего оборудования.

При выполнении предварительных расчетов средний диаметр межпоселкового газопровода допускается определять по формуле [1]:

$$d_i = \left[\frac{3,36 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{nn,i}^2 \cdot l_i}{P_n^2 - P_k^2} \right]^{0,19} \quad (5)$$

Система уравнений (1—5) формирует технико-экономическую модель задачи. Для нахождения минимума затрат дифференцируем целевую функцию Z по управляющим параметрам x и y и приравниваем к нулю. Решая полученную систему уравнений, находим оптимальные значения управляющих параметров (координаты местоположения ГРС) $x_{opt}; y_{opt}$. Данная задача успешно реализуется на компьютере по разработанной программе [2]. В созданной программе на количество газораспределительных станций нет ограничений, однако имеется возможность учитывать географические условия их расположения (реки, горы, овраги и т. п.), [3].

Еще одной задачей, решаемой при оптимизации межпоселковых систем газораспределения, является выбор оптимального варианта трассы отвода от межпоселкового газопровода. Задача сводится к выявлению такого положения газопровода, при котором суммарная металлоемкость ответвлений к потребителям имеет минимальное значение. Для решения предлагается использовать метод наименьших квадратов, его суть заключается в том, что на генеральном плане газоснабжаемой территории произвольно наносится система координат и на ней фиксируется положение потребителей. Искомая трасса будет характеризоваться оптимальным соотношением между протяженностью газопровода и его средним диаметром, поэтому при выборе оптимального варианта необходимо учитывать не только количество ГРС, но и распределение нагрузок газопотребления. Уравнение, описывающее трассировку головной магистрали межпоселкового газопровода, имеет вид:

$$y_i = A + B \cdot x_i, \quad (6)$$

где y_i — расчетные значения ординат отвода, соответствующие заданным значениям x_i ; A, B — искомые параметры.

Так как изменение положения трассы мало сказывается на изменении ее диаметра и протяженности, в качестве целевой функции задачи примем суммарные приведенные затраты в сооружение и эксплуатацию ответвлений

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i = \sum_{i=1}^n (E \cdot K_i + И_i) = \min, \quad (7)$$

где Z_i — приведенные затраты в сооружение и эксплуатацию i -го ответвления от межпоселкового газопровода, р./год; K_i — капитальные вложения в сооружение i -го ответвления от межпоселкового газопровода, р.; $И_i$ — эксплуатационные расходы, р./год; E — норма дисконта.

Капитальные вложения в сооружение отводов определяются по формуле:

$$K_i = b \cdot d_i \cdot l_i. \quad (8)$$

Эксплуатационные расходы могут быть выражены в виде:

$$И_i = \varphi \cdot K_i + \psi \cdot l_i = \varphi \cdot b \cdot d_i \cdot l_i + \psi \cdot l_i, \quad (9)$$

где φ — годовые отчисления на амортизацию газопроводов, $1/\text{год}$; ψ — стоимость обслуживания 1 м газопровода, р./ $(\text{год} \cdot \text{м})$.

$$З = \sum_{i=1}^n [(E + \varphi) b \cdot d_i \cdot l_i + \psi \cdot l_i] = \sum_{i=1}^n [(E + \varphi) b \cdot (A + B \cdot d_i) \cdot l_i + \psi \cdot l_i]. \quad (10)$$

Диаметр i -го ответвления определяется по рекомендациям [4]:

$$d_i = m^1 \sqrt{\frac{A^* \cdot B^* \cdot \rho_0 \cdot Q_{\text{нп},i}^m}{\Delta P_{\text{уд}}}}, \quad (11)$$

где A^* — коэффициенты, определяемые по [4], в зависимости от категории сети; B^*, m, m^1 — коэффициенты, зависящие от материала газопровода; ρ_0 — плотность газа при нормальных условиях, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\Delta P_{\text{уд}}$ — удельные потери давления, $\text{МПа}/\text{м}$.

После определения диаметра ответвления d_i , принимаем стандартный диаметр $d_i^{\text{ст}}$ из номенклатурного ряда, в зависимости от материала трубы.

Целевая функция задачи представляет собой зависимость вида:

$$З = f(A; B). \quad (12)$$

Для нахождения минимума затрат дифференцируем целевую функцию $З$ по управляющим параметрам A и B и приравняем к нулю:

$$\frac{\partial З}{\partial A} = 0; \quad \frac{\partial З}{\partial B} = 0. \quad (13)$$

В частном случае при $Q_{\text{нп},i} = \text{const}$ и соответственно $d_i = \text{const}$ задача нахождения оптимальной трассировки головной магистрали сводится к минимизации суммарной протяженности ответвлений:

$$S = \sum_{i=1}^n l_i = \min. \quad (14)$$

С учетом линейной зависимости $l_i = f(y_i - y)$ и, принимая положительные значения протяженности ответвлений, можно записать:

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - (A + Bx_i)]^2 = \min. \quad (15)$$

Для определения координат присоединения ответвлений к магистральному газопроводу составим уравнение прямой, перпендикулярной прямой $y = A_{\text{opt}} + B_{\text{opt}} \cdot x$ и проходящей через точку (X'_i, Y'_i) :

$$y_i = \frac{X'_i - x_i}{B} + Y'_i. \quad (16)$$

После преобразований получим:

$$Y''_i = \frac{X'_i - X''_i}{B} + Y'_i. \quad (17)$$

$$X''_i = \frac{X'_i + Y'_i \cdot B - A \cdot B}{1 + B^2}. \quad (18)$$

Длина i -го ответвления определяется по формуле:

$$l_i = \sqrt{(X'_i - X''_i)^2 + (Y'_i - Y''_i)^2}. \quad (19)$$

Зная координаты врезки газопроводов-отводов, проводим гидравлический расчет головной магистрали с целью определения действительных значений начального давления газа на ответвлениях. Падение давления на участке газопровода для сетей высокого давления определяется по формуле:

$$P_n^2 - P_k^2 = \frac{P_0}{81\pi^2} \cdot \lambda \frac{Q_{\text{нп}}^2}{d_{\text{уч}}^5} \rho_0 \cdot l, \quad (20)$$

где P_0 — атмосферное давление, МПа; λ — коэффициент гидравлического трения; $d_{\text{уч}}$ — внутренний диаметр газопровода, см; l — расчетная длина газопровода, м.

Диаметры участков головного газопровода $d_{\text{уч}}$ определяются по формуле (11), после чего из номенклатурного ряда принимается стандартный диаметр $d_{\text{уч}}^{\text{ст}}$. Расчетная длина участка определяется по формуле:

$$l_i = \sqrt{(X''_{i+1} - X''_i)^2 + (Y''_{i+1} - Y''_i)^2}, \quad (21)$$

где X''_i, Y''_i — координаты врезки i -го ответвления; X''_{i+1}, Y''_{i+1} — координаты врезки $(i+1)$ -го ответвления.

Конечное давление на участке выражается из уравнения (20). После определения действительных значений начального давления на ответвлениях производим пересчет диаметров ответвлений. Если они отличаются от предварительно определенных диаметров, то расчеты повторяем. Для упрощения многократно повторяющихся расчетов была составлена программа [5]. В разработанной программе исходными данными являются: количество сел, их координаты, расход газа, давления на выходе из ГРС, удельные капитальные вложения, норма дисконта, годовые отчисления на амортизацию. Определяемыми параметрами являются длины отводов, значения начальных и конечных давлений на участках межпоселкового газопровода, значения начальных и конечных давлений на газопроводах-отводах от межпоселкового газопровода,

капитальные вложения в строительство системы и приведенные затраты. В результате выполнения программы выводится итоговое уравнение оптимальной трассировки межпоселкового газопровода в виде:

$$y = A_{\text{opt}} + B_{\text{opt}} \cdot x.$$

В целях численной реализации экономико-математической модели задачи (1—5) приведем пример расчета по определению оптимальной централизации межпоселковых систем газораспределения (табл.).

Исходные данные для расчета

Номер населенного пункта	Координата, X_i , км	Координата, Y_i , км	Количество газоснабжаемых жителей	Количество газифицируемых квартир
1	5	10	2600	650
2	2,5	7	1200	300
3	0,5	12,5	300	80
4	4	5	750	210

В расчетах использовались следующие исходные данные: прокладка межпоселковых газопроводов подземная; коэффициент заселенности квартир $S = 3,0$ чел/кв; объекты газоснабжения — жилые здания усадебного типа; газовое оборудование квартир: в 50 % домов установлены газовые плиты и двухконтурные котлы, в 50 % домов — газовые плиты и отопительные котлы; точность нахождения станции — 0,1 км. Графические результаты представлены на рис. 2.

В результате расчета с помощью программы компьютера [2] были получены значения оптимальных координат местоположения ГРС:

$$x_{\text{opt}} = 3,1; y_{\text{opt}} = 7,8.$$

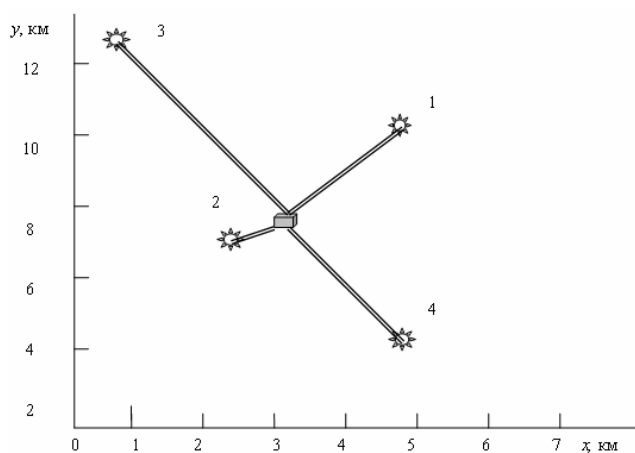


Рис. 2. К выбору оптимального местоположения ГРС: — населенный пункт; — газораспределительная станция; — газопровод-отвод

Сравнительный анализ предлагаемой методики определения оптимального местоположения газораспределительной станции с реальными проектами показывает снижение годовых приведенных затрат в систему газораспределения на 15 и более процентов. Отличительной особенностью разработанной экономико-математической модели является обобщенная постановка задачи в рамках технологического комплекса: сети высокого давления — газорегуляторные пункты, сети низкого давления — потребитель. Как показывают конкретные расчеты, на величину годовых приведенных затрат определяющее влияние оказывают характер застройки населенного пункта, плотность населения газоснабжаемой территории, технические характеристики газовых приборов.

Для практической реализации экономико-математической модели (6—23) были проведены соответствующие расчеты. В качестве примера рассматривалось газоснабжение 11 населенных пунктов. Результаты расчетов представлены на рис. 3.



Рис. 3. Оптимальная трассировка межпоселкового газопровода

Конкретные расчеты показывают, что реализация предложенной математической модели (6—23) существенно улучшает структуру межпоселковых систем газораспределения и обеспечивает снижение годовых приведенных затрат в размере 8—10,5 %, при снижении капитальных вложений до 15,2 %.

Таким образом, предлагаемые рекомендации не только облегчают решение задачи по выбору оптимальных параметров межпоселковых систем газоснабжения, но и позволяют проводить сравнительный анализ систем газоснабжения при различных вариантах расположения населенных пунктов, газораспределительных станций и газопроводов-отводов. Внедрение результатов исследований в инженерную практику будет способствовать повышению качества проектных разработок, снижению расхода материальных и денежных ресурсов по сооружению и эксплуатации межпоселковых систем газораспределения [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Торчинский Я. М.* Оптимизация проектируемых и эксплуатируемых газораспределительных систем. — Л. : Недра, 1988. — 239 с.
2. Заявка 2009615740. Российская Федерация. Программа определения оптимального местоположения газораспределительной станции/ О. Н. Медведева, Д. С. Костриков. Свидетельство № 2009616985; заявл. 16.10.2009, зарегистрирована в реестре программ для ЭВМ 16.12.2009.
3. *Медведева О. Н., Павлов С. П.* Оптимальное размещение объекта распределения // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: сб. науч. трудов. — Саратов: СГТУ, 2007. — С. 110—112.
4. СП 42-101—2003. Свод правил по проектированию. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. — М. : Полимергаз, 2003. — 163 с.
5. *Медведева О. Н., Журавлев М. В.* Выбор оптимальной трассировки межпоселкового газопровода // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения: Сб. научн. трудов. — Саратов: СГТУ, 2008. — С. 65—71.
6. СТО 03321549-014—2011. Оптимизация параметров межпоселковых систем газоснабжения на базе природного и сжиженного углеводородного газа / Б. Н. Курицын, О. Н. Медведева. — Саратов: ОАО Гипрониигаз, 2011. — 17 с.
1. *Torchinski Ya. M.* Optimizatsiya proektiruyemykh i ekspluatiruyemykh gazoraspredelel'nykh system. — L. : Nedra, 1988. — 239 s.
2. Zayavka 2009615740. Rossiyskaya Federatsiya. Programma opredeleniya optimalnogo mestopolozheniya gazoraspredelel'noi stantsii/ O. N. Medvedeva, D. S. Kostrikov. Svidetel'stvo № 2009616985; zayavl. 16.10.2009, zaregistrirvana v reestre programm dlya EVM 16.12.2009.
3. *Medvedeva O. N., Pavlov S. P.* Optimalnoe razmeshcheniye obekta raspredeleniya // Problemy prochnosti elementov konstruktsii pod deistviem nagruzok i rabochikh sred: sb. nauch. trudov. — Saratov: SGTU, 2007. — S. 110—112.
4. SP 42-101—2003. Svod pravil po proektirovaniyu. Obshchiye polozheniya po proektirovaniyu i stroitel'stvu gazoraspredelel'nykh system iz metallicheskih i polietilenovykh trub. — M. : Polimergaz, 2003. 163 s.
5. *Medvedeva O. N., Zhuravlev M. V.* Vybora optimalnoy trassirovki mezhposelkovogo gazoprovoda // Nauchno-tekhnicheskiye problemy sovershenstvovaniya i razvitiya system gazoenergostonabzheniya: Sb. nauch. trudov. — Saratov: SGTU, 2008. — S. 65—71.
6. SТО 03321549-014—2011. Optimizatsiya parametrov mezhposelkovykh system gazostonabzheniya na baze prirodnogo i szhizhennogo uglevodorodnogo gaza/ B. N. Kuritsyn, O. N. Medvedeva. — Saratov: OAO Giproniigaz, 2011. — 17 s.

© *Медведева О. Н.*, 2012

*Поступила в редакцию
в мае 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Медведева О. Н. Моделирование и оптимизация межпоселковых систем газораспределения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 135—142.

УДК 621.311.22.504

М. С. Иваницкий, А. Д. Грига, В. М. Фокин, С. А. Грига

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БЕНЗАПИРЕНА ПРИ СЖИГАНИИ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Посвящена методам определения концентрации бензапирена при сжигании углеводородного топлива в энергетических установках систем теплоснабжения. Для определения концентрации бензапирена на выходе из топки котла предложена математическая модель, полученная с использованием теории планирования эксперимента.

К л ю ч е в ы е с л о в а: бензапирен, эмиссия, теплоснабжение, регрессия.

The article is devoted to determination of benzapylene concentration while burning hydrocarbon fuel in power systems of heat supply systems. For determination of benzapylene concentration as it leaves boiler furnace the mathematical model received with the use of experimental design theory is given.

К е у w o r d s: benzapylene, emission, heat supply, regression.

Признано, что выбросы бензапирена (эмиссия) в воздушный бассейн городской застройки при работе энергетического оборудования оказывает чрезвычайно вредное воздействие на природу и человека. Бензапирен — активный и сильный канцероген, усиливает свое отрицательное воздействие при наличии оксидов серы и азота.

Концентрацию бензапирена в продуктах сгорания при работе котельных установок систем теплоснабжения необходимо определять оперативно, малозатратными методами и с высокой степенью точности. Все перечисленное представляет собой актуальную, сложную научную и практическую задачу.

В настоящее время существуют инструментальные методы определения концентрации бензапирена в уходящих газах котельных установок [1—7], расчетные методики, например, [8]; математические модели, в основе которых приняты уравнения регрессий.

При хроматографических методах определения бензапирена используются различные вещества по химической структуре и молекулярным массам. Несомненным преимуществом этих методов является способность определять по результатам одного анализа 10 и более компонентов смеси. Их развитие идет по пути перехода от колоночной адсорбционной (КАХ), тонкослойной (ТСХ) и бумажной (БХ) хроматографии к инструментальным методам, наиболее важными из которых стали газожидкостная (ГЖХ) и высокоэффективная жидкостная (ВЭЖХ) хроматографии.

Методы КАХ, ТСХ и БХ чаще всего используются как средство предварительного выделения фракции бенз(а)пирена из многокомпонентной смеси. Дальнейшее совершенствование инструментальных методов связано с переходом от высоких температур в аналитической части приборов к почти комнатным, от жестких методов воздействия во время анализа пробы к более мягким, а также с улучшением селективности разделения компонентов сложной смеси и повышением чувствительности.

На современном уровне методы ГЖХ и газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХМС) не удовлетворяют требованиям мягкости воздействия на анализируемое вещество, так как температура в аналитической части приборов может достигать 533...633 К для ГЖХ и 723 К для ГХМС. При этом возникает реальная возможность термического разложения, катализа и других превращений компонентов смеси. К недостаткам этих методов можно отнести ряд технических и методических сложностей, снижающих достоверность и воспроизводимость анализа. Наиболее мягким по воздействию на вещество является метод ВЭЖХ, где разделение происходит при комнатной температуре, а чувствительность зависит от применяемой системы детектирования.

Спектрофотометрическое детектирование для бензапирена обеспечивает чувствительность на уровне 10^{-5} ... 10^{-6} г/мл, а флуоресцентное детектирование позволяет достигнуть 10^{-9} г/мл [1]. Однако применяемые флуоресцентные детекторы пока отличаются небольшой селективностью. Совершенствование систем детектирования и другого инструментального обеспечения в будущем позволит проводить высокоэффективный анализ бензапирена в многокомпонентных смесях.

В настоящее время наиболее широкое распространение нашли спектральные методы, основанные на специфической способности молекул бензапирена люминесцировать, причем у разных по структуре молекул проявляется различный характер спектров. Наиболее эффективными в этом случае становятся методы, основанные на замораживании пробы до температуры жидкого азота (77 К) и даже гелия (4 К). При этом относительно широкие полосы спектра, наблюдаемые при комнатной температуре, распадаются на группы очень узких полос. Это явление было открыто Э. В. Шпольским и названо квазилинейчатыми спектрами флуоресценции [2, 3]. Структурный характер таких спектров и их абсолютная индивидуальность обеспечивают надежную идентификацию бензапирена. В экспериментальной практике этот метод был впервые применен П. П. Дикуном [4], а затем широко использовался для количественного определения содержания бензапирена в экстрактах проб, взятых из отработанных газов промышленных и транспортных энергетических установок. Применительно к определению содержания бензапирена, молекулы которого имеют ярко выраженный и интенсивный спектр флуоресценции, этот метод обладает особыми преимуществами. Часто не требуется предварительной подготовки экстракта пробы, заключающегося во фракционировании по группам ПАУ, например, с помощью ТСХ. Кроме того, реализация способа возможна с помощью отечественных спектрометров типа ДФС—24, обеспечивающих чувствительность анализа до 10^{-10} г/мл [5].

На основе вышеуказанного можно сделать вывод, что существующие инструментальные методы количественного анализа позволяют с достаточно высокой точностью (12...16 % при доверительной вероятности 0,95 [1, 6, 7]) определять содержание микродоз бензапирена в экстракте проб. В то же время несовершенство методов отбора проб значительно снижает достоверность определения содержания бензапирена в продуктах сгорания.

Рассмотрим методы для определения концентрации бензапирена на основе функциональных связей технологических параметров, характеризующих

сжигание топлива. В отношении снижения выбросов бензапирена в воздушный бассейн городской застройки накоплено мало опыта. Вероятно, что только при комплексном подходе и комбинации нескольких методов можно будет существенно уменьшить эмиссию бензапирена. Можно отметить, что определяющие режимные факторы самым различным образом влияют на выбросы бензапирена, например, такие параметры, как коэффициент избытка воздуха и паропроизводительность котла.

Для нахождения взаимосвязи между этими определяющими факторами, описания сложной, нелинейной функции концентрации бензапирена от коэффициента избытка воздуха и паропроизводительности можно использовать положение теории планирование эксперимента (ТПЭ), в частности ортогональный композиционный план (ОЦКП).

Экологическую безопасность окружающей среды можно обеспечить, если определить оптимальные значения режимных параметров коэффициента избытка воздуха и паропроизводительности при наладке топочного режима котельной установки системы теплоснабжения на минимальную концентрацию бензапирена. Эту задачу можно решить с помощью положений ТПЭ.

Методика расчетного определения бензапирена в уходящих газах котельных установок [8] основана на обобщении большого количества опытных данных. Погрешность данной методики составляет около 20 %; температура газов рециркуляции ограничивается значениями 280...350 °С.

Концентрация бензапирена в сухих дымовых газах котлов при сжигании мазута $C_{Б(a)П}^M$ и природного газа $C_{Б(a)П}^Г$, приведенная к избытку воздуха в газах $\alpha = 1,4$, рассчитывается по формулам:

$$C_{Б(a)П}^M = \frac{q_{ЛГ}^{-0,53} (0,232 + 0,606 \cdot 10^{-3} \cdot q_V)}{e^{-25(\alpha-1)}} \cdot \prod_{i=1}^N K_i; \quad (1)$$

$$C_{Б(a)П}^Г = \frac{q_{ЛГ}^{-1,26} (0,0536 + 0,163 \cdot 10^{-3} \cdot q_V)}{e^{-25(\alpha-1)}} \cdot \prod_{i=1}^N K_i, \quad (2)$$

где $q_{ЛГ}$ — теплонапряжение поверхности зоны активного горения, МВт/м²; q_V — теплонапряжение топочного объема, кВт/м³ (проектная величина); α — коэффициент избытка воздуха в дымовых газах на выходе из топки; $\prod_{i=1}^N K_i = K_P \cdot K_D \cdot K_{СТ} \cdot K_{ПЛ} \cdot K_{ОЧ}$ — произведение коэффициентов для учета

влияния рециркуляции, нагрузки котла, ступенчатого сжигания топлива, подачи влаги, условий очистки конвективных поверхностей нагрева [8].

Анализ формул (1) и (2) показывает, что концентрация бензапирена в дымовых газах котлов линейно зависит от D и экспоненциально от α .

Исходя из вышеизложенного, сформулирована задача: обеспечить точность определения концентрации бензапирена и при этом снизить трудоемкость процесса.

Для описания сложной, нелинейной функции можно использовать ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП):

$$C_{B(a)П} = b_0 + \sum b_i \cdot X_i + \sum b_{ik} \cdot X_i \cdot X_k + \sum b_{ii} \cdot X_i^2. \quad (3)$$

Из условия ортогональности матрицы планирования значение звездного плеча при двух факторах ($n = 2$) D и α равно единице. В табл.1 представлена матрица ортогонального ЦКП при $n = 2$.

Т а б л и ц а 1

Система опытов	Номер опыта j	X_1	X_2	$X_1 \cdot X_2$	X_1^*	X_2^*	$C_{B(a)П}$, мкг/м ³
Полный факторный эксперимент	1	-1	-1	1	0,33	0,33	0,3376
	2	+1	-1	-1	0,33	0,33	0,1276
	3	-1	+1	-1	0,33	0,33	0,0586
	4	+1	+1	1	0,33	0,33	0,0244
Опыт в «звездных» точках	5	0	0	0	-0,67	-0,67	0,1029
	6	+1	0	0	0,33	-0,67	0,0536
	7	-1	0	0	0,33	-0,67	0,1595
	8	0	+1	0	-0,67	0,33	0,0378
Опыт в центре плана	9	0	-1	0	-0,67	0,33	0,2180

Число опытов факторного эксперимента $N = 9$.

$$X_1 = \frac{\alpha - 1,04}{0,04}, X_2 = \frac{D - 315}{105},$$

X_1, X_2 — кодированные значения факторов.

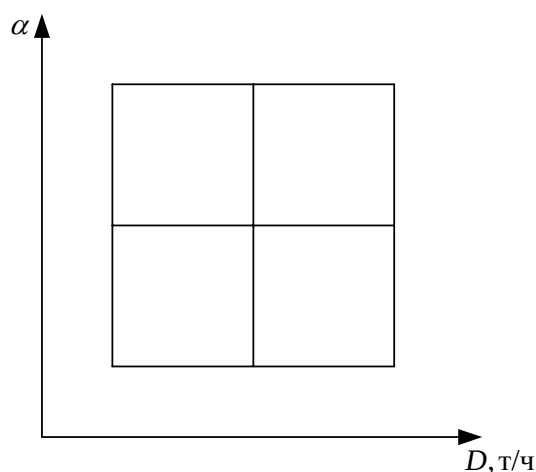


Рис. 1. Схема численного эксперимента

Коэффициенты регрессии определяются по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N C_{B(a)\Pi_j} - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n b_{ii} \cdot \sum_{j=1}^N X_{ij}^2; \quad (4)$$

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N X_{ji} \cdot C_{B(a)\Pi_j}}{\sum_{j=1}^N X_{ji}^2}; \quad (5)$$

$$b_{ii} = \frac{\sum_{j=1}^N X_{ji}^* \cdot C_{B(a)\Pi_j}}{\sum_{j=1}^N X_{ji}^{*2}}; \quad (6)$$

$$b_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N X_{ji} \cdot X_{jk} \cdot C_{B(a)\Pi_j}}{\sum_{j=1}^N X_{ji}^2 \cdot X_{jk}^2} \quad (i \neq k). \quad (7)$$

Значения концентрации $C_{B(a)\Pi}$, мкг/м³, для матрицы ОЦКП получены вариацией факторов $\alpha = 1, 0 \dots 1, 08$ и $D = 210 \dots 420$ т/ч. Схема численного эксперимента представлена на рис. 1.

Величины коэффициентов регрессии получены по формулам (4—7):

$$b_0 = 0,1031; \quad b_1 = -0,0583; \quad b_2 = -0,0937; \quad b_{12} = 0,0439; \quad b_{11} = 0,0053; \quad b_{22} = 0,0267.$$

$$C_{B(a)\Pi} = 0,1031 - 0,0583 \cdot \left(\frac{\alpha - 1,04}{0,04} \right) - 0,0937 \cdot \left(\frac{D - 315}{105} \right) + 0,0439 \cdot \left(\frac{\alpha - 1,04}{0,04} \right) \times \left(\frac{D - 315}{105} \right) + 0,0053 \cdot \left(\frac{\alpha - 1,04}{0,04} \right)^2 + 0,0267 \cdot \left(\frac{D - 315}{105} \right)^2. \quad (8)$$

Оценки дисперсий, с которыми вычислены коэффициенты регрессии определены по формулам:

$$S_{b_0}^2 = \frac{S_{C_{B(a)\Pi}}^2}{N} + \frac{n \cdot S_{b_{ii}}^2}{N} \cdot \sum_{j=1}^N X_{ji}^2; \quad S_{b_i}^2 = \frac{S_{C_{B(a)\Pi}}^2}{\sum_{j=1}^N X_{ji}^2} \quad (i \neq 0); \quad (9)$$

$$S_{b_{ik}}^2 = \frac{S_{C_{B(a)\Pi}}^2}{\sum_{j=1}^N X_{ji}^2 \cdot X_{jk}^2} \quad (i \neq k); \quad S_{b_{ii}}^2 = \frac{S_{C_{B(a)\Pi}}^2}{\sum_{j=1}^N X_{ji}^{*2}}. \quad (10)$$

Значимость коэффициентов регрессии оценена с помощью коэффициента Стьюдента $t|b_i| > t \cdot S_{b_i}$. Адекватность уравнения регрессии проверена с помощью критерия Фишера $F_{\mathcal{F}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{C_{B(a)П}}^2}$, где $S_{\text{ад}}^2$ — оценка дисперсии адекватности $S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (C_{B(a)П}^{\mathcal{F}} - C_{B(a)П}^P)^2}{f_{\text{ад}}}$.

$C_{B(a)П}^{\mathcal{F}}$ — подсчитаны по формуле (1); $C_{B(a)П}^P$ определены по формуле (8).

Т а б л и ц а 2

Данные $C_{B(a)П}^{\mathcal{F}}$ и $C_{B(a)П}^P$

№ $C_{B(a)П}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_{B(a)П}^{\mathcal{F}}$	0,3376	0,1276	0,0586	0,0244	0,1029	0,0536	0,1595	0,0378	0,2080
$C_{B(a)П}^P$	0,3310	0,1266	0,0558	0,0270	0,1084	0,0501	0,1667	0,0414	0,1937
$\Delta, \%$	2,0	0,8	4,8	9,6	5,0	4,9	4,3	8,7	6,9

Если принять уровень значимости $\alpha = 0,05$ (вероятность $P = 0,95$), то коэффициенты регрессии $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{22}$ — значимые, b_{11} — незначимый. Число степеней свободы $f_{\text{ад}} = N - (n + 1) = 3$, здесь $(n + 1)$ — число коэффициентов в уравнении регрессии (8).

На основании данных табл. 1 получаем $S_{\text{ад}}^2 = 0,016$; $S_{C_{B(a)П}}^2 = 0,027$.

Критерий Фишера $F_{\mathcal{F}} = 0,5$; критерий Фишера $F_T|_{f_{\text{ад}}}^f = 3,47$ (для уровня значимости $\alpha = 0,05$).

Так как $F_{\mathcal{F}} < F_T$, уравнение регрессии адекватно отражает зависимость концентрации бензапирена от α и D :

$$C_{B(a)П} = 0,1031 - 0,0583 \cdot \left(\frac{\alpha - 1,04}{0,04} \right) - 0,0937 \cdot \left(\frac{D - 315}{105} \right) + 0,0439 \cdot \left(\frac{\alpha - 1,04}{0,04} \right) \times \left(\frac{D - 315}{105} \right) + 0,0276 \cdot \left(\frac{D - 315}{105} \right)^2. \quad (11)$$

Уравнение (11) позволяет оперативно оценивать эмиссию бензапирена. Практическая значимость заключается в том, что для любых режимов работы котельного оборудования (α и D) можно легко определить эмиссию бензапирена.

Уравнение (11) получено на основе данных [8]. Использование ТПЭ, как известно, дает возможность повысить точность определения, в данном случае, концентрации бензапирена.

Положительная сторона изложенного подхода заключается в том, что в перспективе уравнение (11) можно уточнить на базе новых опытных данных.

Для примера на рис. 2 и 3 приведены зависимости концентрации бензапирена от коэффициента избытка воздуха и паропроизводительности котельной установки, полученные на основании уравнения (11).

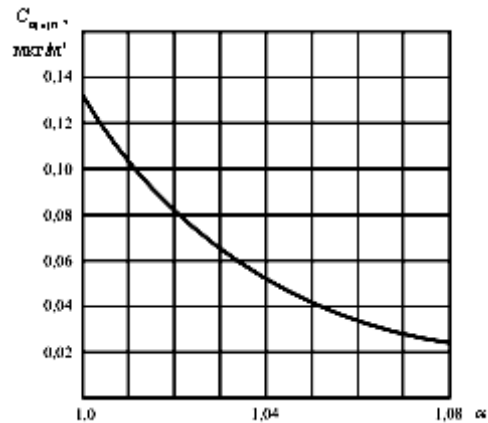


Рис. 2. Зависимость концентрации бензапирена от коэффициента избытка воздуха α при $D = 420$ т/ч

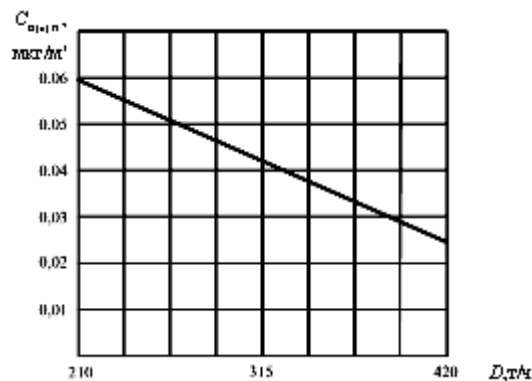


Рис. 3. Зависимость концентрации бензапирена от паропроизводительности котельной установки D при $\alpha = 1,08$

Выводы.

1. В процессе оптимизации топочного процесса котельной установки системы теплоснабжения, направленного на минимальную эмиссию бензапирена, предложена и проверена на адекватность результатов методология получения функциональной зависимости, которая позволяет определить благоприятное сочетание режимных параметров котла, а именно: коэффициента избытка воздуха и паропроизводительности.

2. Для снижения вредной нагрузки на воздушный бассейн городской застройки, связанной с эмиссией бензапирена при уменьшении паропроизводительности котла, рекомендуется увеличивать значение коэффициента избытка воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Теплицкая Т. А.* Методы количественного анализа ПАУ для фоновой мониторинга загрязняющих веществ // Проблемы фоновой мониторинга состояния природной среды. 1986. Вып. 4. — С. 257—262.
2. *Шпольский Э. В.* Линейные спектры флуоресценции органических соединений и их применение // Успехи физических наук. 1960. Т. 71. Вып. 2. — С. 215—241.
3. *Шпольский Э. В.* Новые данные о природе квазилинейчатых спектров органических соединений // Успехи физических наук. 1963. Т. 80. Вып. 2. — С. 225—279.
4. *Дикун П. П.* Исследование тонкой структуры спектра флуоресценции 3,4-бензпирена для повышения степени достоверности его определения // Вопросы онкологии. 1959. Т. 5. № 12. — С. 672—677.
5. *Ивлиев А. В., Розно В. Г.* Применение спектрально-флуоресцентного метода количественного определения эмиссии бензапирена // Горение в потоке. — Казань: КАИ, 1982. — С. 65—68.
6. *Ахмедов Р. Б., Цирульников Л. М.* Технология сжигания горючих газов и жидкого топлива. — Л.: Недра, 1984. — 283 с.
7. *Теплицкая Т. А.* Квазилинейчатые спектры люминесценции как метод исследования сложных природных органических смесей. — М.: МГУ, 1971. — 78 с.
8. Методика расчета выбросов бензапирена в атмосферу паровыми котлами электростанций. РД 153—34.1-02.316—2003.
1. *Teplitskaya T. A.* Metody kolichestvennogo analiza PAU dlya fonovogo monitoringa zagryaznyayushchikh veshchestv // Problemy fonovogo monitoringa sostoyaniya prirodnoy sredy. 1986. Vyp. 4. — S. 257—262.
2. *Shpolskiy E. V.* Lineynye spektry fluorestsentsii organicheskikh soedineniy i ih primeneniye // Uspekhi fizicheskikh nauk. 1960. T. 71. Vyp. 2. — S. 215—241.
3. *Shpolskiy E. V.* Novye dannye o prirode kvazilineichatykh spektrov organicheskikh soedineniy // Uspekhi fizicheskikh nauk. 1963. T. 80. Vyp. 2. — S. 225. — 279.
4. *Dikun P. P.* Issledovaniye tonkoy struktury spectra fluorestsentsii 3,4-benzapirena dlya povysheniya stepeni dostovernosti ego opredeleniya // Voprosi onkologii. 1959. T. 5. № 12. — S. 672—677.
5. *Ivliev A. V. Rozno V. G.* Primeneniye spektralno-fluorestsennogo metoda kolichestvennogo opredeleniya emissii benzapirena // Gorenije v potoke. — Kazan: KAI, 1982. — S. 65—68.
6. *Akhmedov R. B., Tsurulnikov L. M.* Tekhnologiya szhiganiya goruchikh gazov i zhidkiogo topliva. — L.: Nedra, 1984. — 283 s.
7. *Teplitskaya T. A.* Kvazilineychatye spektry luministsentsii kak metod issledovaniya slozhnykh prirodnykh organicheskikh smesey. — M.: MGU, 1971. — 78 s.
8. Metodika rascheta benzapirena v atmosferu parovymy kotlami elektrostantsiy. RD 153—34.1—02.316—2003.

© *Иваницкий М. С., Грига А. Д., Фокин В. М., Грига С. А., 2012*

*Поступила в редакцию
в мае 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Построение модели для определения концентрации бензапирена при сжигании углеводородного топлива в котельных установках систем теплоснабжения / М. С. Иваницкий, А. Д. Грига, В. М. Фокин, С. А. Грига // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 143—150.

УДК 697.94

В. Г. Диденко, В. В. Пивоваров

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ
В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ГОДА**

Рассматривается способ воздушного охлаждения конденсатора путем подмешивания к наружному воздуху удаляемого воздуха из помещения с более низким теплосодержанием с последующим охлаждением полученной смесью конденсатора с целью увеличения эффективности его охлаждения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: кондиционирование, воздушный конденсатор, энергосбережение, эффективность работы.

In article the way of air cooling of the condenser by mixing to external air of deleted air from a premise with lower temperature consumption with the subsequent cooling of the received mix of the condenser in order to increase efficiency of cooling.

K e y w o r d s: conditioning, air condenser, energy saving, work efficiency.

В настоящее время для поддержания необходимых микроклиматических условий внутри помещения для комфортного состояния человека или ведения технологического процесса широко используются системы кондиционирования. Известны системы, в которых для охлаждения конденсатора применяют гидравлическую развязку: насосная станция и холодильная машина с конденсатором жидкостного охлаждения. Такие системы гарантировано могут обеспечить необходимые микроклиматические условия в обслуживаемых помещениях практически в любом диапазоне расчетных параметров наружного воздуха. Однако при этом для них характерна существенная энергоемкость, что в условиях непрерывного роста стоимости энергоносителей требует поиска более эффективных решений [1].

С другой стороны, им противостоят системы кондиционирования с воздушным охлаждением конденсатора, которые намного проще, дешевле, экономичнее в эксплуатации. К сожалению, использование их в районах с жарким климатом приводит к уменьшению эффективности работы компрессорно-конденсаторного блока и, как следствие, к снижению надежности работы и холодопроизводительности системы, которая уже не в состоянии поддерживать оптимальные условия внутри помещения [2].

За последние несколько десятков лет температура наружного воздуха в летний период в России и других странах медленно растет. На рис. 1 изображены аномалии температуры воздуха на Европейской части России за 2010 год. Наибольшие отклонения отмечались в Центральном районе и Поволжье, о чем свидетельствует яркая зона.

При использовании систем кондиционирования воздуха при таких температурах наружного воздуха, которые зачастую выходят за пределы нормальных эксплуатационных характеристик, возникают проблемы надежности работы системы, понижение ее холодопроизводительности, повышения энергопотребления и возможности отключения системы из-за аварийной ситуации.

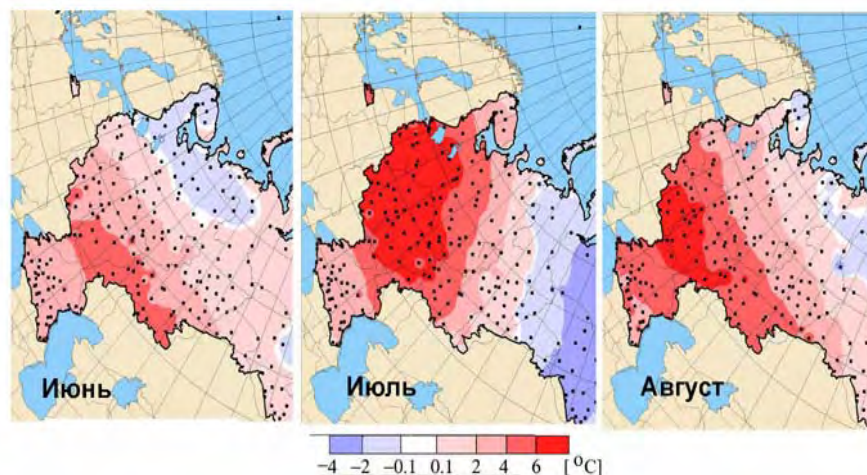


Рис. 1. Среднемесячные аномалии температуры воздуха (от норм 1961—1990 гг.) летом 2010 г. на Европейской территории России

Главная проблема энергоэффективности работы систем кондиционирования воздуха, возникающая при высоких температурах наружного воздуха, заключается в существенном сокращении теплоотдачи конденсатора при расчетном режиме циркуляции жидкого хладагента. Движение жидкого холодильного агента из конденсатора в испаритель холодильной машины происходит естественным путем под действием разности давлений — давления конденсации (высокое давление) и давления испарения (низкое давление) [2]. Давление испарения зависит от температуры кипения, которое определяется конкретными условиями применения холодильной машины. В современных системах кондиционирования воздуха температура кипения обычно находится вблизи или несколько выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. При отрицательных температурах неизбежно вымораживание на поверхности испарителя атмосферной влаги, и возникают связанные с этим проблемы оттаивания.

Давление конденсации зависит от многих факторов:

количества и температуры паров хладагента, поступающих в конденсатор из компрессора;

размеров, конструкции и состояния поверхности конденсатора, степени его заполнения жидким хладагентом, наличия в конденсаторе неконденсируемых газов;

параметров наружного воздуха, скорости и направления ветра, наличия атмосферных осадков;

интенсивности работы вентилятора конденсатора, скорости движения воздуха.

Температура конденсации хладагента всегда выше температуры наружного воздуха. При высоких температурах наружного воздуха давление конденсации высокое и чем выше оно, тем менее экономичен процесс кондиционирования.

Сложная задача создания систем кондиционирования, способных работать в районах с жарким климатом при температурах наружного воздуха выше $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, частично решается применением высокоэффективных конденсаторов и вентиляторов. Разность между температурой наружного воздуха и температурой конденсации в них доведена до экономически обоснованного минимума.

Как известно, коэффициент теплоотдачи в условно неподвижном воздухе равен $4...5 \text{ Вт/м}^2\text{К}$. При интенсивном обдуве воздухом теплопередающих поверхностей он может достигать $30...40 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, то есть быть выше. Именно это обстоятельство положено в основу регулирования давления конденсации. Если давление конденсации растет выше оптимального значения из-за высокой температуры наружного воздуха, следует увеличить эффективность теплопередачи, скорость обдува конденсатора наружным воздухом, повысив частоту вращения вентилятора.

Управление частотой вращения вентилятора может быть осуществлено с помощью специальных контроллеров, которые преобразуют показания датчика давления конденсации в сигнал управления. Поскольку давление конденсации связано с температурой конденсации, то датчиком может служить и температурный датчик. При этом возникают трудности выбора места для его размещения. Рекомендации по установке датчиков и контроллера приводятся в соответствующих инструкциях. Этот способ широко применяется на практике, но не является полным решением проблемы из-за наличия у вентилятора предела вращения. Его значения часто не хватает для отвода необходимого количества теплоты от конденсатора, вследствие чего холодильная машина выключается от перегрева. Также при повышенных оборотах вентилятора увеличивается потребление электроэнергии, что отрицательно сказывается на экономическом и эксплуатационном режиме.

Принципиально иным технологическим решением, пригодным для любой модели компрессорно-конденсаторного агрегата с воздушным охлаждением, является использование удаляемого (вытяжного) воздуха из кондиционируемого помещения с более низким теплосодержанием для подмешивания его к наружному и получение смеси с более низким теплосодержанием для охлаждения конденсатора.

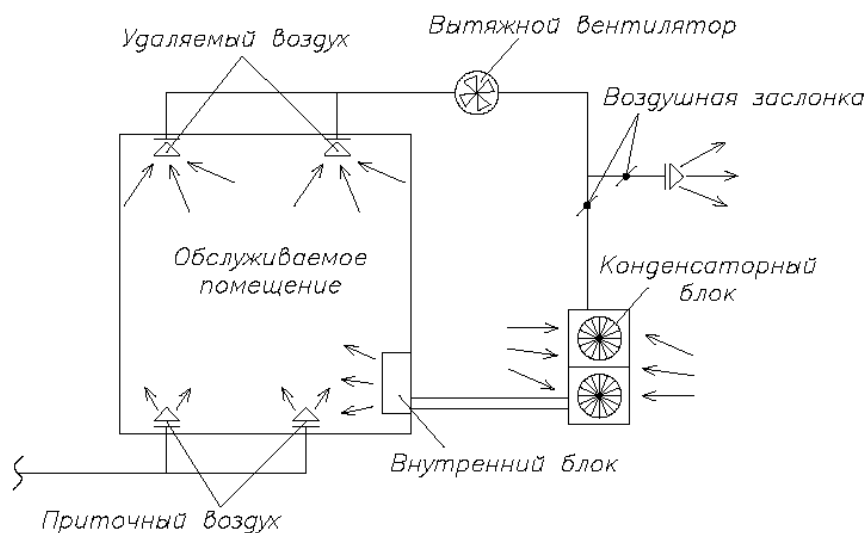


Рис. 2. Принципиальная схема данной технологии

Так, воздух, удаляемый из кондиционируемого помещения в летний период, обычно имеет температуру $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, в то время как работа холодильной машины в пиковом режиме достигается при температуре наружного воздуха около $+42\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше. В зависимости от количественного соотношения смешиваемых объемов воздуха, температура смеси, поступающей для охлаждения конденсатора, может колебаться в пределах от $+32\dots+43\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше. Решение основано на использовании холода удаляемого воздуха, который охлаждает поступающий на конденсатор наружный воздух в летний период. При понижении наружной температуры потребность в усиленном охлаждении наружного блока отпадает, и вытяжной воздух перенаправляют в другой воздухопровод с помощью регулирующих устройств и выбрасывают в атмосферу.

Для реализации данного метода не требуется сложных устройств, достаточно удлинить вытяжной нагнетательный воздухопровод до конденсатора холодильной машины, предварительно это требует проверки вентилятора системы по располагаемому давлению, чтобы оценить возможность преодолеть сопротивление этого участка (если система уже применяется на эксплуатируемом объекте), или принять необходимый запас по давлению (если процесс идет на стадии проектирования). Никакого конструктивного изменения кондиционера не требуется. Реализация рассматриваемого решения будет особенно эффективна на объектах с большим пребыванием людей, где по санитарным нормам необходимо поддерживать постоянный воздухообмен и соответственно при значительном уровне холодопотребления в помещении будет иметь место большой объем охлажденной смеси для охлаждения конденсатора.

При высоких температурах наружного воздуха данное решение является эффективным для повышения надежности работы системы кондиционирования, которая не требует дополнительных энергозатрат и уменьшает энергопотребление вентилятора конденсаторного блока из-за пониженного расхода воздуха, а также отличается простотой в обслуживании при эксплуатации. Является перспективным направлением при использовании альтернативных источников энергии (холода), т. к. использует уже удаляемый воздух из помещения, который при обычном режиме работы просто удаляется в атмосферу, только для этого необходимы соответствующие технологические решения, чтобы более полно и рационально использовать данный вид энергии. Тем не менее, для полного учета всех факторов, определяющих энергоэффективность и экономичность применения систем кондиционирования воздуха с воздушным охлаждением конденсатора холодильной машины необходимо провести анализ закономерностей влияния и взаимосвязи наружных параметров и функционально-эксплуатационных характеристик для различных климатических зон, а также необходимо провести аппаратную оптимизацию схемы подготовки охлаждающей воздушной смеси для конденсатора, минимизирующей конструктивные изменения для уже существующих установок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королева Т. И. Экономическая эффективность энергосберегающих мероприятий в системах отопления и вентиляции. — Пенза : ПГАСА, 1997.
2. Карпис Е. Е. Экономия энергии в системах кондиционирования воздуха и вентиляции зданий. — М. : ВНИИИС, 1980. — 40 с.

1. *Korolyova T. I.* Ekonomicheskaya effektivnost energosberegayushchikh meropriyatiy v sistemakh otopeniya i ventilyatsii. — Penza : PGASA, 1997.
2. *Karpis E. E.* Ekonomiya energii v sistemakh konditsionirovaniya vozdukha i ventilyatsii zdaniy. — М. : VNIIS, 1980. — 40. S.

© Диденко В. Г., Пивоваров В. В., 2012

*Поступила в редакцию
в мае 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Диденко В. Г., Пивоваров В. В. Повышение надежности эксплуатации систем кондиционирования воздуха с воздушным охлаждением в летний период года // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 151—155.

УДК 697.978

П. С. Прокофьев

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ КОМПОНОВКИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОТОРНОГО УТИЛИЗАТОРА ТЕПЛОТЫ

Рассмотрены принципиальные схемы компоновки систем кондиционирования воздуха с аппаратом, позволяющим одновременно нагревать и увлажнять наружный воздух с отрицательной температурой низкопотенциальным теплоносителем.

К л ю ч е в ы е с л о в а: системы кондиционирования воздуха, нагрев, увлажнение, низкопотенциальный теплоноситель, РПУТ (роторный пластинчатый утилизатор теплоты).

The author presents principle diagrams of composition of air conditioning systems with the device which allows both to heat and humidify the outdoor air with freezing temperature by low-potential coolant.

K e y w o r d s: air conditioning systems, heating, humidifying, low-potential coolant, RPHU (rotary plate heat utilizer).

До настоящего времени системы кондиционирования воздуха регулируют, как правило, по методу точки росы.

При регулировании кондиционера по методу точки росы теплота на второй подогрев тратится даже тогда, когда энтальпия наружного воздуха превышает энтальпию приточного воздуха. В летнее время теплота, сообщенная воздуху в воздухонагревателе второго подогрева, поступает в помещение и является дополнительной нагрузкой на холодильную машину. При совпадении параметров наружного воздуха с приточным любая тепловлажностная обработка наружного воздуха нелогична. При регулировании системы кондиционирования воздуха по этому методу воздух круглогодично проходит обработку в камере увлажнения.

Широкое применение столь неэкономичного метода регулирования системы кондиционирования воздуха объясняется тем, что до последнего времени отсутствовали надежные конструкции датчиков относительной влажности или влагосодержания.

В большинстве случаев расходы теплоты, холода и электроэнергии на обработку воздуха можно сократить, изменив порядок обработки воздуха в кондиционере. Проведенные ранее [3] теоретические и экспериментальные исследования, позволили найти оптимальную последовательность обработки воздуха и разработать системы авторегулирования однозональных систем кондиционирования воздуха.

Новый метод регулирования систем кондиционирования воздуха, названный «методом оптимальных режимов», в настоящее время внедряется в гражданское и промышленное строительство.

Известны многие попытки типизации схемных решений кондиционеров, применяемых на практике, и создания типовых технологических схем регулирования систем кондиционирования воздуха.

Г. В. Архипов предложил [1] классификацию схемных решений систем вентиляции, воздушного отопления, кондиционирования воздуха и соответствующих схем авторегулирования.

Б. В. Баркалов [2], рассмотрев применяемые в практике проектирования схемные решения центральных кондиционеров, выбрал 16 из них в качестве типовых и для каждого дал принципиальную технологическую схему регулирования, указав область ее применения.

К. Н. Раттель и Н. Е. Чернов на основе материалов Центрального научно-исследовательского института хлопчатобумажной промышленности ЦНИХ-БИ, Ивановского научно-исследовательского института охраны труда и опыта проектирования предложили типовые схемы авторегулирования кондиционеров с использованием электрических и пневматических приборов завода «Текстильмашприбор».

Классификации различных схемных решений кондиционеров и принципиальных технологических схем регулирования систем кондиционирования воздуха приводятся также в учебниках А. В. Нестеренко, Р. М. Ладыженского, в работах А. А. Гоголина, Н. А. Полтановой, Ю. Н. Хомутецкого [4].

В упомянутых работах системы кондиционирования воздуха классифицированы по конструктивным признакам: наличию первой и второй рециркуляции, обводу форсуночной камеры и калориферов первого и второго подогрева.

Зарубежные фирмы, поставляющие оборудование и автоматику, также классифицируют системы кондиционирования воздуха по конструктивным признакам. Дж. Хейнес рассматривает только системы летнего и зимнего кондиционирования, возможных принципиальных схем регулирования систем круглогодичного кондиционирования «...слишком много, чтобы можно было их описать» [5].

Все схемы равноценны по значимости, нет схем лучше или хуже. Конкретная схема разрабатывается под определенный объект с его условиями и исходными данными. Ниже приведены некоторые возможные принципиальные схемы.

Прямоточная схема без рециркуляции.

При такой схеме (рис. 1) системы кондиционирования воздуха работают без рециркуляции, полностью на наружном воздухе.

Нагревание и одновременное увлажнение наружного воздуха от температуры -28°C (точка Н) по линии $\phi = 100\%$ до точки росы приточного воздуха (точка РПУТ) осуществляется в РПУТ и регулируется с помощью трехходового клапана (Кл1).

В качестве теплоносителя используется раствор этиленгликоля, отбирающий теплоту удаляемого воздуха с помощью поверхностного воздухоохладителя, установленного в вытяжной установке.

По мере повышения энтальпии наружного воздуха (точки H_1 , H_2) трехходовой клапан в контуре РПУТ (Кл1) прикрывается до полного закрытия, когда энтальпия наружного воздуха достигает значения энтальпии точки росы приточного воздуха (точка H_3). В этот момент кондиционер работает в переходном режиме без потребления теплоты и холода, и требуемые параметры воздуха поддерживаются на выходе из РПУТ за счет адиабатного увлажнения воздуха. До точки приточного воздуха (точка В) воздух нагревается в поверхностном воздухонагревателе.

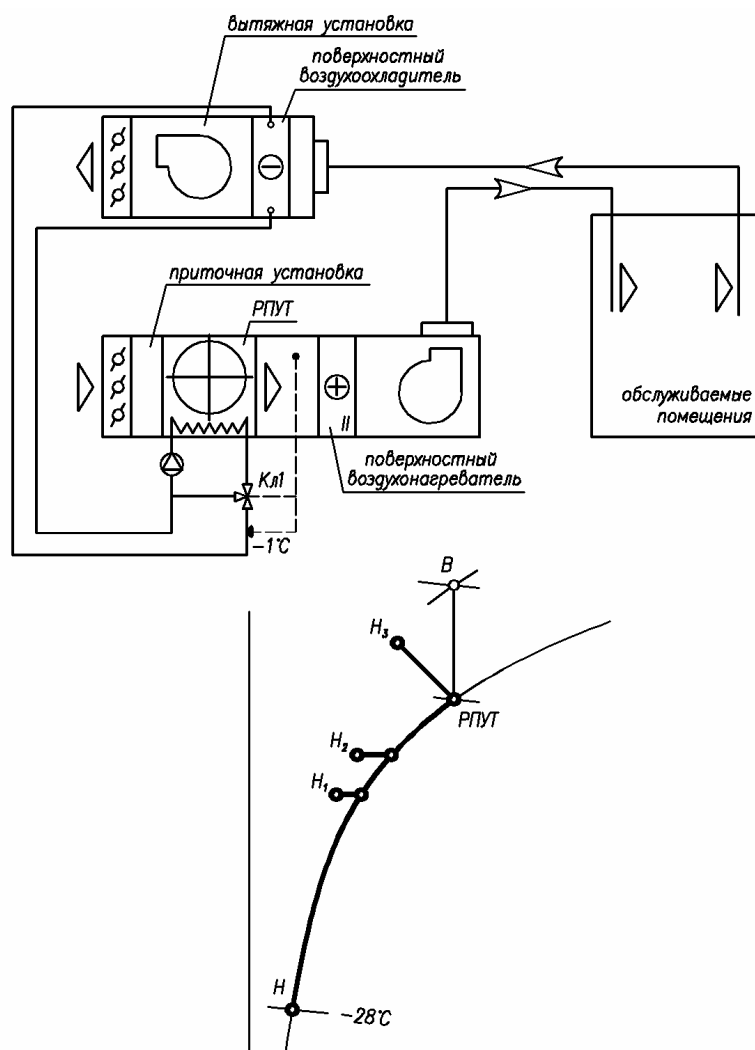


Рис. 1. Прямоточная схема без рециркуляции

Прямоточная схема с использованием предподогрева (утилизатора теплоты с промежуточным теплоносителем). При такой схеме (рис. 2) системы кондиционирования воздуха работают без рециркуляции, полностью на наружном воздухе.

С целью снижения энергопотребления в холодный период года в системе кондиционирования воздуха предусмотрена утилизация теплоты удаляемого воздуха в контуре с промежуточным теплоносителем (45 % раствор этиленгликоля). Для непрерывной работы кондиционера принята температура гликоля от 0 до +4°C, при которой исключается обмерзание теплообменника в потоке удаляемого воздуха и не требуется его оттаивание. Такое решение позволяет нагреть наружный воздух от -28 (точка Н) до -18 °С (точка I п.) при постоянном влагосодержании $d_n = 0,29$ г/кг с.в.

Процесс предварительного нагревания наружного воздуха в контуре утилизации не регулируется, то есть сколько можно нагреть максимально, на

столько и надо, но процесс сопровождается контролем минимальной температуры раствора гликоля $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ с помощью трехходового клапана (Кл 1) для предупреждения обмерзания теплообменника в потоке удаляемого воздуха.

Дальнейшее нагревание и одновременное увлажнение наружного воздуха от температуры $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка I п.) до температуры $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка РПУТ) при $\phi = 100\%$ осуществляется в РПУТ и регулируется с помощью трехходового клапана (Кл 2).

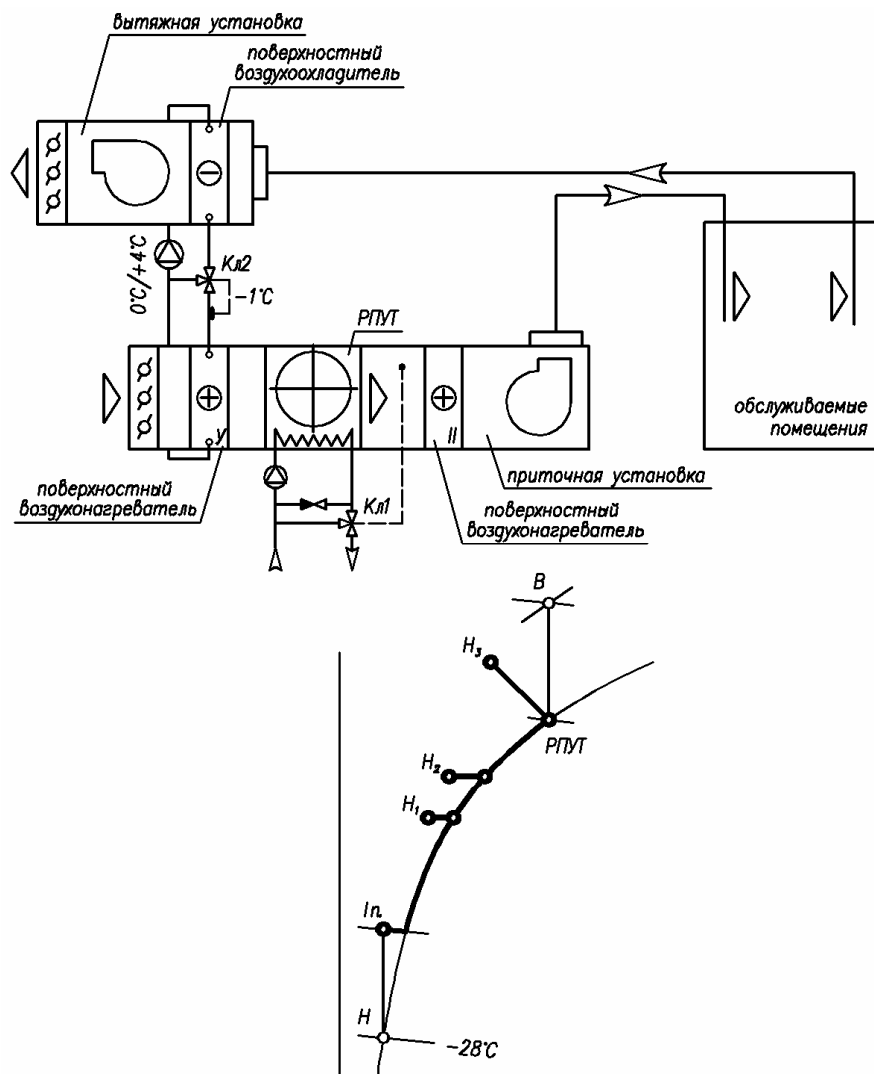


Рис. 2. Прямоточная схема с использованием предподогрева (утилизатора с промежуточным теплоносителем)

Схема с подогревом рециркуляционного воздуха. В расчетный холодный период года кондиционер работает с постоянной рециркуляцией внутреннего воздуха (рис. 3) в количестве 50...60 % по объему соответственно наружного и рециркуляционного воздуха.

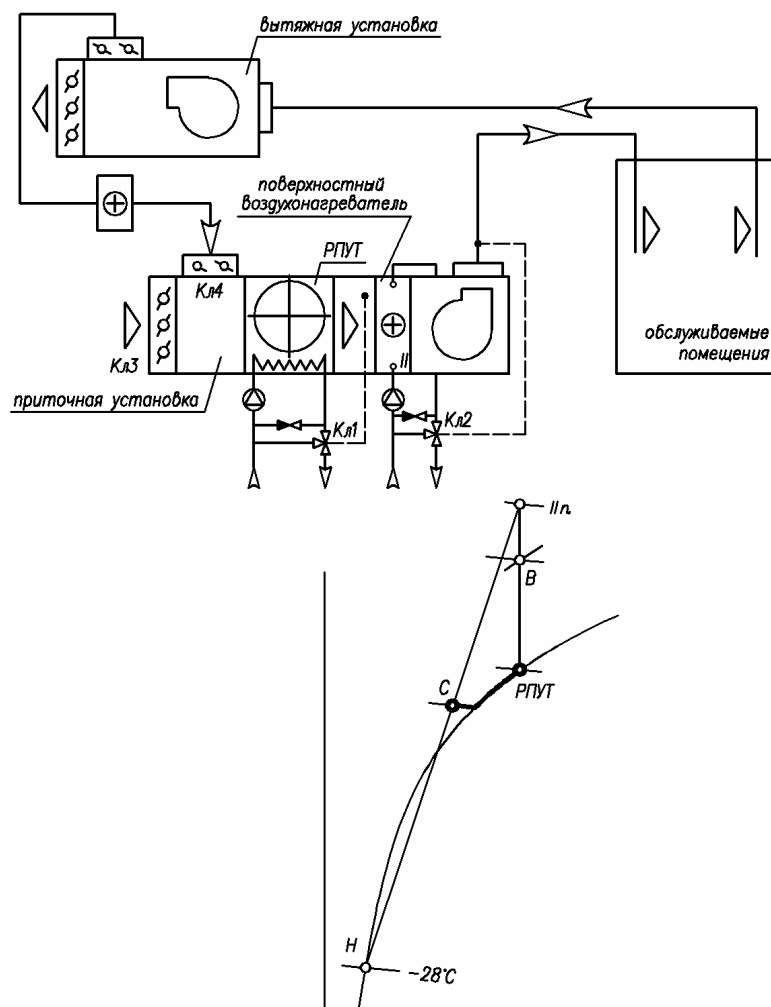


Рис. 3. Схема с подогревом рециркуляционного воздуха

При смешении внутреннего воздуха (точка В) в количестве 50 % с температурой 20 °С и относительной влажностью 50 % с наружным воздухом (точка Н), имеющим температуру в интервале –30 до –20 °С, точка смеси оказывается ниже кривой насыщения и в зоне отрицательных температур. То есть в смесительной секции кондиционера будет происходить конденсация влаги и ее обмерзание на поверхностях кондиционера, что недопустимо. Применения первого подогрева в этом случае нецелесообразно, так как в поверхностном воздушонагревателе надо нагревать воздух не менее, чем до +5 °С из-за опасности его размораживания, но при этом теряется сам смысл рециркуляции. Поэтому для указанного режима целесообразно подогреть на несколько градусов рециркуляционный воздух, чтобы точка смеси ушла в зону положительных температур, причем при таком решении воздушонагреватель полностью защищен от размораживания.

При повышении параметров наружного воздуха точка смеси перемещается вправо-вверх и при температуре наружного воздуха около –15 °С система

кондиционирования воздуха переходит в режим 50 % рециркуляции с помощью воздушного клапана на наружном воздухе (Кл 1) и клапана на рециркуляционном воздухе (Кл 2). Далее положения воздушных клапанов не изменяется и соотношение расходов наружного и рециркуляционного воздуха не меняется.

В интервале температур наружного воздуха от $t_n -30$ до -15 °С в кондиционере поддерживается постоянная температура рециркуляционного воздуха $+32$ °С и воздух с параметрами смеси в точке С поступает в РПУТ, где нагревается и увлажняется до температуры 9 °С и $\phi = 100$ % (точка РПУТ). Поддержание параметров воздуха осуществляется с помощью трехходового клапана на теплоносителе в контуре РПУТ (Кл 3).

При дальнейшем повышении температуры нагрев рециркуляционного воздуха прекращается и смесь нагревается и увлажняется только в РПУТ. Регулирование параметров на выходе из РПУТ по-прежнему осуществляется с помощью трехходового клапана в контуре РПУТ (Кл 3).

Такой режим продолжается до полного закрытия трёхходового клапана в РПУТ (Кл 3) и перехода аппарата в режим адиабатного увлажнения при температуре мокрого термометра смеси $t_m = 9$ °С. При такой температуре кондиционер работает в переходный период без потребления холода и с незначительным потреблением теплоты. Ориентировочно такой режим наступает при температуре наружного воздуха около 8 °С.

Указанная температура не контролируется, так как момент работы в переходном периоде зависит не только от температуры, но и от относительной влажности наружного воздуха. Определяющим параметром является температура мокрого термометра смеси на выходе из РПУТ или температура воды в поддоне РПУТ.

Поддержание температуры внутреннего воздуха обеспечивается с помощью воздушонагревателя второго подогрева и установленного трёхходового клапана (Кл 4). До точки приточного воздуха (точка В) воздух нагревается в поверхностном воздушонагревателе.

Прямоточная схема с обводом наружного воздуха. Данная схема применена для конкретного объекта (концертного зала) для поддержания требуемой относительной влажности воздуха в холодный период года необходимой для органа.

Особенностью задачи является то, что объем приточного воздуха очень большой ($36\,000$ м³/ч), а параметры теплоносителя низкие и не позволяют реализовать традиционную схему: нагрев воздуха до $+37$ °С и адиабатическое увлажнение до $+19$ °С. Для осуществления прямого нагрева и увлажнения воздуха в РПУТ необходимо подать весь наружный воздух в объеме $36\,000$ м³/ч, для чего потребовалось бы установить в кондиционере не менее 6 блоков РПУТ, что не было предусмотрено при заказе кондиционера. Поэтому в проекте пришлось искать нестандартное решение.

В итоге была принята следующая схема обработки воздуха (рис. 4). Наружный воздух в объеме $36\,000$ м³/ч нагревается в воздушонагревателе первого подогрева при постоянном влагосодержании -25 (точка Н) ... $+18$ °С (точка I п.). Нагретый воздух поступает в секцию увлажнения, в которой установлены по ширине кондиционера два блока РПУТ, и над ними оставлен обводной канал.

Часть воздуха, проходящего через РПУТ увлажняется теплой водой по политропе до конечных параметров $t_{\text{РПУТ}} = +23,5^\circ\text{C}$ и $d_{\text{РПУТ}} = 16,9$ г/кг с.в. (точка РПУТ). Количество воздуха, проходящего через РПУТ и обводной канал, определяется из соотношения:

$$G_n \cdot 0,3 + (36000 \cdot 1,2 - G_n) \cdot 16,9 = 36000 \cdot 1,2 \cdot 6,2.$$

Откуда $G_{\text{РПУТ}} = 15350$ кг/ч, $L_{\text{РПУТ}} = 12800$ м³/ч.

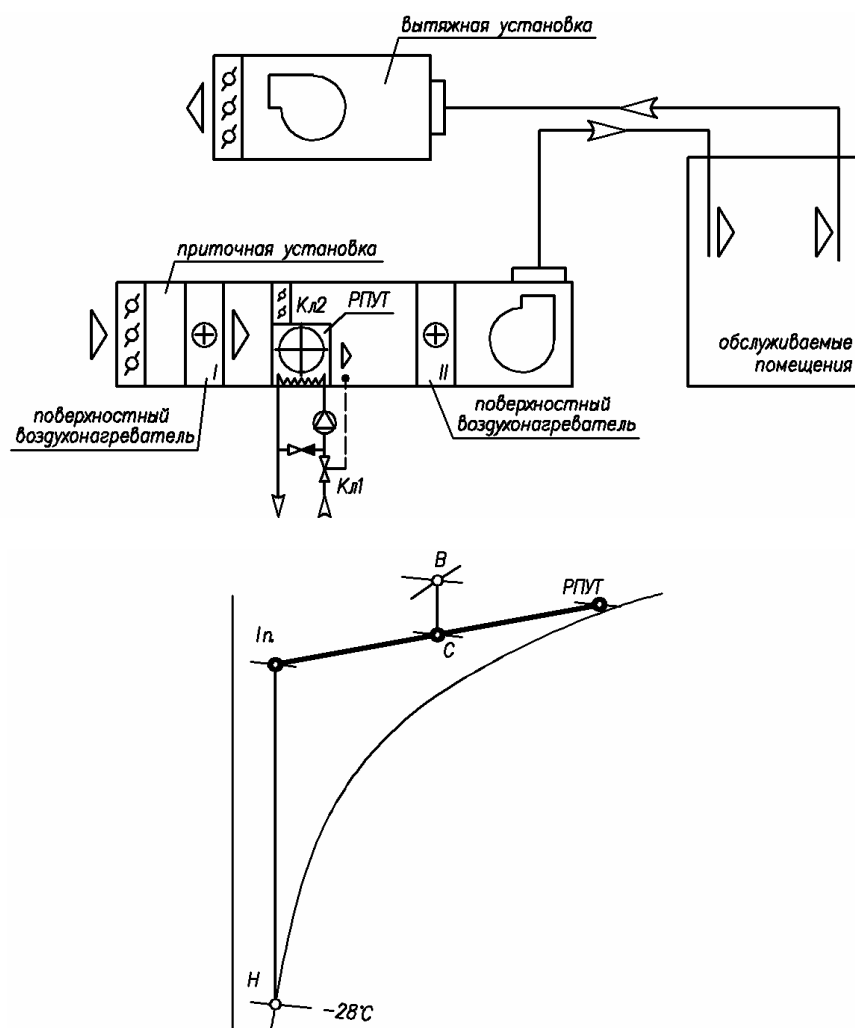


Рис. 4. Прямоточная схема с обводом наружного воздуха

Таким образом, необходимо два блока РПУТ на расход воздуха 12800 м³/ч, то есть по 6400 м³/ч на каждый для нагрева и увлажнения воздуха от начальных параметров $t_1 = 18^\circ\text{C}$ и $d_1 = 0,3$ г/кг с.в. до конечных $t_2 = 23,5^\circ\text{C}$ и $d_2 = 16,9$ г/кг с.в. Процесс обеспечивается теплой водой, подаваемой в змеевиковые теплообменники, встроенные в поддоны РПУТ, с начальной температурой $+40$ и конечной $+30^\circ\text{C}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Архипов Г. В.* Автоматическое регулирование в установках кондиционирования воздуха. — М. : Профиздат, 1962.
2. *Баркалов Б. В.* Данные по проектированию систем кондиционирования воздуха промышленных зданий. Вып. 1—13. — М. : ГПИ Промстройпроект, 1966.
3. *Креслин А. Я.* Автоматическое регулирование систем кондиционирования воздуха. — М., Стройиздат, 1972. — 97 с.
4. *Хомутецкий Ю. Н.* Основные схемы обработки воздуха и автоматического регулирования кондиционеров полиграфических предприятий. «Водоснабжение и санитарная техника». 1962. № 11.
5. *Haines J. E.* Automatic control of heating and air conditioning. N.Y. — L., 1953. (N.Y., McGraw Hill. Book Co., 1956).
1. *Arkhipov G. V.* Avtomaticheskoe regulirovaniye v ustanovkakh konditsionirovaniya vozdukha. — M. : Profizdat, 1962.
2. *Barkalov B. V.* Dannye po proektirovaniyu sistem konditsionirovaniya vozdukha promyshlennykh zdaniy. Vyp. 1—13. — M. : GPI Promstroyproekt, 1966.
3. *Kreslin A. Ya.* Avtomaticheskoe regulirovanie sistem konditsionirovaniya vozdukha. — M. : Stroyizdat, 1972. — 97 s.
4. *Khomutetskiy Yu. N.* Osnovnye skhemy obrabotki vozdukha i avtomaticheskogo regulirovaniya konditsionerov poligraficheskikh predpriyatiy. «Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika». 1962. № 11.
5. *Haines J. E.* Automatic control of heating and air conditioning. N.Y. — L., 1953. (N.Y., McGraw Hill. Book Co., 1956).

© Прокофьев П. С., 2012

Поступила в редакцию
в мае 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Прокофьев П. С. Принципиальные схемы компоновки систем кондиционирования воздуха с использованием роторного утилизатора теплоты // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 156—163.

УДК 697.98:691

Д. П. Боровков, Д. В. Азаров, Ю. А. Старцев

**ПРИМЕНЕНИЕ РАСКРУЧИВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ СИСТЕМ АСПИРАЦИИ
ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ**

Проанализированы причины повышенной энергоемкости многоступенчатых аспирационных систем предприятий строительной индустрии. Исследованы параметры закрутки потока в выходных сечениях инерционных пылеуловителей. Описаны устройства для раскрутки потока. Представлены результаты экспериментальных исследований раскручивающих устройств и их промышленного внедрения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: исследование, пылеуловители, энергия.

The causes of high energy consumption of multi-stage aspiration systems of construction enterprises are analyzed in the article. The parameters of swirling flow in the output sections of the inertial dust collectors are researched. The author describes flow promotion devices. The results of experimental studies of unwinding devices and their industrial implementation are considered.

К e y w o r d s: research, dust collector, energy.

В настоящее время широкое распространение на предприятиях строительной индустрии получили многоступенчатые аспирационные системы, в которых в качестве основного пылеулавливающего оборудования используются пылеуловители на встречных закрученных потоках, так как они обеспечивают наибольшие значения эффективности очистки, сохраняя конструктивную простоту, характерную для пылеуловителей циклонного типа [1, 2]. Однако при всех достоинствах описанных схем следует отметить существенные потери энергии, вследствие многократной закрутки потока, что приводит к повышенным потерям давления.

Энергия закрутки, получаемая потоком газа на входе в инерционные пылеуловители, не полностью расходуется на прохождение сепарационной камеры. Поэтому на выходе из пылеуловителей поток имеет импульс вращательного движения, сопоставимый с осевым [3]. Ввиду того, что движение закрученного потока по воздуховоду характеризуется повышенными потерями давления в сравнении с осевым, это приводит к увеличению аэродинамического сопротивления системы.

Таким образом, актуальными являются исследования, направленные на разработку устройств, предназначенных для раскрутки потока газа, прошедшего очистку в инерционных пылеуловителях с целью использования энергии закрученного течения для снижения аэродинамического сопротивления систем обеспыливающей вентиляции.

Для снижения потерь давления инерционных пылеуловителей возможно использование раскручивающих устройств [3, 5]. Их применение позволит не только снизить сопротивление за счет «выпрямления» потока, но и вернуть часть энергии, потраченной на его закрутку, повысив, таким образом, энергоэффективность систем обеспыливающей вентиляции строительной индустрии.

Как известно, принцип работы инерционных пылеуловителей циклонного типа заключается в использовании центробежных сил, возникающих в результате закрутки потока запыленного газа, подаваемого на очистку. Закрутка потока, как правило, производится путем тангенциальной подачи потока в цилиндрическую сепарационную камеру, войдя в которую он приобретает вращательное движение, вследствие взаимодействия со стенками аппарата. Таким образом, энергия осевого движения потока частично переходит во вращательную. При движении потока вниз, к бункерной зоне, происходит взаимодействие со стенками сепарационной камеры, в результате чего часть энергии вращения потока неизбежно теряется.

Следует также отметить, что к потерям пылеуловителя, как правило, следует прибавить сопротивление отвода, который из компоновочных соображений обычно располагается в непосредственной близости от выходного патрубка пылеуловителя.

Анализ экспериментального и теоретического материала показывает, что энергия, затраченная на закрутку потока, подаваемого на очистку в циклон, не полностью тратится при прохождении потоком сепарационной камеры. На выходе из отводящего патрубка поток имеет тангенциальные составляющие скорости, что позволяет считать его закрученным.

Но эта энергия тратится на взаимодействие со стенками воздуховодов и не только не используется, но и увеличивает сопротивление системы аспирации, ввиду того, что закрученный поток характеризуется большим сопротивлением.

Наличие закрутки на выходе из пылеуловителя можно использовать для снижения аэродинамического сопротивления, в случае преобразования ее в энергию аксиального потока. Таким образом, практический интерес представляет исследование параметров закрученного потока, выходящего из пылеуловителей циклонного типа. Особенный практический интерес представляет собой данная задача в случае с аппаратами ВЗП, так как они характеризуются наибольшими значениями интенсивности закрутки потока в сепарационной камере.

Для характеристики интенсивности закрутки потока принят интегральный параметр закрутки Φ^* , характеризующийся отношением момента количества движения M к осевому количеству движения K произвольном сечении в масштабе линейного размера канала [4]:

$$\Phi^* = M / KL, \quad (1)$$

где $M = 2\pi \int_0^R \rho u \omega r^2 dr$ — момент количества движения потока,

$K = 2\pi \int_0^R \rho \omega^2 r dr$ — осевой импульс движения потока.

Применение интегрального параметра Φ^* наиболее удобно ввиду того, что для основных типов закручивающих устройств выведены выражения, позволяющие, исходя из характерных конструктивных размеров, определить

интегральный параметр закрутки потока, получаемый на выходе, в частности, для тангенциальных закручивателей, при помощи которых осуществляется закрутка потока в инерционных пылеуловителях.

В ходе исследований определялись характеристики потока на выходе из пылеуловителя циклонного типа, а также на выходе из пылеуловителя на встречных закрученных потоках. Пылеуловитель, использованный в экспериментальной установке, имеет типоразмеры, соответствующие циклонам серии ЦН-600 и пылеуловителю на встречных закрученных потоках ВИП-600 [1].

Измерения осуществлялись в интервалах расхода очищаемого газа, установленного каталожными данными, и запыленностях $0...500 \text{ мг/м}^3$. При определении характеристик потока на выходе из пылеуловителя в режиме встречных закрученных потоков произведено три серии измерений при различных значениях доли расхода подаваемого на нижний ввод аппарата ($L_n/L_{\text{общ}}$). Для получения обобщенных данных значения осевых и тангенциальных скоростей приведены к безразмерному виду путем деления их на среднерасходную скорость потока. Результаты измерений представлены на рис. 1, 2.

Как показывают результаты, приведенные на рис. 2, 3, во всех случаях течение является закрученным и осесимметричным. Предположение об отсутствии значимых радиальных составляющих потока экспериментально подтвердилось. Установлено, что ВЗП характеризуются более интенсивной закруткой на выходе, а также имеют более смещенный к пристенной области максимум осевых и тангенциальных скоростей, что дает возможность более полного использования энергии закрутки потока. Кроме того, параметр закрутки возрастает по мере увеличения расхода через нижний ввод ВЗП, и при доле расхода, подаваемого на нижний ввод, течение можно классифицировать как сильнозакрученное.

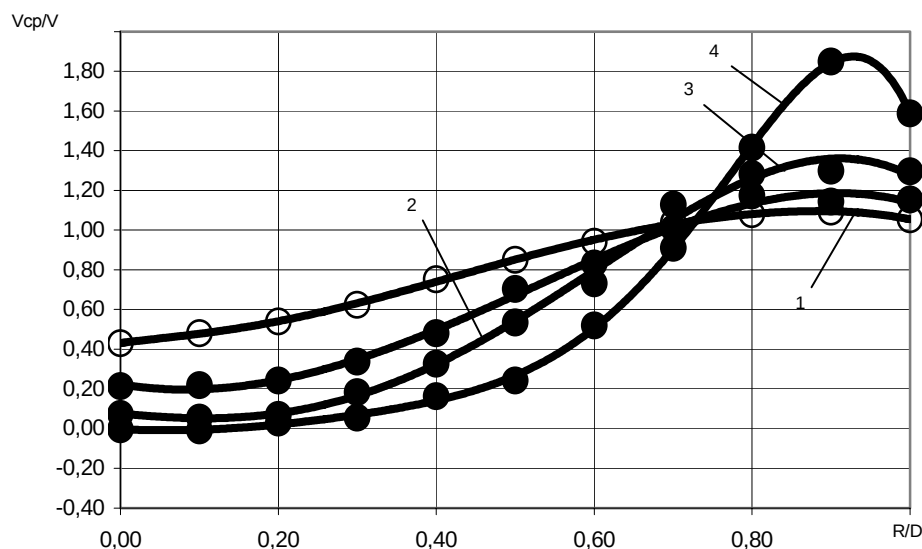


Рис. 1. Профили осевых скоростей: 1 — циклон ЦН; 2 — ВЗП при 10 % на нижний ввод; 3 — ВЗП при 20 % на нижний ввод; 4 — ВЗП при 30 % на нижний ввод

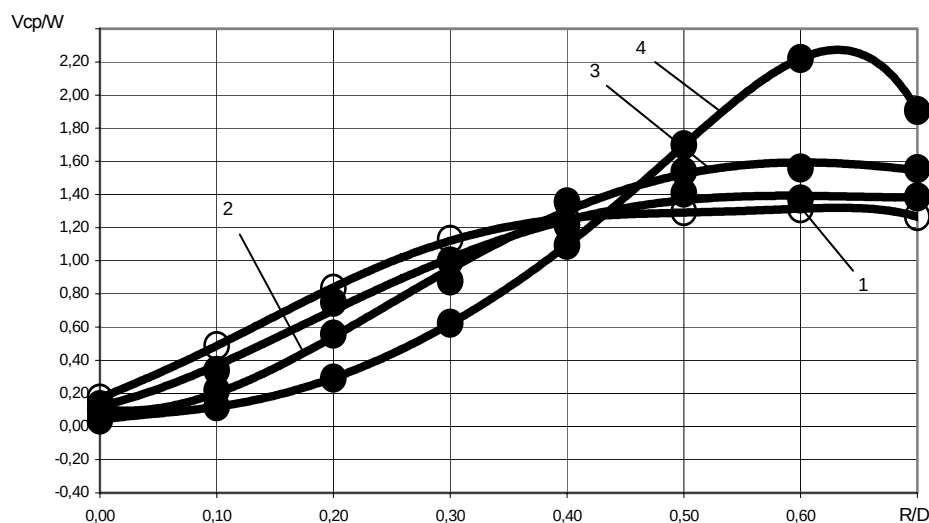


Рис. 2. Профили тангенциальных скоростей: 1 — циклон ЦН; 2 — ВЗП при 10 % на нижний ввод; 3 — ВЗП при 20 % на нижний ввод; 4 — ВЗП при 30 % на нижний ввод

Также установлена независимость профилей осевых и тангенциальных составляющих скоростей от числа Рейнольдса. Данный факт позволяет предположить, что во всем диапазоне проектных расходов интегральный параметр Φ^* является константой для пылеуловителей циклонного типа и зависит только от геометрических характеристик аппарата. Для ВЗП $\Phi^* = \text{const}$ при установленном соотношении расходов.

Запыленность очищаемого газа во всем экспериментальном интервале не оказывает значимого влияния на результаты эксперимента.

Для определения параметра закрутки Φ^* на этапе обработки экспериментальных данных эпюры профилей осевых и тангенциальных скоростей аппроксимированы полиномиальными зависимостями четвертой степени вида:

$$v = b_0 + b_4 r^4 + b_3 r^3 + b_2 r^2 + b_1 r, \quad (2)$$

$$w = b_0 + b_4 r^4 + b_3 r^3 + b_2 r^2 + b_1 r. \quad (3)$$

Дисперсия аппроксимации данных полиномами четвертой степени составляет $R = 0,941 \dots 0,986$, что позволяет сделать вывод об адекватности полученных зависимостей.

Значения коэффициентов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Коэффициенты		b_0	b_4	b_3	b_2	b_1
ЦН	v	-0,018	-6,235	41,931	12,874	-0,045
	w	-0,0142	-4,988	33,5448	10,2992	-0,036
ВИП $L_H/L_{\text{общ}}=0,3$	v	-0,005	-47,24	95,049	63,023	-0,092
	w	-0,0038	-37,791	76,0392	50,4184	-0,0736
ВИП $L_H/L_{\text{общ}}=0,2$	v	-0,077	-5,458	60,074	42,361	-0,389
	w	-0,0612	-4,366	48,0592	33,8888	-0,3112
ВИП $L_H/L_{\text{общ}}=0,1$	v	-0,055	-4,215	53,578	38,468	-0,251
	w	-0,0438	-3,372	42,8624	30,7744	-0,2008

Значения интегрального параметра Φ^* , вычисленные путем подстановки полученных экспериментальных зависимостей в (1), для различных режимов работы пылеуловителей составляют: для ЦН $\Phi^* = 0,5$; для ВИП при $L_n/L_{\text{общ}} = 0,3$, $\Phi^* = 1,61$; для ВИП при $L_n/L_{\text{общ}} = 0,2$, $\Phi^* = 1,28$; для ВИП при $L_n/L_{\text{общ}} = 0,1$, $\Phi^* = 1,06$.

По результатам определения значений Φ^* можно отметить, что во всех случаях течение является неустановившимся ввиду несоблюдения связи локального пристеночного и интегрального параметров интенсивности закрутки, характерной для установившегося закрученного течения [4]

$$\operatorname{tg} \alpha = 1,18 \Phi^{*0,76}. \quad (4)$$

Для перевода энергии закрутки потока в энергию осевого движения предложено использование раскручивателей потока. Эти устройства конструктивно не отличаются от закручивателей, различие состоит лишь в направлении движения потока.

Из всех типов закручивающих устройств для раскрутки потока наиболее подходят устройства тангенциального типа. Это обусловлено их конструктивной простотой, и компоновочными соображениями. В большинстве случаев непосредственно за пылеуловителем следует отвод, изменяющий направление движения потока на 90° . В таком случае применение тангенциального раскручивателя позволяет переводить энергию тангенциального движения в осевую с максимальной эффективностью, обусловленной минимальными нарушениями кинематической структуры течения.

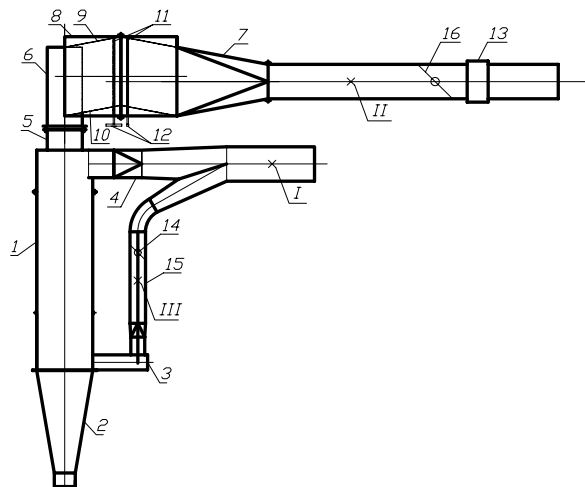


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 — корпус; 2 — пылесборник; 3 — нижний закручиватель; 4 — верхний закручиватель; 5 — патрубок вывода очищенного газа; 6 — корпус раскручивателя; 7 — переход; 8 — тангенциальный патрубок; 9 — верхнее направляющее устройство; 10 — нижнее направляющее устройство; 11 — соединительные тяги; 12 — винты регулировки положения направляющих устройств; 13 — вентилятор; 14 — воздушный ввод нижнего ввода запыленного воздуха; 15 — заслонка; 16 — дроссель-клапан

Для экспериментального исследования влияния раскрутки на аэродинамическое сопротивление пылеуловителей использовалась опытно-промышленная установка, схема которой приведена на рис. 3.

Раскручиватель подбирался таким образом, чтобы геометрический параметр закрутки закручивателя такой же геометрии Φ^*_{Γ} был численно равен интегральному параметру закрутки потока на выходе из пылеуловителя Φ^* . Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты экспериментальных исследований

Режим работы	ξ с раскруткой	ξ без раскрутки	Δ , %
Циклон ЦН	56,2	47,99	14,6
ВИП $L_n/L_{\text{общ}}=0,3$	84,3	69,80	17,2
ВИП $L_n/L_{\text{общ}}=0,2$	72,4	58,57	19,1
ВИП $L_n/L_{\text{общ}}=0,1$	65,9	50,35	23,6

Результаты экспериментальных исследований показывают, что при соответствии Φ^*_{Γ} закручивателя Φ^* на выходе из циклона наблюдается 14,6 % снижение сопротивления для циклона типа и 17,2...23,6 % для аппаратов ВЗП. Данный факт объясняется большими значениями интенсивности закрутки потока на выходе из аппаратов типа ВЗП, ввиду наличия в них двух источников закрутки потока. Следует также отметить, что наибольший эффект дает применение раскручивателей при возрастании доли расхода очищаемого газа, подаваемого через нижний ввод пылеуловителя на встречных закрученных потоках.

В настоящее время предлагаемыми раскручивателями оснащены несколько опытно-промышленных систем обеспыливающей вентиляции в производстве керамического кирпича ОАО «СКАИ» в г. Михайловка Волгоградской области. Внедрение раскручивателей потока на пылеуловителях ВЗП и разделителе — концентраторе позволило снизить аэродинамическое сопротивление системы на 18,2 %, что позволяет экономить до 120 000 кВтч/год, и позволяет за счет экономии электрической энергии получить 180 тыс. р. в год.

Выводы:

1. Определены профили тангенциальных и осевых скоростей газового потока на выходе из пылеуловителя циклонного типа и пылеуловителя на встречных закрученных потоках. Предположение об отсутствии значимых радиальных составляющих потока экспериментально подтверждено.

2. Установлено, что ВЗП характеризуются сравнительно более интенсивной закруткой на выходе, а также имеют более смещенный к пристенной области максимум осевых и тангенциальных скоростей, что дает возможность более полного использования энергии закрутки потока.

3. Установлено, что параметр закрутки возрастает по мере увеличения расхода через нижний ввод ВЗП, и при доле расхода, подаваемого на нижний ввод, течение можно классифицировать как сильнозакрученное.

4. Установлена независимость профилей осевых и тангенциальных составляющих скоростей от числа Рейнольдса, т. е. во всем диапазоне проектных расходов интегральный параметр Φ^* является константой для пылеуловителей циклонного типа, и зависит только от геометрических характеристик аппарата. Для ВЗП $\Phi^* = \text{const}$ при установленном соотношении расходов.

5. Подтверждена возможность использования энергии закрученного потока для снижения аэродинамического сопротивления инерционных пылеуловителей циклонного типа и пылеуловителей на встречных закрученных потоках посредством установки раскручивателей тангенциального типа. Экспериментально определенная величина снижения коэффициентов сопротивления составляет соответственно 14 % и 17...23 %.

6. Установлено, что наибольший эффект дает применение раскручивателей при возрастании доли расхода очищаемого газа, подаваемого через нижний ввод пылеуловителя на встречных закрученных потоках.

Условные обозначения.

L — расход аспирационного газа, м³/час; м/с; v — тангенциальная скорость газового потока, м/с; r — радиальная координата, м; отнесенная к диаметру воздуховода; Φ^* — интегральный параметр закрутки потока; Φ_r^* — интегральный параметр закрутки потока, создаваемый закручивателем; α — угол наклона тангенциального патрубка, град; ξ — коэффициент местного сопротивления; $\text{tg } \varphi$ — локальный пристеночный параметр закрутки потока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пылеуловители со встречными закрученными потоками. Опыт внедрения / В. Н. Азаров. — Волгоград, 2003.
2. Пылеуловители со встречными закрученными потоками / Б. С. Сажин, Л. И. Гудим // НИИТЭХИМ. — М., 1982.
3. Очистка от пыли и газов воздуха химической промышленности / П. А. Коузов, А. Д. Мальгин, Г. М. Скрябин. — Л.: Химия, 1982.
4. *Щукин В. К., Халатов А. А.* Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. — М.: Машиностроение, 1982. — 200 с.
5. *Gupta A., Lilli D., Sayred N.* Закрученные потоки. — М.: Мир, 1987. — 584 с.
1. Pyleuloviteli so vstrechnymi zakruchennymi potokami. Opyt vnedreniya / V. N. Azarov. — Volgograd, 2003.
2. Pyleuloviteli so vstrechnymi zakruchennymi potokami / B. S. Sazhin, L. I. Gudim // NIITEKHIM. — M., 1982.
3. Ochistka ot pyli i gazov vozdukha khimicheskoy promyshlennosti / P. A. Kouzov, A. D. Malgin, G. M. Skryabin. — L.: Khimiya, 1982.
4. *Shchukin V. K., Khalatov A. A.* Teploobmen, massoobmen i gidrodinamika zakruchennykh potokov v osesimmetrichnykh kanalach. — M.: Mashinostroyeniye, 1982. — 200 s.
5. *Gupta A., Lilli D., Sayred N.* Zakruchennye potoki. — M.: Mir, 1987. — 584 s.

© Боровков Д. П., Азаров Д. В., Старцев Ю. А., 2012

Поступила в редакцию
в мае 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Боровков Д. П., Азаров Д. В., Старцев Ю. А. Применение раскручивателей для повышения энергоэффективности многоступенчатых систем аспирации предприятий строительной индустрии // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 164—170.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 66.045.54:697

А. Б. Голованчиков, Н. А. Меренцов, В. А. Балашов

РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ ГРАДИРНИ С КАПЕЛЬНЫМ ОРОШЕНИЕМ

Приводится методика инженерного расчета вентиляторной градирни с капельным орошением на заданную производственную мощность для систем оборотного водоснабжения на основе экспериментальных данных по интенсивности тепломассопереноса.

К л ю ч е в ы е с л о в а: вентиляторные градирни, капельное орошение, проволоочная насадка, коэффициенты тепло- и массопередачи.

In this paper the author describes the method of calculation of ventilation cooler with drip irrigation with given production capacity for systems of reverse water supply on the basis of experimental data on the intensity of heat and mass transfer.

Key words: ventilation cooling tower, drip irrigation, wire nozzle, heat and mass transfer index.

Отвод низкопотенциального тепла от воды путем ее охлаждения воздухом широко используется в различных технических устройствах и технологических системах. Этот способ охлаждения, например, применяется на предприятиях строительной индустрии, на которых в качестве носителя энергии для работы различных механизмов используется сжатый воздух, получаемый путем компримирования. Отбор тепла от компрессоров и сжимаемого воздуха при этом осуществляется водой, которая затем охлаждается в градирнях. В крупных холодильных установках, обеспечивающих охлаждение искусственного ледяного поля или кондиционирование воздуха больших спортивных комплексов, конденсаторы охлаждаются водой, которую, в свою очередь, охлаждают воздухом в градирнях. По величине тепловой мощности градирни таких компрессорных станций и холодильных установок относят к малогабаритным. Поэтому разработка конструкций градирен, обладающих при малых габаритных размерах относительно высокой тепловой производительностью является актуальной инженерной задачей.

Эффективность работы градирни всецело определяется эффективностью работы ее оросителя. Перспективными в этом отношении, как показано в работах [2, 3], являются оросители, имеющие волокнистую структуру и обладающие высокими значениями пористости удельной поверхности. Важной характеристикой такой волокнистой структуры является ее простота и доступность изготовления. Для такого испарителя предлагается в качестве насадки использовать упругую сталь-

ную проволоку или полимерные нити различной толщины и профиля из отходов сталепроволочного канатного завода или завода синтетического волокна [4]. Из такого стального или полимерного материала нетрудно изготовить блоки, имеющие форму куба или параллелепипеда с размерами сторон порядка 200...400 мм, что позволяет визуально контролировать их внутреннюю структуру. При необходимости такому блоку можно придать требуемую жесткость путем заключения его в проволочный каркас. Из таких блоков можно набрать ороситель требуемых размеров. Эквивалентный диаметр оросителей такого рода может изменяться в пределах от 5 до 10...12 мм. В этих оросителях, в зависимости от величины эквивалентного диаметра и скорости воздушного потока, может быть реализован как капельно-пленочный, так и практически капельный режим орошения. Оросители с повышенными значениями эквивалентного диаметра обладают малым гидравлическим сопротивлением и могут иметь повышенные высотные размеры.

В данной работе рассматривается тепло- и массообменный процесс охлаждения воды в градирне, ороситель которой работает в капельном режиме орошения. Работа градирни рассматривается с позиций инженерного расчета. Целью работы является разработка методики определения размеров оросителя для заданных условий работы градирни по расходам охлаждаемой воды и воздуха, температурам потоков воды и воздуха в крайних сечениях оросителя при известных начальных параметрах потока воздуха по влажности. В основу расчета положено определение поверхностей контакта фаз, обеспечивающих требуемый теплосъем путем теплообмена и требуемый влагообмен, с последующим согласованием значений этих поверхностей. В расчете используются найденные экспериментально для принятой насадки значения коэффициентов тепло- и массопередачи и времени задержки насадкой потока капель жидкости.

Предлагаемая методика расчета представляется в виде алгоритма последовательного выполнения расчетов по определению технологических и геометрических параметров градирни. Расчет производится с помощью следующих формул и известных зависимостей.

1. Начальное влагосодержание воздуха на входе в градирни

$$x_H = \frac{0,622 \varphi_H p_H^*}{(1,033 - \varphi_H p_H^*)}.$$

2. Энтальпия воздуха на входе и выходе из градирни

$$i_H = c_B t_{BH} + x_H (r_H + c_P t_{BH}), \quad i_K = c_B t_{BK} + x_K (r_H + c_P t_{BK}).$$

3. Из совместного решения уравнений материального баланса

$$G_{WH} - G_{WK} = G_B (x_K - x_H)$$

и теплового баланса

$$G_{WH} c_W t_{WH} + G_B i_H = G_{WK} c_W t_{WK} + G_B i_K$$

с учетом энтальпии воздуха на выходе из градирни получим формулы для расчета влагосодержания воздуха на выходе из градирни

$$x_K = \frac{G_{WH} c_w (t_{WH} - t_{WK}) + G_B (i_H - x_H c_w t_{WK} - c_B t_{BK})}{G_B (r_{II} + c_{II} t_{BK} - c_w t_{WK})},$$

удельные производительности по испаряемой воде и по воде на выходе из градирни

$$W = G_B (x_K - x_H), \quad G_{WK} = G_{WH} - W$$

и относительной влажности воздуха на выходе (ϕ_K должна быть меньше 1)

$$\phi_K = 1,033 \frac{x_K}{[(0,622 + x_K)p_K^*]}.$$

4. Плотность потока капель

$$N_K = \frac{\left(\frac{G_{WH}}{\rho_w} \right)}{\frac{\pi d_H^3}{6}}.$$

5. Начальная, конечная и средняя удельные поверхности потока капель

$$F_{KH} = \pi d_H^2 N_K, \quad F_{KK} = \pi d_K^2 N_K, \quad F_{KC} = \frac{(F_{KH} + F_{KK})}{2}.$$

6. Конечный диаметр капель на выходе из градирни

$$d_K = \sqrt[3]{\left(\frac{G_{WK}}{\rho_w} \right) \left(\frac{\pi N_K}{6} \right)}.$$

7. Средняя плотность и фиктивная скорость воздуха

$$\rho_B = \frac{1,29 \cdot 273}{\left(273 + \frac{t_{BH} + t_{BK}}{2} \right)}, \quad v_B = \frac{G_B}{\rho_B}.$$

8. Диаметр градирни

$$D_{Гр} = \sqrt{\frac{4q}{\pi G_{WH} \cdot 3,6}}.$$

9. Средняя теплоемкость влажного воздуха

$$c_{BC} = c_B + \frac{c_{II} (x_H + x_K)}{2}.$$

10. Средний удельный расход воды

$$G_{wc} = \frac{(G_{WH} + G_{WK})}{2}.$$

11. Средняя движущая сила процесса теплопередачи

$$\Delta t_c = \frac{(t_{\text{вн}} - t_{\text{БК}}) - (t_{\text{вк}} - t_{\text{БН}})}{\ln \left(\frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{БК}}}{t_{\text{вк}} - t_{\text{БН}}} \right)}.$$

12. Массовый расход воздуха и тепловая мощность градирни

$$q_{\text{вт}} = \left(\frac{G_{\text{в}}}{G_{\text{вс}}} \right) q_{\text{вн}}, \quad Q_{\text{гр}} = q_{\text{вт}} (i_{\text{к}} - i_{\text{н}}).$$

13. Необходимая расчетная поверхность капель для обеспечения теплопередачи

$$F_t = \frac{1000 \cdot Q_{\text{гр}}}{K_t \Delta t_c}.$$

14. Для определения числа единиц переноса влагосодержание воздуха разбиваем на m равных интервалов ($m = 100$)

$$\Delta x = \frac{x_{\text{к}} - x_{\text{н}}}{m}.$$

Тогда текущее значение влагосодержания для середины каждого интервала разбиения описывается формулой

$$x_i = x_{\text{н}} + \frac{\Delta x}{2} + \Delta x(i-1).$$

Соответственно энтальпия для линейной зависимости $i = i(x)$ определяется в виде

$$i_i = a + b x_i,$$

$$\text{где } a = i_{\text{БН}} - b x_{\text{н}}, \quad b = \frac{(i_{\text{к}} - i_{\text{н}})}{(x_{\text{к}} - x_{\text{н}})}.$$

Из материального баланса расхода воды для i -й точки уравнение запишется в виде

$$q_{\text{wi}} = q_{\text{вк}} + q_{\text{вт}} (x_i - x_{\text{н}}),$$

а из теплового баланса определяется температура воды по формуле

$$t_{\text{wi}} = \frac{[q_{\text{вн}} (i_i - i_{\text{н}}) + q_{\text{вк}} c_w t_{\text{вк}}]}{(q_{\text{wi}} c_w)}.$$

Табличную зависимость давления насыщенных водяных паров от температуры можно описать степенным уравнением

$$p_{\text{wi}}^* = k t_{\text{wi}}^n, \quad k = 3,5 \cdot 10^{-5}, \quad n = 2,086,$$

с относительной ошибкой, не превышающей 2,5 %.

Влагосодержание насыщенного воздуха в пограничном слое капли при $\varphi=1$ и $p = p_{wi}$ запишется в виде

$$x_{wi} = 0,622 \frac{p_{wi}^*}{(1,033 - p_{wi}^*)},$$

а число единиц переноса в интегральном и расчетном виде

$$\text{ЧЕП}_x = \int_{x_H}^{x_K} \frac{dx}{x_{wi} - x}, \quad S_x = \sum_{i=1}^m \frac{\Delta x}{x_{wi} - x_i}.$$

15. Средняя движущая сила по влагосодержанию

$$\Delta x_c = (x_K - x_H) / S_x.$$

16. Необходимая расчетная поверхность капель для обеспечения массо-передачи

$$F_m = \frac{W\pi \left(\frac{D_{гр}^2}{4} \right)}{\Delta x_c \cdot K_m}.$$

17. Из сравнения поверхностей F_t и F_m выбирается большая и определяется среднее время пребывания капель и рабочая высота насадки в градирне, обеспечивающая эту поверхность капель $F_{гр}$

$$\tau_{гр} = \frac{F_{гр}}{0,785 D_{гр}^2 F_{кс}}, \quad H_{гр} = \tau_{гр} v_{кс}.$$

Расшифровка используемых в формулах обозначений и их размерности указаны в табл. 1. В ней приводятся и необходимые для расчета исходные и справочные данные и полученные с помощью указанных формул численные значения рассчитанных параметров процесса и размеров градирни. В табл. 2 приводятся полученные расчетным путем параметры процесса, зависящие от влагосодержания в потоке воздуха и необходимые для определения числа единиц переноса.

Т а б л и ц а 1

Исходные и справочные данные и расчетные параметры проектируемой вентиляторной градирни с капельным орошением и проволоочной насадкой

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1	2	3	4	5
Исходные данные				
1	Производительность по охлаждаемой воде	м ³ /ч	q	180
2	Начальная температура воды	°С	t_{WH}	50
3	Конечная температура воды	°С	t_{WK}	30
4	Начальная температура воздуха	°С	t_{BH}	20
5	Конечная температура воздуха	°С	t_{BK}	35
6	Относительная влажность воздуха на входе	—	φ_H	0,85

Продолжение т а б л. 1

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1	2	3	4	5
Справочные данные				
1	Средняя теплоемкость воды	кДж/кг·К	c_w	4,18
2	Средняя плотность воды	кг/м ³	ρ_w	992
3	Удельная теплота парообразования при 0 °С	кДж/кг	r_n	2493
4	Теплоемкость пара	кДж/кг·К	c_n	1,97
5	Теплоемкость сухого воздуха	кДж/кг·К	c_v	1,01
6	Давление насыщенных паров при начальной температуре воздуха	ат	P_n^*	0,0238
7	Давление насыщенных паров при конечной температуре воздуха	ат	P_k^*	0,0573
8	Диаметр капель (2...5 мм)	м	d_n	$3 \cdot 10^{-3}$
9	Удельная производительность по воде	кгW/ м ² ·с	G_{wn}	2,4
10	Удельная производительность по воздуху	кгB/ м ² ·с	G_{bn}	3,5
11	Коэффициенты аппроксимирующего степенного уравнения в зависимости давления насыщенных паров воды от температуры $p_w^* = p^*(t_w)$	— —	κ n	$3,5 \cdot 10^{-5}$ 2,086
12	Средняя скорость капель d_n (получена экспериментально на лабораторной установке с проволоочной насадкой)	м/с	v_{kc}	0,486
13	Коэффициент теплопередачи (получен экспериментально)	Вт/м ² ·К	K_t	147
14	Коэффициент массопередачи (получен экспериментально)	кгW/ м ² ·с (кгW/кгB)	K_m	0,019
Расчетные параметры				
1	Начальное влагосодержание воздуха	кгW/кгB	x_n	0,0124
2	Начальная энтальпия воздуха	кДж/кгB	i_n	51,66
3	Конечное влагосодержание воздуха	кгW/кгB	x_k	$2,96 \cdot 10^{-2}$
4	Конечная энтальпия воздуха	кДж/кгB	i_k	111,14
5	Удельная производительность по воде на выходе из градирни	кгW/м ² ·час	G_{wk}	2,34
6	Удельное количество испаряемой воды в воздух	кгW/м ² ·с	W	0,06
7	Относительная влажность воздуха на выходе (должна быть меньше 1)	—	ϕ_k	$8,18 \cdot 10^{-1}$
8	Плотность потока капель	шт/м ² ·с	N_k	171221
9	Начальная удельная поверхность потока капель	м ² /м ² ·с	F_{kn}	4,84
10	Конечный диаметр капель	м	d_k	$2,976 \cdot 10^{-3}$
11	Конечная удельная поверхность потока капель	м ² /м ² ·с	F_{kk}	4,76
12	Средняя поверхность потока капель	м ² /м ² ·с	F_{kc}	4,8
13	Скорость воздуха	м/с	v_b	2,986
14	Диаметр градирни	м	D_e	5,15
15	Средняя теплоемкость влажного воздуха	кДж/кг·К	c_{vc}	1,05
16	Средняя движущая сила процесса теплопередачи	°С	Δt_c	12,33
17	Массовый расход воздуха	кгB/с	q_{bm}	72,92
18	Коэффициенты рабочей линии $i=i(x)$ линейной зависимости энтальпии от влагосодержания в виде $i = a + bx$	кДж/кгW кДж/кгB	a b	8,6 3466,3
19	Парциальное давление паров воды в воздухе для $t_{wk} = 30$ °С ($\phi = 1$)	ат	p_{wn}^*	0,0202

Окончание т а б л. 1

№	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина
1	2	3	4	5
20	Парциальное давление паров воды в воздухе для $t_{\text{вн}} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\varphi = 1$)	ат	$p_{\text{вк}}^*$	0,0469
21	Парциальное давление паров воды в воздухе для текущего значения $t_{\text{в}}$	ат	$p_{\text{в}}^*$	см. табл. 2
22	Влагосодержание воздуха вблизи поверхности капли для текущего значения $t_{\text{в}}$	кгW/кгB	$x_{\text{в}}$	см. табл. 2
23	Число единиц переноса по влагосодержанию паров в воздухе	–	ЧЕП_x	0,643
24	Средняя движущая сила массообменного процесса испарения воды в воздух	кгW/кгB	$\Delta x_{\text{с}}$	0,0267
25	Расчетная поверхность капель из условия теплопередачи	м^2	$F_{\text{т}}$	2392,5
26	Расчетная поверхность капель из условия массопередачи	м^2	$F_{\text{м}}$	2467,5
27	Необходимая расчетная поверхность, обеспечивающая процессы тепло- и массопередачи	м^2	$F_{\text{тп}}$	2467,5
28	Время нахождения капель в градирне для обеспечения расчетной поверхности капель	с	$\tau_{\text{тп}}$	24,67
29	Высота градирни	м	$H_{\text{тп}}$	11,99

Т а б л и ц а 2

Основные расчетные параметры градирни как функция влагосодержания воздуха
(для определения числа единиц переноса)

№	Наименование параметра	Величина										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Влагосодержание воздуха x , кгW/кгB $\cdot 10^2$	1,24	1,41	1,58	1,76	1,93	2,1	2,27	2,44	2,62	2,79	2,96
2	Влагосодержание воздуха у поверхности капель $x_{\text{в}}$, кгW/кгB $\cdot 10^2$	2,54	2,99	3,41	3,87	4,35	4,87	5,41	5,99	6,6	7,25	7,93
3	Энтальпия воздуха $i_{\text{в}}$, кДж/кгB	51,66	57,61	63,56	69,5	75,45	81,4	87,35	93,30	99,20	105,2	111,1
4	Расход воздуха (сухого) $Q_{\text{в}}$, кгB/с	72,92	–	–	–	–	–	–	–	–	–	72,92
5	Расход воды $Q_{\text{в}}$, кгW/с	48,75	48,87	49	49,12	49,25	49,37	49,5	49,62	49,75	49,87	50
6	Парциальное давление паров воды в воздухе $p_{\text{в}}$, ат $\cdot 10^2$	2,02	2,3	2,57	2,84	3,11	3,37	3,64	3,9	4,17	4,43	4,69
7	Давление паров воды у поверхности капель $p_{\text{в}}$, ат $\cdot 10^2$	4,27	4,84	5,51	6,21	6,96	7,7	8,57	9,43	10,3	11,3	12,27
8	Температура воздуха $t_{\text{в}}$, $^{\circ}\text{C}$	20	21,54	23,1	24,6	26,1	27,6	29,1	30,6	32,1	33,5	35
9	Температура капель воды $t_{\text{в}}$, $^{\circ}\text{C}$	30	32,05	34,1	36,1	38,12	40,1	42,1	44,1	46,08	48	50

Расчеты показывают, что предлагаемая проволочная насадка [4] занимает промежуточное значение между листовой насадкой с пленочным орошением и полимерной сетчатой насадкой по эффективности тепло- и массопередачи. Так, в работе [1], для пленочной насадки расчетные коэффициенты тепло- и массопередачи имеют величину, равную $K_t = 15,52 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, $K_m = 0,0176 \text{ кгВ/м}^2 \cdot \text{с} \cdot (\text{кгВ/кгВ})$, а для полимерной сетчатой [2, 3] — $K_t = 374 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, $K_m = 0,106 \text{ кгВ/м}^2 \cdot \text{с} \cdot (\text{кгВ/кгВ})$. Это объясняется тем, что капельное орошение на сетчатых и волокнистых насадках идет интенсивней из-за развитой поверхности капель. В то же время регулярность полимерной сетчатой насадки предупреждает образование пленок жидкости, застойных зон, локальной неравномерности расходов воды и воздуха по сечению градири, что и объясняет ее преимущество по тепло- и массопередаче по сравнению с проволочной насадкой и ее неупорядоченным расположением по объему.

Таким образом, предлагаемая волокнистая насадка из стальной проволоки или полимерных нитей может быть использована в конструкциях испарителей градирен, а предлагаемая методика инженерного расчета градирен, работающих в режиме капельного орошения, может быть использована для проектирования оросителей промышленных градирен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пономаренко В.С. Градири промышленных и энергетических предприятий: справочное пособие / В. С. Пономаренко Ю. И. Арефьев; под ред. В.С. Пономаренко. — М.: Энерготомиздат, 1998. — 376 с.
2. Ваганов А. А. Тепломассообменные испытания сетчатой насадки / А. А. Ваганов, А. С. Тимонин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. № 11. — С. 32—36.
3. Ваганов А.А. Исследование тепломассообменных характеристик сетчатой насадки / А. А. Ваганов, А. С. Тимонин // Безопасность в техносфере. 2010. № 2. — С. 37—42.
4. Пат. 117317 Российская Федерация, МПК B01J19/32. Насадка для массообменного аппарата / А. Б. Голованчиков, С. Б. Воротнева, Н. А. Меренцов, Н. А. Дулькина, О. А. Залипаева, А. П. Шамьянова; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет». 2012106991/05; заявлен. 27.02.2012, опуб. 27.06.2012.
1. Ponomarenko V. S. Gradiiri promyshlennykh i energeticheskikh predpriyatiy: spravochnoe posobie / V. S. Ponomarenko Ju. I. Aref'ev; pod red. V.S. Ponomarenko. — M.: Energotomizdat, 1998. — 376 c.
2. Vaganov A. A. Teplomassoobmennyye ispytaniya setchatoi nasadki / A. A. Vaganov, A. S. Timonin // Khimicheskoye i neftegazovoe mashinostroyeniye. 2010. № 11. — S. 32—36.
3. Vaganov A. A. Issledovaniye teplomassoobmennyykh harakteristik setchatoy nasadki / A. A. Vaganov, A. S. Timonin // Bezopasnost v tekhnosfere. 2010. № 2. — S. 37—42.
4. Pat. 117317 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B01J19/32. Nasadka dlya massoobmennogo apparata / A. B. Golovanchikov, S. B. Vorotneva, N. A. Merentsov, N. A. Dulkina, O. A. Zalipaeva, A. P. Shamyanova; zayavitel i patentoobladatel GOU VPO «Volgogradskiy gosudarstvennyy tehni-cheskij universitet». 2012106991/05; zayavlen. 27.02.2012, opub. 27.06.2012.

© Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А., 2012

Поступила в редакцию
в июле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Балашов В. А. Расчет вентиляторной градири с капельным орошением // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 171—178.

УДК 62.50:658.562

И. И. Павлинова, П. В. Юдин**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИДЕАЛЬНОГО АЭРОТЕНКА-СМЕСИТЕЛЯ**

Рассмотрен механизм возможного управления при организации эффективного процесса очистки сточных вод в аэротенках.

К л ю ч е в ы е с л о в а: аэротенк, баланс веществ, субстрат, кислород, организация процесса очистки сточных вод.

The mechanism of control over the organization of effective wastewater treatment process in aeration tank is considered.

К е у w o r d s: aeration tank, the balance of substances, substrate, oxygen, the organization of the wastewater treatment process.

Аэротенк с потоком идеального смешения представляет интерес, потому что этот тип реактора применяется на большом числе сооружений, причем некоторые очистные сооружения могут представлять собой ассоциации многоуровневых реакторов с идеальным смешением [1].

Элементарный базовый блок, работу которого следует усовершенствовать, состоит из аэрационного бассейна и вторичного отстойника.

Поток с расходом Q , поступающий в блок после прохода через первичный отстойник или предыдущий этап очистки, имеет концентрацию биомассы X_e и субстрата x_e .

На входе смесителя расход рециркулируемого активного ила равен Q_R , концентрация биомассы в нем X_b , концентрация субстрата x . После смешения в аэротенк поступает сток с общим расходом Q_T , концентрацией биомассы X_0 и концентрацией субстрата x_0 .

Расход смеси сточной воды и активного ила на выходе из ферментера Q_T будет содержать приросшую биомассу X и остаток субстрата x .

Отстойник позволяет разделить активный ил с концентрацией X_b в количестве αQ_T общего расхода (где α — коэффициент использования отстойника) и обработанный сток с расходом $(1 - \alpha)Q_T$ с концентрациями биомассы и субстрата X_t и x_t соответственно. При этом величина X_t является незначительной, т. к. выход биомассы ограничивается только изолированными диспергированными бактериями.

Часть расхода активного ила β , выделенного из отстойника, подлежащая рециркуляции равна

$$Q_R = \beta \alpha Q_T, \quad (1)$$

где β — степень рециркуляции активного ила.

Остаток, равный расходу $(1 - \beta)\alpha Q_T$, составляет сброс избыточного активного ила. Концентрация активного ила X_b и субстрата x в потоках, поступающих на сброс и на рециркуляцию, очевидно одна и та же.

Исследование балансов веществ

Балансы различных веществ, участвующих в процессе очистки на установившихся режимах, определяются следующим образом:

Баланс микроорганизмов активного ила на границах вторичного отстойника. Количество биомассы активного ила на выходе из аэротенка равно

количеству биомассы активного ила на выходе из вторичного отстойника, т. к. прирост биомассы в процессе отстаивания смеси отсутствует.

Принимая, как указывалось выше, $X_t \cong 0$ получим:

$$XQ_T = X_b \alpha Q_T + 0, \quad (2)$$

откуда

$$X_b = \frac{X}{\alpha}. \quad (3)$$

Коэффициент использования отстойника α характеризует функционирование отстойника и зависит от способности флоккулы к отстаиванию (индекса активного ила) и условий использования отстойника (времени пребывания потока в отстойнике). Чем меньше величина коэффициента использования отстойника α , тем лучше разделение фракций «твердые вещества-жидкость».

Баланс микроорганизмов активного ила на границе смесителя перед аэротенком. Количество биомассы активного ила на входе в аэротенк (с рециркуляцией) равно количеству биомассы активного ила на выходе из аэротенка.

Принимая, что содержание микроорганизмов активного ила в поступающем на очистку стоке незначительно перед засевом, вызванным рециркуляцией части биомассы, получим:

$$X_b \alpha \beta Q_T + 0 = Q_T X_0, \quad (4)$$

откуда

$$X_b = \frac{X_0}{\alpha \beta}. \quad (5)$$

Используя (3), получим

$$X = \frac{X_0}{\beta}. \quad (6)$$

Следовательно, концентрация приросшей биомассы активного ила на выходе из аэротенка равна концентрации биомассы активного ила на входе в аэротенк в смеси исходной сточной воды и рециркулируемого активного ила, деленной на степень рециркуляции.

Баланс субстрата на границе смесителя перед аэротенком. Сумма субстратов, поступающих с исходной сточной водой и рециркулируемой биомассой активного ила, равна количеству субстрата в смеси сточной воды и рециркулируемого активного ила на входе в аэротенк:

$$Q_{Xe} + Q_{Rx} = Q_T X_0. \quad (7)$$

Учитывая, что $Q_R = \beta \alpha Q_T$, получим

$$Q_T = Q + Q_R = Q + \alpha \beta Q_T. \quad (8)$$

В результате получим, что расход смеси на выходе из аэротенка равен:

$$Q_T = \frac{Q}{1 - \alpha \beta}. \quad (9)$$

Подставляя это выражение в баланс, получим:

$$x_0 = x_e - (x_e - x)\alpha\beta. \quad (10)$$

Баланс микробной массы на границах ферментера. Произведение расхода смеси сточной воды и активного ила на выходе из аэротенка на разность между концентрациями биомассы в смеси на выходе из аэротенка и в смеси на входе в аэротенк равно произведению скорости прироста биомассы в единице объема аэротенка на объем аэротенка V :

$$Q_T (X_0 - X) + \left[\frac{X_0 - X}{T} \right] V = 0, \quad (11)$$

где T — среднее время пребывания микробной массы в аэротенке.

Для дальнейшего расчета необходимо принять классическую биологическую модель Герберта, применимую для всех случаев устойчивого функционирования аэротенков:

$$\frac{dX}{dt} = \left(k_0 \frac{x}{x + x_s} - k_2 \right) X. \quad (12)$$

Подставляя (12) в уравнение (11) получим:

$$Q_T (X_0 - X) + k_0 \frac{x}{x + x_s} XV - k_2 XV = 0. \quad (13)$$

Заменяя X_0 значением, взятым из уравнения (6), и учитывая, что степень разбавления равна:

$$\frac{Q}{V} = D, \quad (14)$$

получим:

$$XD \frac{(1-\beta)}{(1-\alpha\beta)} = \left(k_0 \frac{x}{x + x_s} - k_2 \right) X. \quad (15)$$

Концентрация субстрата x на выходе из аэротенка, согласно этому уравнению равна:

$$x = x_s \frac{k_2(1-\alpha\beta) + D(1-\beta)}{(k_0 - k_2)(1-\alpha\beta) - D(1-\beta)}. \quad (16)$$

Это уравнение выражает концентрацию субстрата на выходе из ферментера, функционирующего в постоянном режиме.

В уравнении (16) вместо степени разбавления D подставляем время пребывания τ :

$$\tau = \frac{V}{Q} = \frac{1}{D}. \quad (17)$$

И получаем уравнение:

$$x = x_s \frac{k_2 \tau (1 - \alpha \beta) + (1 - \beta)}{(k_0 - k_2) \tau (1 - \alpha \beta) - (1 - \beta)}. \quad (18)$$

Таким образом, видно, что очистка (удаление загрязнения) зависит, кроме биологических постоянных k_0 , k_2 и x_s , от времени пребывания τ , коэффициента использования отстойника α и степени рециркуляции активного ила β .

Уравнение (18) может быть записано в виде, удобном для использования при расчете установок:

$$\frac{1}{\tau} = D = \left(\frac{1 - \alpha \beta}{1 - \beta} \right) \left[k_0 \frac{x}{x + x_s} - k_2 \right]. \quad (19)$$

Степень максимального разбавления, применимая для исключения вымывания культуры, равна:

$$D_M = \frac{1 - \alpha \beta}{1 - \beta} \left[k_0 \frac{x_e}{x_e + x_s} - k_2 \right]. \quad (20)$$

Минимально допустимое время пребывания τ_m равно:

$$\tau_m = \frac{(1 - \beta)}{(1 - \alpha \beta) \left[k_0 \frac{x_e}{x_e + x_s} - k_2 \right]}. \quad (21)$$

Принимая $\alpha = 0$ (полное разделение биомассы и жидкости) в уравнении (16) получаем выражение, установленное для ферментеров с постоянной рециркуляцией активного ила.

$$\hat{x} = x_s \frac{k_2 + D(1 - \beta)}{k_0 - k_2 - D(1 - \beta)}. \quad (22)$$

Таким образом, видно, что выгодно иметь:

величину β как можно более высокую, что имеет место при максимальной рециркуляции активного ила. Предел увеличения β возникает при максимально возможной концентрации биомассы в аэротенке, достаточной концентрации кислорода и оптимальных условиях по удельной органической нагрузке x^* ;

величину α как можно более низкую, что имеет место при корректно функционирующем вторичном отстойнике, обеспечивающем хорошо сформированные флоккулы бактерий.

Установлено также, что увеличение времени пребывания τ всегда благоприятно в плане достижения повышенной степени очистки. Всегда выигрыш по эффективности очистки η более высокий для процессов при высокой нагрузке. Этот выигрыш становится минимальным при процессах полного окисления. Увеличение времени пребывания τ более 10 часов уже не приводит к повышению эффективности очистки. Однако это влияет на качество

активного ила. Увеличение времени пребывания τ дает активному илу большую стабилизацию, малую способность ферментации (брожения), т. к. процесс физиологически находится в стадии эндогенного метаболизма.

Как не увеличивай время пребывания τ , степень очистки не достигнет 100 %, т. к. никогда нельзя добиться нулевой концентрации остатка субстрата. Этот остаток субстрата определяется как «биологически неразлагаемое БПК₅».

Баланс кислорода. Потребное количество кислорода для биомассы, содержащейся в аэротенке, может быть получено по уравнению:

$$\frac{dQ_{O_2}}{dt} = -a_0 \frac{dx}{dt} + bX; \quad (23)$$

$$M_{O_2} = V \frac{dQ_{O_2}}{dt} = \left[\frac{a_0}{a} \frac{k_0 \cdot x}{x + x_S} + b \right] XV. \quad (24)$$

Если использовать модель Герберта при $C = \infty$ и $q = 0$, то можно записать уравнение:

$$\frac{k_0 x}{a(x + x_S)} \cong \frac{(x_e - x)}{XV} = \frac{Y^*}{X}, \quad (25)$$

учитывая, что снижение удельной нагрузки Y^* , кг, снятого БПК₅ в сутки на м³ бассейна и определяется как:

$$Y^* = \frac{(x_e - x)Q}{V}. \quad (26)$$

Откуда:

$$\frac{dQ_{O_2}}{dt} = a_0 Y^* + bX. \quad (27)$$

где $\frac{dQ_{O_2}}{dt}$ — удельное потребление кислорода, кг, потребленного в сутки на м³ бассейна.

При постоянном качестве очистки ($\eta = \text{const}$) расход массы кислорода, подаваемого для обработки единичного объема данного стока, зависит от параметров β (степени циркуляции активного ила) и α (коэффициента сепарации отстойника). Расчет показывает, что Q_{O_2} практически не зависит от α и β , а зависит только от η .

Расчет, представленный выше, не учитывает потребность кислорода для нитрификации.

Экспериментальное определение коэффициента респирометрического поддержания гетеротрофной биомассы b представляет определенные трудности, т. к. оно осуществляется на микроорганизмах, поданных в эндогенную фазу и точное определение отношения между концентрацией единственных

потребителей — живых организмов и концентрацией летучих веществ достаточно трудно. Для практических целей имеем:

$$\frac{dQ_{O_2}}{dt} \cong a_0 Y^* + b'(SVS). \quad (28)$$

Можно получить потребление кислорода, используя возраст активного ила τ_b .

$$\frac{dQ_{O_2}}{dt} = \left[\frac{a_0}{a} + \frac{a_0}{a} k_2 \tau_b + b \tau_b \right] \frac{X}{\tau_b}, \quad (29)$$

$$\frac{VdQ_{O_2}}{dt} \cong [a_0 + a_0 k_2 \tau_b + b \tau_b a] \frac{x_0 - x}{1 + k_2 \tau_b} Q \quad (30)$$

Это выражение действительно для простой модели ($C = \infty$ и $q = 0$).

Выводы.

1. Разработаны математические модели процессов функционирования систем аэробной биологической очистки различных технологических схем, включающих аэротенки-смесители, аэротенки-вытеснители и гетерогенные аэротенки, реализующие промежуточные режимы работы и выданы рекомендации по выбору оптимальных геометрических и технологических параметров основных элементов очистных сооружений, включая аэротенки, вторичные отстойники и контуры рециркуляции активного ила.

2. Проведен комплекс экспериментальных исследований моделей систем биологической очистки и определены зависимости эффективности очистки от концентраций субстрата и биомассы, нагрузки на активный ил по органическим веществам, среднего времени пребывания смеси в аэротенке, возраста активного ила, степени рециркуляции активного ила, коэффициента сепарации вторичного отстойника и коэффициента респирации кислорода в аэротенке.

3. На основе теоретических и экспериментальных результатов работы установлено, что эффективность биологической очистки, главным образом, зависит от степени совершенства биохимических процессов окисления субстрата микроорганизмами активного ила и гидравлических характеристик технологической схемы системы очистки, включающей аэротенк, вторичный отстойник и рециркуляционный контур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хенце М., Аэрмос П., Ля-Кур-Ясен Й., Арван Э. Очистка сточных вод: Биохимические и химические процессы. — М.: Мир, 2004.
1. Khentse M., Aermos P., Lya-Kur-Yasen Y., Arvan E. Ochistka stochnykh vod: Biokhimicheskie i khimicheskie protsessy. — М.: Mir, 2004.

© Павлинова И. И., Юдин П. В., 2012

Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Павлинова И. И., Юдин П. В. Моделирование процессов идеального аэротенка-смесителя // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 179—184.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 69.002.5-52

А. В. Четвертнов, О. В. Бурлаченко

СОЗДАНИЕ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТРИБОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Работоспособность строительных машин в большой мере зависит от долговечности и износостойкости узлов трения. Именно поэтому внимание ученых акцентируется на изучении процессов, протекающих в узлах трения, повышении их долговечности, разработке различных методов и материалов, повышающих их износостойкость.

Активные работы по созданию информационных систем в области трибологии в мире и у нас в стране развернулись в середине 1980-х годов прошлого века. Был создан ряд информационных систем и баз данных по трибологии, но, к сожалению, из-за ослабления связей между трибологическими центрами и отсутствия в период спада производства интереса производителей к этим работам создание единой информационной системы не было завершено.

К л ю ч е в ы е с л о в а: единая информационная система, трибология, износ.

The efficiency of construction machines to a large extent depends on the durability and wear resistance of friction. That's why scientists attracted considerable attention to studying of the processes occurring in the friction, increasing their longevity, the development of various methods and materials that increase their wear resistance.

Active work on the development of information systems in the field of tribology in the world and in our country was developed in mid 80s of the last century. A number of information systems and databases on tribology was created, but unfortunately, due to the weakening of ties between the tribological centers and the lack of producers' interest to these works during the decline in production the creation of unified information system has not been completed.

К e y w o r d s: unified information system, tribology, wear out.

Работоспособность строительных машин в большой мере зависит от долговечности и износостойкости узлов трения. Именно поэтому внимание ученых акцентируется на изучении процессов, протекающих в узлах трения, повышении их долговечности, разработке различных методов и материалов, повышающих их износостойкость.

Один из наиболее важных процессов — износ, т. е. разрушение поверхностных слоев материалов при трении.

В результате износа понижается мощность двигателей внутреннего сгорания, на 25—30 % повышается степень загрязнения среды выхлопными газами, увеличивается расход горюче-смазочных материалов, возрастает утечка масел, ядовитых и взрывоопасных продуктов через сальники и уплотнения, ухудшается управление транспортными машинами, снижается точность и чистота обработки изделий на металлорежущих станках и т. д. Износ часто становится причиной аварийных разрушений. Заедание деталей или их заклинивание нередко влечет за собой аварии и даже катастрофы. Этими вопросами занимается наука трибология.

Сейчас, в век компьютеризации, все большие обороты набирает использование информационных систем. Существует множество различных экспертных систем, систем моделирования и проектирования различных процессов трибологии как в целом, так и в частности.

Активные работы по созданию информационных систем в области трибологии в мире и у нас в стране развернулись в середине 1980-х годов прошлого века. Был создан ряд информационных систем и баз данных по трибологии, но, к сожалению, из-за ослабления связей между трибологическими центрами и отсутствия в период спада производства интереса производителей к этим работам создание единой информационной системы не было завершено.

Решение проблемы рационального использования трибологической информации в научном и практическом применении может быть реализовано путем создания баз данных (БД), содержащих информацию по различным направлениям трибологии. При решении конкретных задач (выбор составов сред, методов испытаний и т. д.) наличие аналогов в БД позволяет сузить область поиска оптимальных вариантов.

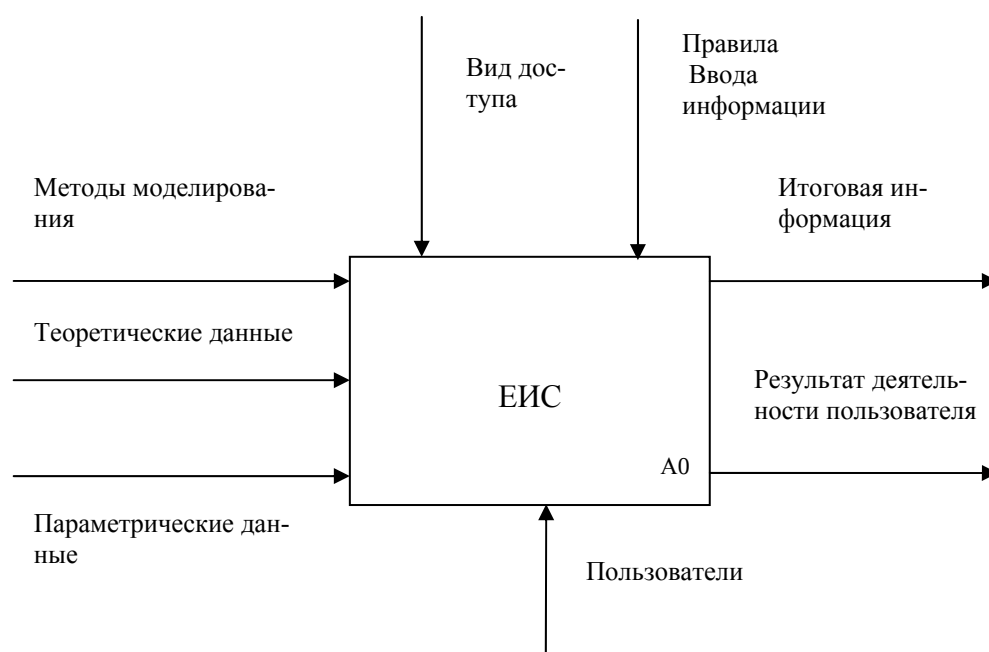


Рис. 1. Диаграмма использование ЕИС

БД обеспечивает надежное хранение данных и их достоверность, гибкую организацию и открытую структуру данных, обеспечивающую возможность их обновления и накопления, эффективный доступ к данным, защиту данных от несанкционированного доступа и уменьшение их избыточности.

Действительно, создание единого банка данных является актуальной проблемой современной трибологии, решение которой сильно упростило бы научное и практическое применение накопленных знаний.

В области последних достижений информационных и интернет-технологий решение данного вопроса напрашивается само. Создание и успешное использование целого ряда социальных сетей, а также известной системы Wiki, дают наглядный пример для решения поставленной задачи.

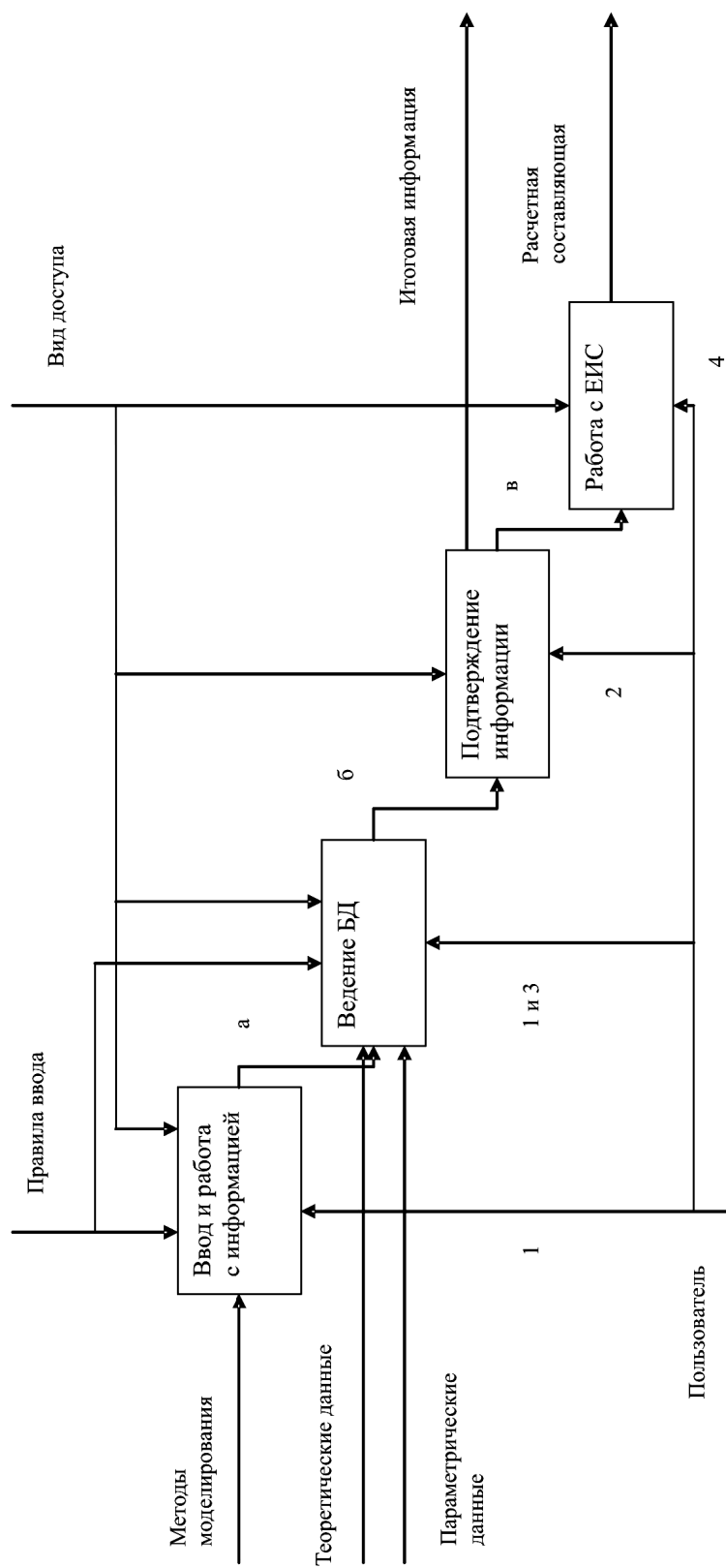


Рис. 2. Диаграмма использования ЕИС декомпозиция: 1, 2, 3, 4 — категории пользователей; а — алгоритм метода моделирования; б — информация для подтверждения; в — подтвержденная информация для моделирования

Основываясь на этих примерах, можно сделать вывод, что создание единой базы данных, это несколько устаревший формат решения данного вопроса. В современных условиях, используя web-технологии и Интернет, необходимо создание мощной единой информационной системы.

При создании единой информационной системы (ЕИС) необходимо учитывать распределение информации не только в научном направлении, но и в распределении прав пользователей. ЕИС необходимо создавать не только как базу знаний, но и как средство для дискуссий и проведения научных исследований. Исходя из этого можно классифицировать пользователей на несколько категорий.

1. Научные сотрудники университетов (профессора, аспиранты — лица, ведущие научные исследования).

2. Технические и научные специалисты предприятий и лабораторий (представители организаций, имеющих необходимое оборудование и экспериментальные стенды для проведения испытаний).

3. Администрации ЕИС (специалисты, которые будут заниматься обслуживанием ЕИС и модерацией информации, поступающей в БД).

4. Потребитель (пользователь, который будет использовать данные ЕИС).

Диаграмму использования ЕИС можно увидеть на рис. 1 и 2.

Как видно из рис. 1 и 2, предлагаемая ЕИС является мощной системой как для работы с теоретической информацией, так и для ведения научной деятельности, например по разработке методов моделирования узлов трения. В ЕИС также предусмотрены справочники параметрических данных, таких как виды материалов, порошков для напыления, смазочных материалов и т. д. Это будет необходимо для функционирования расчетного модуля системы.

Предполагается, что система станет площадкой для дискуссий научного сообщества, где можно будет проконсультироваться, обсудить интересующие вопросы, получить экспериментальное подтверждение новых методов моделирования.

В совокупности с площадкой для дискуссий, одной из важных частей ЕИС должна стать теоретическая БД, аналог Wiki по трибологии.

Реализация данной ЕИС поможет систематизировать данные трибологии в единой базе знаний, облегчить к ним доступ. Также появится возможность взаимодействия с различными специалистами, что намного упростит ведение научной и практической деятельности. Для конечного пользователя также будет доступна функция принятия конкретных решений для повышения износа узлов трения, снижения затрат на производстве, сокращения сроков на принятие управляющего решения. ЕИС — это мощный инструмент развития науки, соответствующий современным тенденциям и темпам развития промышленности, в том числе и развитию строительных машин.

© Четвертнов А. В., Бурлаченко О. В., 2012

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Четвертнов А. В., Бурлаченко О. В. Создание единой информационной трибологической системы для сопровождения и поддержки жизненного цикла строительных машин и оборудования // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 185—188.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 631.436

М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов, Ю. А. Калягин

ВЕРИФИКАЦИЯ РЕШЕНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕРМОВЛАГОПЕРЕНОСА В СЛОЕ СЫПУЧЕГО ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА НА ПРИМЕРЕ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Приведены итоги верификации аналитико-экспериментальных результатов исследования процессов термовлагопереноса в слое фрезерного торфа при инфракрасно-лучистом обогреве в натуральных условиях. В качестве натурального объекта выбрана модульная теплица, обогреваемая с помощью электрического источника инфракрасного излучения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сыпучий дисперсный материал, фрезерный торф, инфракрасно-лучистый обогрев, источник инфракрасного излучения, граничные условия, диффузионная задача, термическая задача, термовлагоперенос, модульная теплица.

Results of verification of analytical and experimental results of research of processes of heat and water transmission in a layer of milling peat at infrared heating in natural conditions are given in the article. The modular hothouse warmed by means of an electric source of infrared radiation is chosen as a natural object.

K e y w o r d s: loose disperse material, milling peat, infrared heating, source of infrared radiation, boundary conditions, diffusion problem, thermal task, heat and water transmission, modular hothouse.

В современном мире наука носит прагматичный характер, и ее результаты должны иметь практическую значимость. Поэтому любая теоретическая и экспериментальная работа требует последующей реализации в технике, производстве, экономике и т. п.

В контексте рассматриваемой научной проблемы, посвященной процессам термовлагопереноса в слое дисперсного материала на примере фрезерного торфа, итоги научно-исследовательской деятельности должны иметь «выход» на агропромышленный комплекс. Однако для таких целей необходимо дополнительно провести верификацию аналитико-экспериментальных результатов работы в натуральных условиях.

Как отмечалось в предыдущих работах авторов, умение прогнозировать температуру и влажность почвенной среды является первоочередной задачей в теплофизике почв. От этого зависит производительность аграрного сектора страны. Академиком АН БССР А. В. Лыковым и его учениками в области тепломассообмена разработано аналитическое описание сопряженных процессов диффузии энергии и вещества в дисперсных полифазных средах, которое возможно адаптировать с определенной долей точности при исследовании термовлагопереноса в слое почвы.

Результатом такой теоретической работы является математическая формулировка системы взаимосвязанных уравнений тепломассопереноса в дифференциальной форме [1]:

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = a_w \nabla^2 W + a_w \delta \nabla^2 t, \quad (1)$$

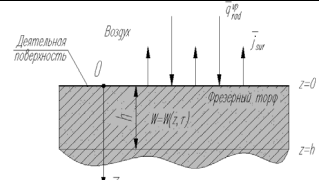
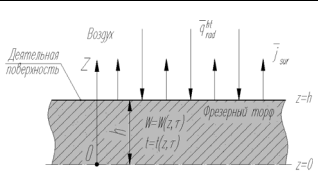
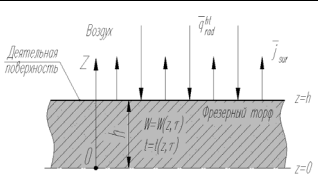
$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_t \nabla^2 t + \frac{r\varepsilon}{c_m} \frac{\partial W}{\partial \tau}, \quad (2)$$

где W — влагосодержание; t — температура; τ — время; a_w — коэффициент диффузии влаги; δ — термоградиентный коэффициент; a_t — коэффициент температуропроводности; r — теплота парообразования; ε — критерий фазового превращения; c_m — удельная массовая теплоемкость.

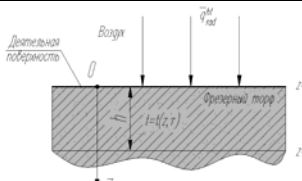
Решение системы взаимосвязанных дифференциальных уравнений вида (1) и (2) представляет определенные математические трудности. Лишь в редких случаях удастся получить точные аналитические решения. По мнению авторов настоящей работы, наиболее подходящими решениями задачи термовлагопереноса для условий инфракрасно-лучистого обогрева фрезерного торфа являются (табл. 1): метод источников [2], метод интегрального преобразования Фурье [3] и совмещенный метод интегрального преобразования Лапласа с вариационным методом Бубнова-Галеркина [4]. Выбор граничных условий связан со спецификой обогрева исследуемого материала (бесконтактный инфракрасный нагрев верхнего слоя почвы).

Т а б л и ц а 1

Варианты решения краевой задачи термовлагопереноса

Метод источников	Метод интегрального преобразования Фурье	Метод интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова — Галеркина
		
$\frac{\partial W(z, \tau)}{\partial \tau} = a_w^w \frac{\partial^2 W(z, \tau)}{\partial z^2}$ $\tau \geq 0, \quad 0 \leq z < h$ $W(z, 0) = W_h$ $a_w^w \rho \left(\frac{\partial W(z, \tau)}{\partial z} \right)_{z=0} = -j_{av}(0)$ $\left(\frac{\partial W(z, \tau)}{\partial z} \right)_{z=h} = 0$	$\frac{\partial W(z, \tau)}{\partial \tau} = a_w^w \frac{\partial^2 W(z, \tau)}{\partial z^2}$ $\frac{\partial t(z, \tau)}{\partial \tau} = a_t^w \frac{\partial^2 t(z, \tau)}{\partial z^2} + \frac{r\varepsilon_w}{c_m^w} \frac{\partial W(z, \tau)}{\partial \tau}$ $W(z, 0) = W_h, \quad t(z, 0) = t_h$ $a_w^w \rho \left(\frac{\partial W(z, \tau)}{\partial z} \right)_{z=h} = -j_{av}(h)$ $q_{av}(h) = -\lambda_t^w \left(\frac{\partial t(z, \tau)}{\partial z} \right)_{z=h}$ $\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial W(0, \tau)}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial P_1}{\partial \tau} = a_{11} \frac{\partial^2 P_1}{\partial z^2} + a_{12} \frac{\partial^2 P_2}{\partial z^2}$ $\frac{\partial P_2}{\partial \tau} = a_{21} \frac{\partial^2 P_1}{\partial z^2} + a_{22} \frac{\partial^2 P_2}{\partial z^2}$ $P_1 = W, \quad P_2 = t, \quad a_{11} = a_w^w,$ $a_{12} = a_w^w \delta_w, \quad a_{21} = \frac{a_w^w r \varepsilon_w}{c_m^w},$ $a_{22} = a_t^w + \frac{a_w^w \delta_w r \varepsilon_w}{c_m^w}$

Окончание табл. 1

Метод источников	Метод интегрального преобразования Фурье	Метод интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова — Галеркина
$\Theta(\xi, Fo_w) = 2Ki_w \sqrt{Fo_w} \operatorname{ierfc}\left(\frac{\xi}{2\sqrt{Fo_w}}\right)$		
		
$\frac{\partial t(z, \tau)}{\partial \tau} = a_t \frac{\partial^2 t(z, \tau)}{\partial z^2}$ $\tau \geq 0, \quad 0 \leq z \leq h$ $t(z, 0) = t_H$ $q_{av}(0) = -\lambda_t \left(\frac{\partial t(z, \tau)}{\partial z} \right)_{z=0}$ $\left(\frac{\partial t(z, \tau)}{\partial z} \right)_{z=h} = 0$	$\Theta(\xi, Fo_w) = Ki_w [Fo_w - \frac{1}{6}(1-3\xi^2) + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{n^2 \pi^2} \times \cos(n\pi\xi) \exp(-n^2 \pi^2 Fo_w)]$ $T(\xi, Fo_t) = Ki_t [Fo_t - \frac{1}{6}(1-3\xi^2) + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{n^2 \pi^2} \times \cos(n\pi\xi) \exp(-n^2 \pi^2 Fo_t)]$	$\Theta(\xi, Fo_w) = \frac{1}{2} Ki_w \xi^2 - \frac{1}{6} Ki_w + Ki_w Fo_w + Ki_t Fo_w Pn + a_2^{(1)}(Fo_w) \cos \pi \xi^*$ $T(\xi, Fo_t) = \frac{1}{2} Ki_t \xi^2 - \frac{1}{6} Ki_t + Ki_w Fo_w Ko^* + Ki_t (Fo_t + Fo_w Pn Ko^*) + a_2^{(2)}(Fo_t) \cos \pi \xi^{**}$
$T(\xi, Fo_t) = 2Ki_t \sqrt{Fo_t} \operatorname{ierfc}\left(\frac{\xi}{2\sqrt{Fo_t}}\right)$		

Примечание: $\xi = \frac{z}{h}$ — безразмерная координата; $Fo_w = \frac{a_w \tau}{h^2}$ и $Fo_t = \frac{a_t \tau}{h^2}$ — массо- и теплообменные числа Фурье; $Ki_w = \frac{j_{av}(0)h}{a_w \rho (W_H - W_K)}$ и $Ki_t = \frac{q_{av}(0)h}{\lambda_t (t_K - t_H)}$ — массо- и теплообменный критерии Кирпичева; $\Theta = \frac{W_H - W}{W_H - W_K}$ — безразмерное вла-
госодержание; $T = \frac{t - t_H}{t_K - t_H}$ — безразмерная температура; $Pn = \frac{\delta(t_K - t_H)}{W_H - W_K}$ — крите-
рий Поснова; $Ko = \frac{r(W_H - W_K)}{c_m(t_K - t_H)}$ — критерий Коссовича; $Ko^* = \varepsilon Ko$ — модифициро-
ванный критерий Коссовича; j_{av} — среднеинтегральная интенсивность испарения;
 q_{av} — среднеинтегральная плотность теплового потока.

$$a_2^{(1)}(Fo_W) = \frac{2}{\pi^2(\mu_1 - \mu_2)} \left\{ [(a_{11} - \mu_2)Ki_W + a_{11}Ki_tPn] \exp \left[-\frac{\pi^2\mu_1}{a_{11}} Fo_W \right] - [(a_{11} - \mu_1)Ki_W + a_{11}Ki_tPn] \exp \left[-\frac{\pi^2\mu_2}{a_{11}} Fo_W \right] \right\}, \mu_k = \frac{1}{2} \left[(a_{11} + a_{22}) + (-1)^{k+1} \sqrt{(a_{11} - a_{22})^2 + 4a_{12}a_{21}} \right];$$

$$a_2^{(2)}(Fo_W) = \frac{2}{\pi^2(\mu_1 - \mu_2)} \left\{ [a_{11}Ki_WKo^* + (a_{22} - \mu_2)Ki_t] \exp \left[-\frac{\pi^2\mu_1}{a_{11}} Fo_W \right] - [a_{11}Ki_WKo^* + (a_{22} - \mu_1)Ki_t] \exp \left[-\frac{\pi^2\mu_2}{a_{11}} Fo_W \right] \right\}, \mu_k = \frac{1}{2} \left[(a_{11} + a_{22}) + (-1)^{k+1} \sqrt{(a_{11} - a_{22})^2 + 4a_{12}a_{21}} \right]$$

В табл. 2 по итогам сравнительного анализа аналитических (табл. 1) и экспериментальных результатов составлена итоговая ведомость применения аналитических решений задачи термовлагопереноса для фрезерного торфа.

Таблица 2

Ведомость оптимальных решений краевой задачи термовлагопереноса

Критерий Фурье Fo	Безразмерная координата ξ				
	0	0,25	0,5	0,75	1,0
<i>Диффузионная задача</i>					
0,01	3	—	1 2 3	—	1 2 3
0,02	3	—	1 2	—	1 2
0,03	3	—	3	—	1 2
0,04	3	—	3	—	1 2
0,05	3	—	1 2	—	1 2
0,06	3	—	1 2	—	1 2
<i>Термическая задача</i>					
0,230	1	1	1	1	1
0,460	2	1	2	1	1
0,695	2	2	1	1	1
0,925	1	1	1	1	1
1,155	1	1	1	1	1
1,385	1	1	1	1	1

Примечание: 1 — метод источников; 2 — метод интегрального преобразования Фурье; 3 — метод совместного применения интегрального преобразования Лапласа и вариационного метода Бубнова — Галеркина

Для верификации итоговых данных (табл. 2) в натурных условиях проведено исследование температурно-влажностных полей фрезерного торфа в модульной теплице при лучистом обогреве. Несмотря на небольшую суммарную мощность отопительной системы, обыкновенная теплица

с инфракрасным излучателем может служить аналогом реальных агроклиматических систем закрытого типа. При положительных результатах можно подтвердить достоверность выбранных решений, при отрицательных — указать возможные причины таких отклонений.

На рис. 1 представлена модульная теплица из поликарбоната с размерами основания 3×4 м и высотой 2 м, в которой установлен электрический инфракрасный излучатель марки ЭЛК 6R ($1000 \times 160 \times 40$ мм). Каркас 1 теплицы зафиксирован на деревянном основании 2 при помощи продольных элементов и саморезов. Электрический инфракрасный излучатель 3 мощностью $N=600$ Вт закреплен на каркасе 1 посредством металлических цепей. Поверхность нагрева источника теплоты расположена на расстоянии $H = 50$ см от слоя фрезерного торфа 4. Интенсивность теплового воздействия от излучателя 1 величиной q_{inf} регистрировалась с помощью преобразователя плотности теплового потока 5, установленного на поверхности торфа и подключенного к измерительному блоку ИПП - 2. В течение всего наблюдения проемы 6 находились в следующих состояниях: фрамуга — в полуоткрытом положении, входная дверь в теплицу — в закрытом.

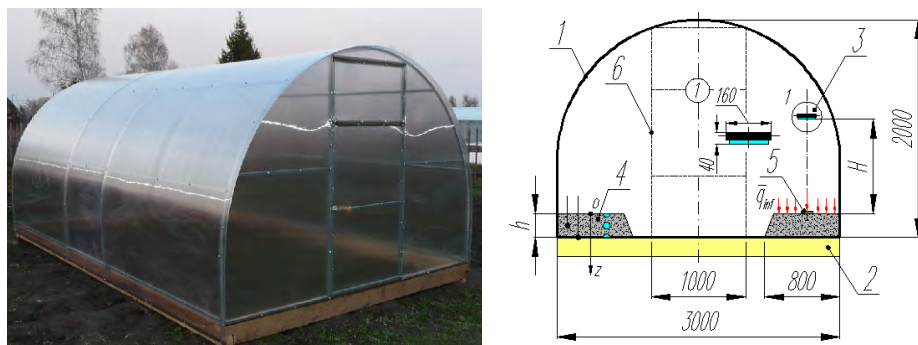


Рис. 1. Модульная теплица с размерами основания 3×4 м и высотой 2 м из поликарбоната с лучистым отоплением: 1 — металлический каркас; 2 — фундамент; 3 — инфракрасный излучатель; 4 — фрезерный торф; 5 — преобразователь плотности теплового потока; 6 — проемы в теплице

Замеры температуры торфа t , °C, на отметках $h/2$ и h выполнены с помощью термометров ТТЖ—М. Температура на поверхности при $z = 0$ измерялась с помощью пирометра Testo 845. С тех же позиций взяты пробы фрезерного торфа для определения влагосодержания W , г/г.

Для нахождения конвективной составляющей и теплоты испарения влаги из торфа использован электронный термогигрометр Testo 625, по которому снимались показания по температуре t_a , °C, и относительной влажности ϕ_a , %, внутреннего воздуха в теплице.

Период наблюдения составил $\Delta t = 43200$ с. Дискретность измерений плотности теплового потока, влагосодержания и температуры равнозначная — $\chi = 14400$ с, $n_\chi = 3$, где n_χ — число проведенных замеров.

Среднее начальное влагосодержание по глубине слоя торфа $h=15$ см $W_H = 2,74$ г/г (среднеарифметическое значение по трем взятым пробам), конечное — 0. Начальная температура по данным термометров ТТЖ—М и пирометра Testo 845 — $t_H = 18,6$ °С, конечная — $t_K = 35,0$ °С. Массо- и теплообменные критерии Кирпичева соответственно $Ki_W = 1,103$ и $Ki_t = 0,780$, число Лыкова $Lu = 0,035$, Коссовича $Ko^* = 0$, Поснова $Pn = 0,065$. Плотность скелета торфа $\rho = 0,139$ г/см³. Теплофизические характеристики фрезерного торфа, необходимые для решения краевой задачи термовлагопереноса, определены в предыдущих работах, например в статье [5].

Матрицы безразмерного влагосодержания $\Theta(\xi_i, Fo_{1j})$ и безразмерной температуры $T(\xi_i, Fo_{2j})$, рассчитанные в соответствии с табл. 2, сведены в табл. 3.

Таблица 3

Матрицы безразмерных влагосодержаний и температур фрезерного торфа

	Fo_1 / ξ	0	0,5	1,0		Fo_2 / ξ	0	0,5	1,0
	0	0	0	0		0	0	0	0
○	0,01	0,177	0	0	○	0,245	0,436	0,152	0,038
◇	0,02	0,208	0	0	◇	0,490	0,641	0,350	0,126
Δ	0,03	0,236	0	0	Δ	0,735	0,833	0,428	0,218

На рис. 2 представлен график, построенный по результатам натурных измерений и аналитических расчетов (табл. 3).

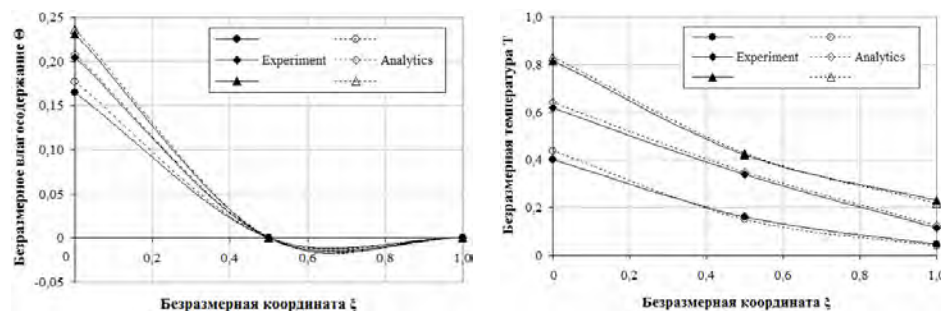


Рис. 2. Одномерное нестационарное влажностное (левый) и температурное (правый) поле (безразмерный вид) при $Lu = 0,035$; $Pn = 0,065$; $Ko^* = 0$

В соответствии с рис. 2 аналитическое описание процессов термовлагопереноса с применением системы решений линейных задач тепломассообмена (табл. 1) сопоставимо с фактическими наблюдениями. Если принять экспериментальные результаты за истинные, то среднеарифметические относительные погрешности расчетных значений: $\delta_\Theta = 1,3$ % и $\delta_T = 6,2$ %. Вероятно, значения отклонений будут выше, если увеличить дискретность

расчетов по координате. В любом случае полученный результат с учетом сложности сопряженных процессов термовлагопереноса является достаточно точным, а значит, применимым на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лыков А. В.* Тепломассообмен: справочник. — М. : Энергия, 1972. — 560 с.
2. *Лыков А. В.* Теория теплопроводности: учеб. для вузов. — М. : Высшая школа, 1967. — 600 с.
3. *Лыков А. В.* Теория переноса энергии и вещества / А. В. Лыков, Ю. А. Михайлов. — Мн. : Изд-во АН БССР, 1963. — 332 с.
4. *Цой, П. В.* Методы расчета отдельных задач тепломассопереноса. — М. : Энергия, 1971. — 384 с.
5. *Павлов М. В.* Экспериментально-расчетное определение температуропроводности и теплопроводности фрезерного торфа методом мгновенной пластины / В. И. Игонин, М. В. Павлов, Д. Ф. Карпов, М. И. Иванов // Вузовская наука — региону: Материалы девятой всеросс. науч. техн. конф. В 2-х т. — Вологда : ВоГТУ, 2011. — Т. 1. — С. 166—170.

1. *Lykov A. V.* Teplomassoobmen: spravochnik. — M. : Energiya, 1972. — 560 s.
2. *Lykov A. V.* Teoriya teploprovodnosti: ucheb. dlya vuzov. — M. : Vysshaya shkola, 1967. — 600 s.
3. *Lykov A. V.* Teoriya perenosa energii i veshchestva / A. V. Lykov, Yu. A. Mikhailov. — Mn.: Izd-vo AN BSSR, 1963. — 332 s.
4. *Tsoi P. V.* Metody raschyota otdelnykh zadach teplomassoperenosa. — M. : Energiya, 1971. — 384 s.
5. *Pavlov M. V.* Eksperimentalno-raschyotnoe opredeleniye temperaturoprovodnosti i teploprovodnosti frezernogo torfa metodom mgnovennoi plastiny / V. I. Igonin, M. V. Pavlov, D. F. Karpov, M. I. Ivanov // Vuzovskaya nauka — regionu: Materialy devyatoi vserossiyskoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii. V 2-kh t. — Vologda : VoGTU, 2011. — T. 1. — S. 166—170.

© Павлов М. В., Карпов Д. Ф., Калягин Ю. А., 2012

Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Павлов М. В., Карпов Д. Ф., Калягин Ю. А. Верификация решения краевой задачи термовлагопереноса в слое сыпучего дисперсного материала на примере фрезерного торфа в натуральных условиях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 189—195.

УДК 691.32

Т. А. Хежеев, У. З. Кимов, К. Х. Думанов

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ И ЖАРОСТОЙКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Эффективным способом повышения предела огнестойкости строительных конструкций является облицовка конструкций плитными материалами. Предложены составы пенобетонов на вулканических горных породах для изготовления плит, имеющие повышенные огнезащитные свойства при меньшем расходе портландцемента. Экспериментально выявлена зависимость предела огнестойкости армоцементных конструкций от толщины и состава пенобетонов на кварцевом песке и отходов пиления вулканического туфа. Исследованы жаростойкие свойства цементного камня и бетона на основе отходов пиления вулканического туфа.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ячеистобетонные плиты, пенобетон, вулканический туф.

The effective way to increase the limit of fire resisting building constructions is revetment of these constructions by slabby materials. Compositions of foam concrete based on volcanic rock materials for production of slabs with increased fire resisting properties and lower artificial cement expense are offered. The dependence of the limit of fire resistance of agrocement constructions on thickness and composition of foam concrete based on silica sand and volcanic tuff sawing wastes was determined experimentally. Heat resisting properties of cement stone and concrete based on volcanic tuff sawing wastes was analyzed.

K e y w o r d s: cellular-concrete slabs, foam concrete, volcanic tuff.

Эффективным способом повышения предела огнестойкости строительных конструкций является нанесение теплоизолирующих огнезащитных покрытий и облицовка конструкций плитными материалами [1].

В строительстве для огнезащиты используют ячеистобетонные плиты на основе портландцемента, кварцевого песка и порообразователя [2]. Эффективность использования ячеистобетонных плит для огнезащиты строительных конструкций обуславливается тем, что они одновременно могут выполнять теплозащитные и декоративно-акустические функции. Недостатками этих составов являются высокий расход портландцемента, относительно высокий коэффициент теплопроводности и низкая трещиностойкость ячеистого бетона при высоких температурах во время пожара.

Известно, что цементный камень, изготовленный из портландцемента без введения специальных тонкомолотых добавок, не является стойким при воздействии высоких температур [3]. После нагревания при температуре выше 500 °С и последующего охлаждения происходит разрушение цементного камня, в основном, вследствие вторичной гидратации оксида кальция. Для придания жаростойких свойств цементному камню рекомендуют вводить тонкомолотую добавку, содержащую требуемые количества SiO_2 и Al_2O_3 . В случае, если микронаполнитель является одновременно и гидравлической добавкой, то влияние его сказывается уже в условиях нормального твердения цементного камня в частичном связывании гидрооксида кальция и переводе его в гидросиликаты и гидроалюминаты кальция.

При введении тонкомолотых добавок жаростойкие свойства цементного камня и бетона улучшаются, однако в разной степени, в зависимости от вида, а также и количества добавок. С увеличением количества добавки начальная прочность цементного камня снижается, но увеличивается прочность при сушке.

На территории Кабардино-Балкарской республики имеются большие запасы горных пород вулканического происхождения (туфы, пеплы, пемзы и др.). Запасы туфов Кабардино-Балкарии могут удовлетворить потребности не только республики, но и нужды близлежащих районов Северного Кавказа и юга Российской Федерации.

Нами было исследовано влияние зернового состава и количества добавок отходов пиления вулканического туфа Заюковского месторождения на прочностные, огнезащитные и жаростойкие свойства цементного камня и бетона. Отходы пиления туфа рассматривались в качестве заполнителя в бетон и активной минеральной добавки в цементный камень.

Эффективность применения вулканических горных пород в пенобетонах для ограждающих конструкций выявлена нашими исследованиями [4]. Это обуславливается тем, что из 60...75 % кремнезема, входящего в их состав 30...35 % находится в аморфном (активном) состоянии. Кроме того, мелкодисперсность таких материалов позволяет исключить энергоемкий процесс помола заполнителя. Максимальный размер зерен туфового песка для пенобетона составлял 1,25 мм.

В результате исследований разработаны составы теплоогнезащитных ячеистых пенобетонов (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Соотношения компонентов в смеси и физико-механические свойства ячеистобетонных теплоогнезащитных пенобетонов

№ составов	Соотношение компонентов в смеси, мас. %								Средняя плотность ρ , кг/м ³	Прочность на сжатие R , МПа
	Цемент	Кварцевый песок	Туфовый песок	Известь	Гипс	Волокно	Пена	Вода		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	35,7	35,7	—	—	—	—	1,35	27,25	520	0,8
2	33,5	—	33,5	—	—	0,9	1,27	30,83	516	1,5
3	35,4	35,4	—	—	—	—	0,9	28,3	710	1,8
4	33,7	—	33,7	—	—	0,7	0,7	31,2	710	2,9
5	33,8	—	33,8	—	—	—	1,25	31,15	516	1,11
6	16,1	—	32,2	16,1	0,9	—	1,25	33,45	513	1,36
7	34,0	—	34,0	—	—	—	0,7	31,3	705	2,2
8	16,4	—	33,5	16,4	0,8	—	0,7	32,2	700	2,3

Из табл. 1 следует, что предлагаемые составы 2, 4...8 при меньшем расходе портландцемента и при примерно одинаковой плотности ячеистых бетонов имеют более высокие значения прочности на сжатие, что обусловлено гидравлической активностью отходов пиления вулканического туфа, а также благоприятным влиянием дисперсного армирования на характер пористости (повышение однородности пористости, уменьшение среднего диаметра пор). Дисперсное армирование пенобетонов синтетическими волокнами также повышает их прочность на растяжение при изгибе в 1,4...4 раз, что позволяет изготавливать плиты больших размеров. Использование негашеной извести и гипса в качестве возбuditеля скрытой гидравлической активности туфового песка позволяет уменьшить расход цемента в два раза без снижения прочности на сжатие.

Для исследования огнезащитной эффективности предлагаемых огнезащитных составов формовались армоцементные плиты с ячеистобетонным слоем. Армоцементный слой формовали на стандартной виброплощадке, фиксацию мелко-

ячеистой сетки и стержневой арматуры выполняли известными способами. Огнезащитный ячеистобетонный слой формовали литьевым способом и осуществляли естественную сушку в воздушно-сухих условиях. Изготавливались также ячеистобетонные плиты литьевым способом с проведением тепловлажностной обработки.

Испытания на огнестойкость проводили на образцах размерами 190×190 мм на электрической печи в горизонтальном положении по температурному режиму «стандартного» пожара, регламентированному ГОСТ 30247.0—94. Предел огнестойкости по несущей способности, R , армоцементных плит оценивали по прогреву тканой сетки в конструктивном слое (на границе слоев) до 300 °С. Влажности мелкозернистого бетона армоцементного слоя и ячеистого бетона огнезащитного слоя к моменту испытаний составляли соответственно 3...4 % и 8...12 %. Во время огневых испытаний двухслойных элементов нарушений их целостности не обнаружено.

В табл. 2 приведены результаты испытаний на огнестойкость двухслойных армоцементных и ячеистобетонных плит на основе контрольных и предлагаемых составов.

Т а б л и ц а 2

*Результаты испытаний на огнестойкость двухслойных
армоцементных и ячеистобетонных плит*

№ образцов	Двухслойные армоцементные плиты		№ огнезащитных составов	Предел огнестойкости плит, мин	
	Армоцементный слой толщиной, мм	Огнезащитный слой толщиной, мм		По несущей способности, R	По теплоизолирующей способности, E
1	2	3	4	5	6
1	20	25	1	60	63
2	20	25	2	78	80
3	20	25	3	73	75
4	20	25	4	93	92
5	20	25	5	72	75
6	20	25	6	73	74
7	20	25	7	85	85
8	20	25	8	84	86
9	—	25	1	—	21
10	—	25	2	—	31
11	—	25	3	—	25

Из табл. 2 видно, что предлагаемые составы 2...8 обеспечивают более высокие пределы огнестойкости двухслойных армоцементных и ячеистобетонных плит. Пенобетоны на туфовом песке, армированные волокнами имеют более высокую трещиностойкость и лучшую сохранность после воздействия высоких температур, чем пенобетоны на кварцевом песке. Наиболее высокими огнезащитными свойствами обладают составы со средней плотностью 700...710 кг/м³.

В дальнейшем было исследовано влияние зернового состава и количества добавок отходов пиления вулканического туфа Заюковского месторождения на прочностные и жаростойкие свойства цементного камня и бетона. Отходы пиления туфа рассматривались в качестве заполнителя в бетон и активной минеральной добавки в цементный камень. Максимальный размер зерен отходов пиления вулканического туфа составлял 5 мм.

В качестве вяжущего были использованы два вида портландцемента: ПЦ 500-ДО производства ЗАО «Старооскольский цементный завод» и ПЦ 500-Д 20 производства ЗАО «Кавказцемент».

Образцы размерами 5×5×5 см из чистого портландцемента и портландцемента с добавками отходов пиления вулканического туфа изготавливали литьевым способом. Твердение образцов проходило в воздушно-сухих условиях. Подвижность смеси всех составов, определяемая на вискозиметре Суттарда, для изготовления образцов равнялась 120 мм. Количество добавок отходов пиления туфа к цементу принималось 20, 40, 60, 80 % с размерами зерен: $0 < d < 0,08$ мм, $0 < d < 0,14$ мм, $0 < d < 0,63$ мм, $0 < d < 1,25$ мм, $0 < d < 5$ мм. После высушивания до постоянного веса образцы нагревали в камерной электрической печи со скоростью подъема температуры 150 °С/ч до 600, 800 °С, выдерживали при требуемой температуре 4 ч и остывали вместе с печью до комнатной температуры.

Результаты исследований свойств составов на портландцементе ПЦ 500-ДО с добавками отходов пиления вулканического туфа приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Физико-механические свойства цементного камня и бетона на портландцементе ПЦ 500-ДО с добавками отходов пиления туфа

Количество добавки, % по массе	Свойства цементного камня (бетона)								
	Средняя плотность, кг/м ³ , в возрасте 28 сут			Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте 28 сут				Усадка, %, в возрасте 28 сут	
	Температура нагрева, °С			Температура нагрева, °С				Температура нагрева, °С	
	20	600	800	20	105	600	800	600	800
ПЦ 500-Д 20 без добавки									
0	1840	1670	1660	50,9	51,7	31,0	23,2	1,23	1,68
ПЦ 500-Д 20, добавка с размерами зерен $0 < d < 0,08$ мм									
20	1710	1580	1540	44,9	50,2	36,6	34,6	0,83	0,88
40	1570	1470	1450	24,3	28,3	19,7	17,5	0,75	0,84
60	1390	1320	1300	15,7	17,7	14,9	12,7	0,74	0,82
80	1200	1150	1140	4,2	4,9	3,6	3,3	0,68	0,77
ПЦ 500-Д 20, добавка с размерами зерен $0 < d < 0,14$ мм									
20	1690	1570	1530	45,0	49,9	33,8	29,6	0,88	0,89
40	1480	1390	1370	26,7	30,7	19,3	17,1	0,80	0,82
60	1350	1290	1280	19,5	21,5	16,4	14,0	0,83	0,87
80	1220	1200	1190	5,4	6,3	4,7	3,5	0,81	0,85
ПЦ 500-Д 20, добавка с размерами зерен $0 < d < 0,63$ мм									
20	1720	1600	1560	21,2	22,6	15,0	12,7	0,74	0,75
40	1580	1490	1480	13,6	15,2	9,5	7,9	0,72	0,74
60	1510	1470	1460	11,4	12,4	9,3	7,2	0,70	0,68
80	1370	1330	1320	3,7	4,0	3,7	3,4	0,69	0,71
ПЦ 500-Д 20, добавка с размерами зерен $0 < d < 1,25$ мм									
20	1740	1630	1570	22,6	23,4	17,3	15,1	0,73	0,74
40	1690	1620	1570	16,2	17,5	11,7	9,8	0,71	0,73
60	1590	1530	1520	11,2	11,7	10,1	8,6	0,68	0,70
80	1450	1400	1390	5,1	5,3	4,9	4,5	0,69	0,71
ПЦ 500-Д 20, добавка с размерами зерен $0 < d < 5$ мм									
20	1700	1570	1540	22,8	23,5	16,4	15,0	0,67	0,70
40	1530	1440	1420	15,7	16,4	14,8	12,1	0,68	0,70
60	1410	1370	1360	11,5	12,1	10,1	9,4	0,66	0,69
80	1300	1240	1230	4,0	4,3	3,3	2,9	0,65	0,65

Из табл. 3 следует, что с увеличением количества добавки отходов пиления вулканического туфа к цементу происходит снижение средней плотности и прочности на сжатие цементного камня и бетона. Размеры зерен добавки не оказывают существенного влияния на характер уменьшения средней плотности бетона. В портландцемент ПЦ 500-ДО можно вводить до 20 % отходов пиления туфа с максимальными размерами зерен до 0,14 мм без существенного уменьшения прочности на сжатие цементного камня образцов нормального твердения, что обусловлено гидравлической активностью мелкодисперсных частиц. Увеличение размеров зерен больше 0,14 мм приводит к значительному уменьшению прочности на сжатие бетона (2 и более раза), даже при небольшом количестве добавки.

При высушивании образцов до 105 °С прочность их как без добавок, так и с добавкой отходов пиления туфа повышается, что объясняется самозапаркой цементного камня при сушке. При нагреве до 600 и 800 °С прочность образцов без добавок составляла соответственно 55...60 % и 43...45 %, а с добавками отходов пиления туфа — 63...92 % и 52...85 % прочности высушенных образцов. Оптимальное соотношение по массе цемент-туфовый песок — 80:20 или 70:30 для цементного камня с максимальными размерами зерен туфа до 0,14 мм, а для туфобетонов — до 5 мм.

Усадка цементного камня и бетона с добавкой отходов пиления вулканического туфа при нагреве до 600...800 °С снижается в два и более раза по сравнению с образцами без добавок. С увеличением размеров зерен туфового песка снижаются усадочные деформации при нагреве.

Исследования на портландцементе ПЦ 500-Д 20 показали, что влияние добавок отходов пиления вулканического туфа на прочностные и жаростойкие свойства цементного камня и бетона аналогично составам на портландцементе ПЦ 500-ДО. Вместе с тем введение небольшого количества добавки (20...40 %) значительно снижает прочность на сжатие цементного камня и бетона (в 3...5 раз), что обусловлено наличием активной минеральной добавки в самом портландцементе ПЦ 500-Д 20. Гранулометрический состав добавки не оказывает существенного влияния на свойства цементного камня и бетона.

Таким образом, применение мелкодисперсных отходов пиления вулканического туфа позволит уменьшить расход портландцемента и повысить огнезащитные и жаростойкие свойства цементного камня и бетонов на их основе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Хежев Т. А.* Технология армоцементных конструкций высокой огнестойкости с теплозащитным слоем из эффективного легкого бетона: дис... д-ра техн. наук. — Ростов н/Д, 2007. — 304 с.
2. *Яковлев А. И.* Расчет огнестойкости строительных конструкций. — М. : Стройиздат, 1988. 142 с.
3. *Некрасов К. Д., Масленникова М. Г.* Легкие жаростойкие бетоны на пористых заполнителях. — М. : Стройиздат, 1982. — 152 с.
4. *Хежев Т. А., Пухаренко Ю. В., Хаишукаев М. Н.* Пенобетоны на основе вулканических горных пород // Строительные материалы. 2005. № 12. — С. 55—57.

1. Khezhev T. A. Tekhnologiya armoementnykh konstruktsey vysokoy ognestoykosti s teplo-zashchitnym sloem iz effektivnogo legkogo betona: diss. ...d-ra. tekhn. nauk. — Rostov n/D, 2007. — 304 s.
2. Yakovlev A. I. Raschet ognestoykosti stroitelnykh konstruktsey. — M. : Stroyizdat, 1888. — 142 s.
3. Nekrasov K. D., Maslennikova M. G. Legkiye zharostoykiye betony na poristyykh zapolnitelyakh. — M. : Stroyizdat, 1982. — 152 s.
4. Khezhev T. A., Pukhareno Yu. V., Khashukaev M. N. Penobetony na osnove vulkanicheskikh gornyykh porod // Stroitelnye materialy. 2005. № 12. — S. 55—57.

© Хежев Т. А., Кимов У. З., Думанов К. Х., 2012

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Хежев Т. А., Кимов У. З., Думанов К. Х. Огнезащитные и жаростойкие свойства цементных бетонов на основе вулканических горных пород // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 196—201.

УДК 666.762.16-127

В. Н. Соков, А. Э. Бегляров, Д. Ю. Землянушнов, Д. В. Жабин

ПОЛУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ГИДРОТЕПЛОСИЛОВОМ ПОЛЕ

Рассматривается состояние производства высокотемпературной теплоизоляции в России. Показана возможность получения энергоэффективных, безотходных и менее материалоемких изделий повышенного качества в гидротеплосиловом поле. Рассмотрены аспекты тепло- и массопереноса при комплексном воздействии на формируемые массы внутриобъемного давления, создаваемого путем введения в формируемые массы электрической энергии. Показаны технико-экономические преимущества производства теплоизоляционных огнеупоров с использованием гидротеплосиловой обработки.

К л ю ч е в ы е с л о в а: огнеупоры, высокотемпературная теплоизоляция, гидротеплосиловое поле, теплоперенос, массоперенос, самоуплотнение.

In this work condition of production of high temperature thermal-insulate materials in Russia is considered. It is shown how to get energy-effective, waste-free and less metal-intensive articles of improved quality in hydrothermalforce field. The aspects of heat- and mass carry by complex influence on formed masses of in-volume pressure created by imposition of electric power in formed masses are considered. Technical and economic advantages of the thermal-insulate refractory production with use of hydrothermalforce processing are shown.

K e y w o r d s: refractories, high-temperature heat-insulation, hydrothermoforce field, heat transfer, mass transfer, self-consolidation.

Анализ производства теплоизоляционных огнеупоров показывает, что их технологии многодельны, энергоемки и в большинстве случаев далеки от оптимальных.

Сейчас на специализированных предприятиях при выпуске теплоизоляционных огнеупоров используют в основном пеновый метод (75 %), комбинированный метод (5 %), способ выгорающих добавок (6 %) и метод создания волокнистого каркаса (14 %). Около 85 % теплоизоляционных огнеупоров изготавливают по литевой технологии в индивидуальных металлических формах на один кирпич. Менее 8 % изделий формируют в виде блоков на 2...3 кирпича. Сушка длится 2...5 суток. Технологии характеризуются значительными отходами (до 60 %) от обрезки и шлифовки изделий и применением ручного труда [1].

В целом же по стране требуемый расход жаростойких теплоизоляционных изделий на единицу конечной продукции значительно превышает технически необходимый уровень, поэтому огнеупорная промышленность удовлетворяет необходимость потребителей в этих материалах лишь на 50 %.

В связи с этим, с одной стороны, поиск безотходных и менее материалоемких технологий, повышение качества изделий, их долговечность, а с другой — путей интенсификации производства, снижение затрат топливно-энергетических ресурсов за счет применения качественно новых приемов тепловой обработки, являются актуальными проблемами.

В МГСУ по единой базовой технологической схеме-самоуплотнении масс, разработаны различные виды теплоизоляционных огнеупоров: шамотные и бесшамотные, высокоглиноземистые, корундовые, волокнистые. Изделия

можно получать с различной структурой: ячеистой, ячеисто-волокнутой, армированной и разноплотной. Технология не имеет аналогов в зарубежной и отечественной практике и может быть применена с соответствующими коррективами для любого типа теплоизоляционных огнеупорных изделий [2, 3].

Сейчас на 1 м³ изделий расходуется от 400 до 1200 кг шамота, на что затрачивается от 50 до 150 кг условного топлива. Исключение шамота из состава масс весьма важный фактор, определяющий экономику предприятия.

Однако мировой опыт показал, что получить изделия из чистых глин пока не удавалось из-за значительных воздушных усадок, вызывающих коробление, растрескивание и катастрофическое разрушение сырца. Поэтому в шихту вводят около девяти компонентов, и даже при этом сушка длится более трех суток.

Новая технология позволила исключить из состава шихты шамот и перейти к двухкомпонентной системе, сократить срок сушки до двух часов.

На Подольском заводе огнеупорных изделий была смонтирована высокомеханизированная и автоматизированная роторно-конвейерная линия. Она занимает один шестиметровый пролет производственного цеха и состоит из следующих взаимосвязанных узлов: узел механизированной разливки формовочной массы в блок — формы, формующий модуль; узел распалубки блок-форм; шестиметровое щелевое сушило, узел садки сырца на обжиг. Весь цикл формирования от заливки формовочной массы до выхода сырцов из щелевого сушила длится 2 часа, тогда как в существующей заводской технологии — 72...90 часов.

Новая технология даст возможность повысить технико-экономические показатели производства теплоизоляционных огнеупоров. Экономический эффект складывается из следующих составляющих.

1. Значительного снижения материалоемкости изделий при сохранении механических свойств. Так, например, при производстве дистенсиллиманитового теплоизоляционного огнеупора по новой технологии за счет ликвидации отходов от обрезки и шлифовки, и снижения средней плотности изделий с 800 до 700 кг/м³. Экономится до 400 кг ценного дефицитного сырья.

2. Ликвидации большого парка металлических форм и сушильного отделения.

3. Исключение шамотно-приготовительного конвейера (с помолем и рассевом по фракциям).

Одним из наиболее энергоемких и длительных технологических переделов при изготовлении теплоизоляционных огнеупорных материалов является их тепловая обработка, которая (в большинстве случаев) состоит из этапов конвективной сушки и стабилизации структуры.

Высокая энергоемкость процесса определена его условиями, в соответствии с которыми испарение влаги происходит в объеме материала по мере его нагрева, а ее удаление — с поверхности (внутренняя и внешняя задачи тепло-, массопереноса). Определяющими интенсивными величинами являются: влажность и температура. Влияние давления проявляется только в области высоких температур и обусловлено внутренним сопротивлением среды движения влаги, расширением воздуха в замкнутых микропорах, а также молекулярным натеканием воздуха (движение Кнудсена) через микрокапилляры.

Энергоемкость процесса может быть снижена различными технологическими приемами, в том числе и удалением влаги без испарения (через жидкую фазу) за счет создания избыточного давления в замкнутом объеме. В рассматриваемом семействе технологий избыточное давление создается введением в формуемые массы активных добавок, которые в процессе тепловой обработки или без нее формируют регулируемую пористость.

Молекулярный массоперенос и наличие значительных давлений в замкнутом объеме изменяют соотношение между интенсивными величинами, характеризующими «традиционную» сушку, в частности во много раз снижается роль градиента влажности [7].

Массоперенос в условиях замкнутого объема характеризуется высокой интенсивностью процессов фильтрации и уплотнения — с одной стороны, и взаимосвязью с изменением температур и давлений — с другой. По сути речь может идти о едином пространстве (в пределах уплотняемого объема), процессы в котором обусловлены взаимодействием полей влажности, температур и давлений — объединенных общим понятием *гидротеплосиловое поле* (ГТСП). В частном случае, при анализе процессов интенсифицируемых электропрогревом необходимо учитывать и влияние электрического поля в его взаимосвязи с компонентами ГТСП.

Роль поля температур проявляется двояко: во-первых, в процессах, связанных непосредственно с теплопереносом и генерированием (удалением) тепла внутренними источниками; во-вторых — в формировании поля давлений. Дифференциальное уравнение переноса тепла, выведенное из условия, что изменение теплосодержания объема, подвергаемого воздействию поля, в единицу времени равно сумме дивергенции плотности потока энергии из объема и энергии, создаваемой (удаляемой) в самом объеме, имеет вид:

$$\partial t / \partial \tau = 1 / c\rho (\Delta q_t + \varepsilon_t). \quad (1)$$

Поток энергии имеет две составляющие: кондуктивную, характеризующую перенос энергии за счет теплопроводности и массовую, характеризующую плотностью суммарного потока влаги (q_m) и ее энтальпией (i')

$$q_t = \lambda \Delta t + i' q_m. \quad (2)$$

Принимая среду в уплотняемом объеме как квазиоднородную [4] и рассматривая реальный процесс как переход через бесконечное число равновесных состояний [5] представляем дифференциальное уравнение переноса тепла в виде:

$$\partial t / \partial \tau = \lambda \Delta^2 t / c\rho + i' q_m / c\rho + 1 / c\rho. \quad (3)$$

Внутренними источниками (стоками) тепла в рассматриваемых процессах (ε_t) являются эндо- и экзотермические реакции, локальные фазовые переходы (в том числе и на границах раздела), выделение тепла при электропрогреве. Плотность потока электричества (электрический ток) в этом случае обусловлена градиентом потенциалов электрического поля на границах уплотняемого объема $\rho_i \Delta \phi$ и переносом зарядов движущейся фазой $i q_m$

$$q_i = \rho_i \Delta \phi + i q_m. \quad (4)$$

В данном случае i — относительная плотность носителей электрического заряда в потоке вещества, имеющая физический смысл доли, приходящейся на «электрический ток течения» в общей плотности потока электричества.

Изменение давления в уплотняемом объеме устанавливается исходя из условия неразрывности потоков вещества и с учетом аддитивности самого интенсивного параметра, при этом учитываются потери на вязкое трение и за счет релаксационных (или наоборот) процессов, обусловливаемых массопереносом:

$$\partial p / \partial \tau = \chi + 1 \epsilon_p / \eta p + 1 \Delta q_m / \rho. \quad (5)$$

Функция χ имеет физический смысл тензора напряжений и характеризует закономерность связи между потенциалопределяющими факторами (температурой и (или) скоростью химических реакций) и создаваемым давлением. В основе этой связи лежат химические или физико-химические процессы расширения паров воды, паровоздушной смеси, химического газообразования.

Дифференциальное уравнение влагопереноса может быть сформулировано с использованием методологической базы теории А. В. Лыкова [6], согласно которой бесконечно малое локальное изменение влагосодержания в уплотняемом объеме равно бесконечно малому изменению влагосодержаний за счет отжатия жидкости, химической иммобилизации и фазового перехода:

$$\partial u / \partial \tau = \Delta q_{ж} + (\epsilon_p + \epsilon_a). \quad (6)$$

При воздействии на уплотняемый объем гидротеплосилового поля определяющими составляющими потенциала массопереноса являются градиенты давлений и температур. Общую сумму потока массы (влаги) можно представить как сумму плотностей этих частных потоков:

$$q_m = a_p \Delta P + a_m \rho \delta_t \Delta t. \quad (7)$$

Коэффициент a_p характеризует влагопроницаемость материала при движении влаги в виде жидкости за счет избыточного давления, а a_m паропроницаемость при наличии молярного переноса.

Независимо от конкретных источников (горячий воздух, пар, ВОТ, электроэнергия) тепло может либо создаваться в уплотняемом объеме, либо подводиться извне. Характер потоков тепла в массе при этом инвариантен как к вещественной природе матрицы (водных растворов органического или минерального вяжущего), так и к виду уплотняемого компонента.

При прогреве за счет внутренних источников распределения температур носит параболоидный характер из-за потерь тепла в окружающую среду, пограничные области уплотняемого объема отстают от центральных. Распределение давления носит также параболоидный характер, но с более крутыми образующими поверхностями с небольшим увеличением в пограничных областях за счет пристеночного эффекта. Основные потоки массы направлены перпендикулярно поверхностям, образующим уплотняемый объем: от центра к периферии. При электропрогреве, чрезмерное повышение влажности периферийных слоев ведет за собой снижение их удельного сопротивления и, как следствие, «стекание» через них электрического заряда.

Односторонний контактный прогрев смеси предполагает направление градиентов температур и давлений к греющей поверхности. Основной составляющей

массопереноса является перенос жидкости в направлении, перпендикулярном греющей поверхности с некоторым отжатием и защемлением жидкой фазы в периферийных областях.

В том случае, если источниками тепла являются противоположные поверхности, образующие уплотняемый объем, распределение температур в плоскости, перпендикулярной к ним, носит параболоидный характер. При установившемся режиме, структура поля давлений достаточно сложна и определяет потоки массы по нелинейным траекториям. Потоки вещества (массы) вдоль оси Y направлены от центра и греющих поверхностей к промежуточным слоям, а вдоль осей X и Z от этих слоев к перпендикулярным им поверхностям уплотняемого объема.

Удаление влаги из уплотняемого объема может осуществляться через перфорацию соответствующих образующих поверхностей (например, при изготовлении штучных изделий из смесей с высокой влажностью) либо сама влага в результате интенсификации двумерных химических реакций в поверхностном слое может иммобилизоваться зернами вещества матрицы. За счет значительных градиентов давлений с частью физически связанной влаги может происходить перенос и некоторой доли твердых компонентов с накоплением его в областях меньших давлений. Это дает возможность получения разноплотных изделий или конструкций.

Таким образом, разработана технология производства теплоизоляционных огнеупоров, позволяющая заметно снизить энергоемкость и длительность технологического цикла их производства путем воздействия на формуемые массы энергией гидротеплосилового поля. Также проанализированы основные дифференциальные уравнения, позволяющие описать в математической форме ход процесса комплексного воздействия на формуемые массы внутриобъемного давления и повышенной температуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соков В. Н., Бегляров А. Э. Теплоизоляция на основе комплексной органоминеральной добавки // Вестник МГСУ. 2011. №1. — С. 313—316.
2. Мишин В. М., Соков В. Н. Теоретические и технологические принципы создания теплоизоляционных материалов нового поколения в гидротеплосиловом поле. — М. : Молодая гвардия, 2000. — 352 с.
3. Соков В. Н., Рамазанов Е. А. Монолитные теплоизоляционные футеровки из самоуплотняющихся масс. — М. : МПА, 1999. — 128 с.
4. Жуков А. Д. Технология легкого пенополистиролбетона методом самоуплотняющихся масс: автореф. дис... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1987.
5. Петров-Денисов В. Г., Масленников Л. А. Процессы тепло- и влагообмена в промышленной изоляции. — М. : Энергоатомиздат, 1983.
6. Лыков А. В. Тепломассообмен. — М. : Энергия, 1971.
7. Morris Grenfell Davies. Building Heat Transfer. John Wiley and Sons Ltd. 2004.
1. Sokov V. N., Beglyarov A. E. Teploizolyatsiya na osnove kompleksnoi organomineralnoi dobavki // Vestnik MGSU. 2011. №1. — S. 313—316.
2. Mishin V. M., Sokov V. N. Teoreticheskiye i tekhnologicheskiye printsipy sozdaniya materialov novogo pokoleniya v gidroteplosilovom pole. — M. : Molodaya gvardiya, 2000. — S. 352.
3. Sokov V. N., Ramazanov E. A. Monolitnye teploizolyatsionnye futerovki iz samouplotnyayushchikhsya mass. — M. : MPA, 1999. — 128 s.
4. Zhukov A. D. Tekhnologiya legkogo penopolistirolbetona metodom samouplotnyayushchikhsya mass: avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. — M. : MISI, 1987.

5. *Petrov-Denisov V. G., Maslennikov L. A. Protsessy teplo- i vlagoobmena v promyshlennoy izolyatsii.* — М. : Energoatomizdat, 1983.
6. *Lykov A. V. Teplomassoobmen.* — М. : Energiya, 1971.
7. Morris Grenfell Davies. *Building Heat Transfer.* John Wiley and Sons Ltd. 2004.

© Соков В. Н., Бегляров А. Э., Землянушнов Д. Ю., Жабин Д. В., 2012

*Поступила в редакцию
в мае 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Получение эффективных огнеупорных изделий в гидротеплосиловом поле / В. Н. Соков, А. Э. Бегляров, Д. Ю. Землянушнов, Д. В. Жабин // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 202—207.

УДК 666.972–16:620.192.52

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

ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДКИ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИАМИДНЫМИ ВОЛОКНАМИ

Исследована усадка высокопрочного бетона, модифицированного полиамидными волокнами.

К л ю ч е в ы е с л о в а: высокопрочный бетон, усадочные деформации, модификация полиамидными волокнами.

Shrinkable deformations of the high-strength concrete modified by polyamide fibres was researched.

K e y w o r d s: concrete of high durability, shrinkable deformations, modification by polyamide fibres.

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

Высокодисперсные наполнители в цементных композициях оказывают положительное влияние на процессы структурообразования, прочность наполненных бетонов и другие физико-механические показатели [1].

Известно, что цементные бетоны, обладая высокой прочностью при сжатии, имеют сравнительно низкую прочность при растяжении и изгибе. С целью исключения этого недостатка используются различные способы, одним из которых является, как было показано выше, дисперсное армирование бетона, которое рассматривается как эффективное средство повышения прочности на растяжение и изменения образования трещин на всех уровнях его структуры [1, 2, 3].

На основании известных теоретических представлений об эффективном использовании армирующих добавок целью работы является определение влияния полиамидных волокон на усадку и усадочную трещиностойкость бетона, модифицированного УДМН.

Модифицирование высокопрочного бетона волокнами осуществлялось на макроуровне путем наполнения его матрицы волокнами длиной $l = 6, 12$ и 18 мм, значительно превышающей их диаметр. При этом соотношение l/d изменилось от 400 до 1200. Дозировка волокна независимо от длины принималась одинаковой и составляла 0,4; 1,0 и $1,6 \text{ кг/м}^3$. В/Ц отношение бетона контрольного состава составляло 0,45, а пластифицированного фибробетона достигало 0,3.

Процесс приготовления фибробетона включал две стадии. На первой стадии в раствор ПАВ (С— и С—3+SMF) вводили волокно и перемешивали в лабораторном смесителе с вертикальным валом в течение 40...80 с. В распущенное таким образом волокно добавляли цемент и вновь осуществляли перемешивание до получения однородной суспензии. На второй стадии в полученную суспензию добавляли заполнитель в соответствии с принятой дозировкой.

Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси составлял: цемент — 562 кг, песок — 575 кг, щебень — 1322 кг. Водоцементное отношение контрольного состава без пластификатора составляло — 0,4, а с суперпластификатором — 0,27, при этом осадка конуса бетонной смеси достигала 4...6 см.

Для приготовления опытных образцов использовали портландцемент марки ПЦ-500 ДО ПО «Осколцемент», высокопрочный гранитный щебень фракций 5...10 мм и песок (отсев от ПГС) с модулем крупности — 2,6.

Усадочные деформации бетона с полиамидными волокнами

№ серии	Количество волокна, %	Длина волокна, мм	В/Ц	Вид и дозировка СП, %		Усадка, мм/м			Набухание, мм/м
				SMF	C-3	При $\theta = 70 \dots 80$ %	При $\theta = 5 \dots 10$ %	Полная после высушивания при $t = 105$ °C	
1	—	—	0,45	—	—	0,50	0,90	1,75	2,2
2	0,4	6	0,30	0,48	0,32	0,13	0,28	0,90	1,8
3	1,0	6	0,30	0,48	0,32	0,12	0,25	0,50	1,2
4	1,6	6	0,30	0,48	0,32	0,10	0,24	0,40	1,4
5	0,4	12	0,30	0,48	0,32	0,16	0,30	1,00	1,7
6	1,0	12	0,30	0,48	0,32	0,14	0,30	0,76	1,1
7	1,6	12	0,30	0,48	0,32	0,13	0,20	0,70	1,2
8	0,4	18	0,30	0,48	0,32	0,15	0,30	0,90	1,4
9	1,0	18	0,30	0,48	0,32	0,14	0,20	0,40	1,3
10	1,6	18	0,30	0,48	0,32	0,13	0,18	0,30	1,4
11	1,0	6	0,3	0,48	0,32	0,08	0,14	0,38	1,0
12	1,0	12	0,30	0,48	0,32	0,10	0,23	0,47	1,2

Сопоставляя полученные значения усадки исследованных фибробетонов, можно констатировать, что предельные значения деформации усадки модифицированных полиамидными волокнами существенно ниже предельной усадки обычных бетонов контрольного состава (табл.)

Так, для бетона контрольного состава полные деформации после высушивания при $t = 105$ °C достигают 1,75 мм/м, а для фибробетона составляют 0,4...0,9 мм/м при длине используемого волокна $l = 6$ мм и 0,3...0,9 мм/м при $l = 18$ мм/м. Несколько большие значения усадки (0,7...1,0 мм/м) получены для фибробетона с длиной волокна $l = 12$ мм. Этот факт не находит логического объяснения и может быть обусловлен ошибкой эксперимента. С увеличением концентрации волокна усадочные деформации закономерно уменьшаются независимо от длины волокна (рис. 1).

Обработка экспериментальных данных (рис. 1) свидетельствует о том, что полная усадка фибробетона в зависимости от дозировки волокна описывается функцией вида

$$\varepsilon = ae^{bx},$$

где x — дозировка волокна, %; a и b — эмпирические коэффициенты.

Аппроксимация экспериментальных данных, выполненная методом наименьших квадратов, показала, что экспоненциальная зависимость приобретает вид:

для фибробетона, модифицированного волокнами, $l = 6$ мм:

$$\theta = 70 \dots 80 \%,$$

$$\varepsilon = 0,48e^{-0,74D};$$

$$\theta = 5 \dots 10 \%,$$

$$\varepsilon = 0,83e^{-0,29D};$$

сушка при 105 °С

$$\varepsilon = 1,703e^{-0,974D};$$

для фибробетона, модифицированного волокнами, $l = 12$ мм:

$$\theta = 70 \dots 80 \%,$$

$$\varepsilon = 0,49e^{-0,62D};$$

$$\theta = 5 \dots 10 \%,$$

$$\varepsilon = 0,82e^{-0,53D};$$

сушка при 105 °С

$$\varepsilon = 1,73e^{-0,653D};$$

для фибробетона, модифицированного волокнами, $l = 18$ мм:

$$\theta = 70 \dots 80 \%,$$

$$\varepsilon = 0,48e^{-0,6D};$$

$$\theta = 5 \dots 10 \%,$$

$$\varepsilon = 0,81e^{-1,17D};$$

сушка при 105 °С

$$\varepsilon = 1,67e^{-1,2D}.$$

Усадка фибробетона зависит от концентрации волокна, о чем свидетельствуют изменения показателя a в экспоненциальной зависимости. Более высокие значения указывают на значительное влияние дозировки и длины волокна на усадочные деформации. Деформации набухания фибробетона не превышают 1,2...1,4 мм/м, в то время как для бетона контрольного состава они достигают 2,2 мм/м.

Выявлено снижение усадки при комплексном дисперсном двухуровневом армировании бетона на всех этапах ее проведения: в воздушно-влажностных условиях, в воздушно-сухих и при высушивании при 105°С. Так, усадка дисперсноармированного бетона при $\theta = 70 \dots 80 \%$ составила

0,08...0,1 мм/м, при $\theta = 5...10\%$ — 0,14...0,23 мм/м и в условиях полной сушки — 0,38...0,47 мм/м, что соответственно уменьшило усадку на 22,5, 26,4 и 24,3 % по сравнению с контрольным значением.

Просмотр трещин на образцах бетона контрольного состава показал, что они раскрылись после второго цикла до 0,1...0,15 мм, в то время как на дисперсноармированном бетоне они составили лишь 0,03 мм.

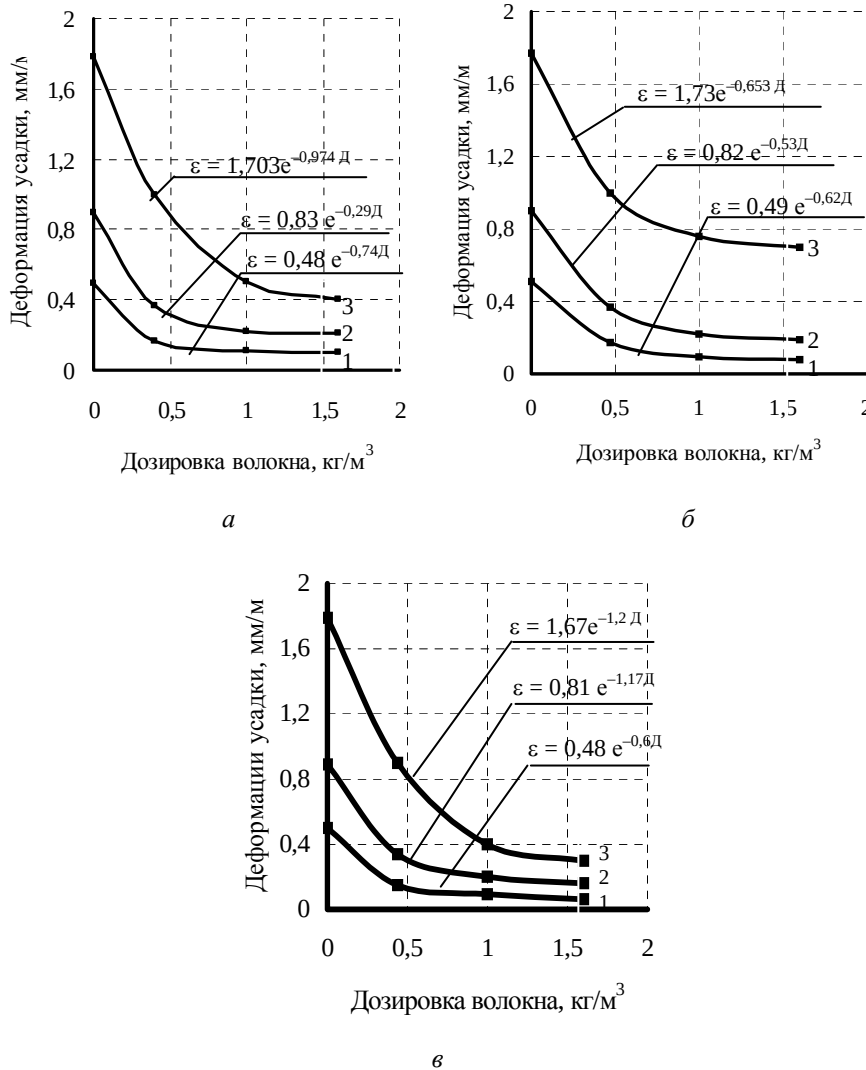


Рис. 1. Деформации усадки бетона в зависимости от дозировки и длины волокна: а — длина волокна $l = 6$ мм; б — то же $l = 12$ мм; в — то же $l = 18$ мм; 1 — усадка бетона при $\theta = 70...80\%$; 2 — то же при $\theta = 5...10\%$; 3 — то же после высушивания при $t = 105...110^\circ\text{C}$

А после девятого цикла ширина раскрытия трещин дисперсноармированного бетона составила 0,08 мм, в то время как ширина раскрытия трещин армированного волокнами бетона в среднем достигала 0,23 мм, при этом бетон контрольного состава имел ширину раскрытия трещин 1 мм (рис. 2).

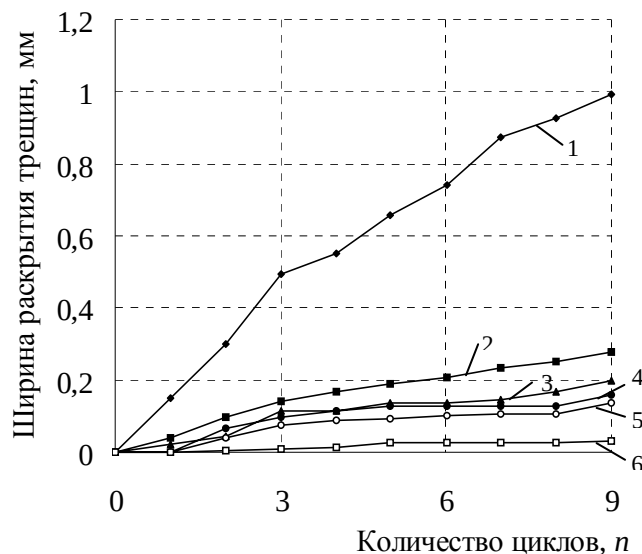


Рис. 2. Трещиностойкость бетона в процессе попеременного циклического увлажнения — высыхания: 1 — контрольный состав; 2 — армированный бетон волокнами $l = 6$ мм; 3 — армированный бетон волокнами $l = 12$ мм; 4 — армированный бетон волокнами $l = 18$ мм; 5 — дисперсноармированный бетон УДН (бой силикатного кирпича) плюс волокно $l = 6$ мм; 6 — дисперсноармированный бетон УДН (бой силикатного кирпича) плюс волокно $l = 12$ мм

Жесткий цикл «высыхание — насыщение в воде» является наиболее показательным для оценки трещиностойкости бетона. Это подтверждается просмотром трещин на образцах, которые для бетона контрольного состава раскрылись после второго цикла до 0,1...0,15 мм, в то время как на дисперсно-армированном бетоне они составили лишь 0,03 мм.

Применение комплексного армирования высокопрочных бетонов позволило существенно повысить трещиностойкость.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демьянова В. С. Методологические и технологические основы производства высокопрочных бетонов с высокой ранней прочностью для беспрогревных и малопрогревных технологий: автореф. дис... д-ра техн. наук. — Пенза, 2003. — 43 с.
2. Демьянова В. С., Калашиников В. И., Миненко Е. Ю. Армирование бетона полиамидными волокнами // Пластические массы. 2003. № 3. — С. 44—45.
3. Рабинович Ф. Н. Дисперсноармированные бетоны. — М. : Стройиздат, 1989. — 177 с.

1. *Demyanova V. S. Metodologicheskiye i tekhnologicheskiye osnovy proizvodstva vysokoprochnykh betonov s vysokoy ranney prochnostyu dlya besprogreynykh i maloprogreynykh tekhnologiy: avtoref. dis... d-ra tekhn. nauk.* — Penza, 2003. — 43 s.
2. *Demyanova V. S., Kalashnikov V. I., Minenko E. Yu. Armirovaniye betona poliamidnymi voloknami // Plasticheskiye massy.* 2003. № 3. — S. 44—45.
3. *Rabinovich F. N. Dispersnoarmirovannyye betony.* — М. : Stroyizdat, 1989. — 177 s.

© Калашников В. И., Миненко Е. Ю.,
Грачева Ю. В., Шлапакова О. И., 2012

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Исследование усадки высокопрочного бетона, модифицированного полиамидными волокнами / В. И. Калашников, Е. Ю. Миненко, Ю. В. Грачева, О. И. Шлапакова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 208—213.

УДК 666.266.6:62-404.8

Е. В. Королев, В. А. Береговой, А. М. Береговой

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ НА СВОЙСТВА ПЕН В ТЕХНОЛОГИИ ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Приводится исследование влияния характеристик глинистого сырья на свойства пен в технологии пеностеклокерамических материалов. В результате исследований определили минеральный тип глины, ее свойства, определен химический состав и РН водных суспензий, изучены лиофильные свойства глины.

К л ю ч е в ы е с л о в а: глина, пена.

The research of influence of agrillous raw material characteristics on foam nature in foam-glass-ceramic technology is carried out. As a result of these researches the mineral type of agrilla, its characteristics chemical composition and water suspension PH were determined, lyophilic features of agrilla were studied.

Key words: agrilla, foam.

Одним из перспективных направлений повышения технико-экономической эффективности обжиговых строительных материалов является совершенствование технологии получения пористых изделий. Анализ научно-технической литературы показал, что внимание исследователей сосредоточено на получении материалов посредством вспенивания шликерных масс [1]. С использованием способа пенообразования производят один из немногих промышленно выпускаемых в стране ячеистых керамических материалов — пенодиатомит. Одной из центральных задач, возникающих в производстве пенокерамики, является обеспечение достаточной устойчивости пеноминеральной массы.

Стойкость пеномассы зависит от множества технологических факторов: вида использованного пенообразователя (ПО), температуры, конструкции перемешивающего устройства, концентрации ПО, времени и скорости перемешивания, наличия специальных добавок-стабилизаторов. В качестве стабилизаторов пены применяют:

органические соединения — глюкозиды (сапонин), полиакриламиды, модифицированные крахмалы, На-карбоксиметилцеллюлозы и др.;

неорганические вещества — минерализаторы пены — FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 и др.

Значительное влияние на пену оказывают физико-химические особенности используемых глин. В данной работе представлены результаты исследования влияния различных типов глинистого сырья на показатели пен, формируемых из водных растворов широко распространенных синтетических ПО, а именно: вещества на основе алкилбензолсульфонатов («Пеностром»), алкилсульфатов («Морпен») и солей алкилсульфатов первичных жирных спиртов (ПБ-2000).

В результате предварительных исследований установлено, что из отобранных ПО использование ПБ-2000 дает возможность получить пену с наилучшими показателями кратности и устойчивости, при этом показатели пены существенным образом зависят от месторождений сырья (рис. 1).

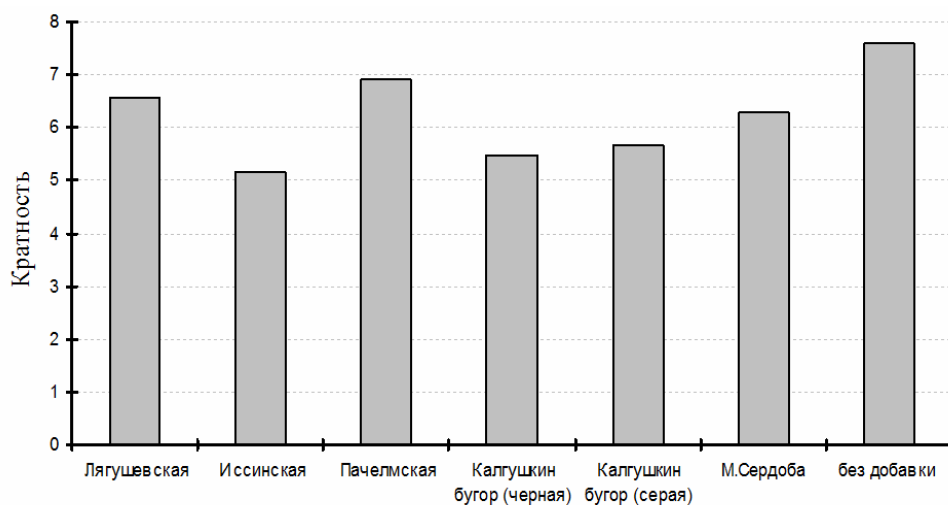


Рис. 1. Влияние глин различных месторождений на кратность пены

Для установления требований к сырью, применяемому в технологии пено-керамических изделий, и формализации процесса проектирования таких материалов (формулирование и сокращение альтернатив) [2] определен минеральный тип глины, изучены лиофильные свойства глины, определена адсорбция пенообразователя из водных растворов на поверхности частиц; исследован процесс флотации суспензий глин, определен химический состав и pH водных суспензий.

Минеральный тип исследуемой глины определяли фотоэлектроколориметрическим методом (по емкости катионного поглощения), основанным на адсорбции органического красителя поверхностью частиц глинистого минерала. Проведенные исследования позволили произвести классификацию глины, учитывая их минеральный тип и емкость катионного поглощения (табл. 1).

Для сравнительной оценки лиофильных свойств используемых глин (табл. 1) применили методику П. А. Ребиндера, основанную на определении теплоты смачивания глины полярной и неполярной жидкостями (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Емкость катионного поглощения E и минеральный тип исследуемой глины

Месторождение глины	E , мг/экв на 100 г глины	Минеральный тип глины	Обозначение минерального типа глины	Обозначение глины
Иссинское	11,6	Каолинитовая	I	Гл-I
Пачелмское	31,1	Бейделлитовая	II	Гл-II ₁
Малосердобинское	31,1			Гл-II ₂
Калгушкин бугор (черная)	33,0			Гл-II ₃
Калгушкин бугор (серая)	35,1			Гл-II ₄
Лягушевское	44,0	Монтмориллонитовая	III	Гл-III

Т а б л и ц а 2

Теплота смачивания и коэффициент гидрофильности исследуемой глины

Тип глины (по табл. 1)	Теплота смачивания, кДж/кг		Коэффициент гидрофильности β
	Q_k	Q_v	
I (Гл-I)	0,96	2,10	2,19
II (Гл-II ₁)	0,83	2,98	3,59
II (Гл-II ₃)	1,10	3,13	2,84
III (Гл-III)	0,42	2,14	5,10

Анализ данных табл. 2 показывает, что все использованные глины имеют гидрофильный характер поверхности частиц. Вместе с тем по абсолютному значению коэффициент гидрофильности отдельной глины значительно различается: минимальное значение коэффициента β получено для глины I типа ($\beta = 2,19$), а максимальное — для глины III типа ($\beta = 5,10$). В порядке возрастания коэффициента гидрофильности глины по их минеральному типу можно расположить в следующий ряд: I < II < III.

Из сопоставления экспериментальных данных по влиянию глины на водоотделение пеномассы с данными в табл. 2 следует, что при более низких значениях коэффициента гидрофильности, как правило, отмечается усиление негативного влияния глины на устойчивость пены.

Данные табл. 3 характеризуют адсорбцию пенообразователей из 0,5%-го водного раствора на поверхности минеральных частиц твердой фазы при В/Т = 25:1.

Т а б л и ц а 3

Адсорбция пенообразователей на поверхности минеральных частиц

Тип глины	Адсорбция пенообразователей на поверхности минеральных частиц (в пересчете на сухое вещество)			
	ПБ-2000		ПО-6ТС	
	A, мг/г	A·10 ⁴ , мг/см ²	A, мг/г	A·10 ⁴ , мг/см ²
I	13,68	19,86	7,01	10,17
II	14,61	28,64	7,15	10,9
III	16,16	26,13	7,32	11,83

Из табл. 3 видно, что адсорбционная способность исследованной глины составляет 13,68...16,16 мг пенообразователя на 1 грамм глины и характеризуется небольшой вариацией.

Исследование процесса флотации суспензий глин проводили с использованием 1 %-го водного раствора пенообразователя, содержащего 1...2 % глины. Пену получали пропусканием воздуха через пористый стеклянный фильтр через исследуемый раствор. Потенциал извлечения оценивали по количеству глины, извлеченной из раствора за определенный период времени (рис. 2).

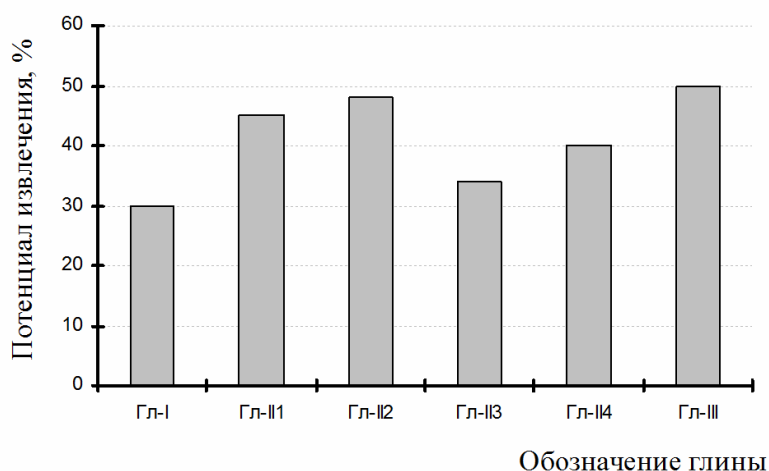


Рис. 2. Потенциал извлечения глинистых частиц

Из данных рис. 2 можно сделать вывод, что глина значительно отличается по потенциалу извлечения. По этому показателю ее можно разделить на две группы. К первой группе относятся глины с высоким потенциалом извлечения — Гл-II₁, Гл-II₂, Гл-II₄, Гл-III, а вторую группу составляют глины с минимальным значением данного показателя — Гл-I, Гл-II₃.

Сопоставление данных рис. 1, 2 и табл. 2 указывает на наличие корреляции между гидрофильными свойствами глины, потенциалом их извлечения и влиянием, которые они оказывают на устойчивость пен минеральных смесей. Согласно полученным экспериментальным данным, увеличение показателя гидрофильности глины сопровождается ростом их флотуемости и возрастанием позитивного влияния на устойчивость пен минеральной смеси.

Химический состав водной фазы суспензии глины приведен в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Химический состав водной вытяжки глины

Тип глины	Cl ⁻ , %	SO ₄ ²⁻ , %	Ca ²⁺ , %	Mg ²⁺ , %	pH
Гл-I	0,0092	0,026	0,016	0,011	8,85
Гл-II ₂	0,0007	0,078	0,020	0,012	8,30
Гл-II ₃	0,0092	0,285	0,260	0,156	4,47
Гл-III	0,0075	0,036	0,040	0,019	8,41

Как видно из табл. 4, среди исследуемой глины наибольшее количество соединений, способных насыщать раствор ионами Ca²⁺ и Mg²⁺, содержит глина Гл-II₃, которая и оказывает негативное влияние на устойчивость пены. По-видимому, наличие в составе глины соединений, повышающих жесткость водных растворов (Ca²⁺ и Mg²⁺), можно объяснить частичным разрушением кристаллической структуры глины, происходящем в процессе их естественного известкования в природных условиях. Согласно данным [3], снижение гидрофильности известкованных глин за счет понижения числа активных центров в результате процесса известкования является одной из причин агрегирования глинистых суспензий.

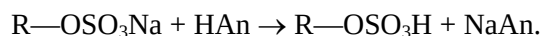
Кроме ионов кальция и магния, подобное влияние на устойчивость пен будут оказывать и другие многовалентные катионы (например, катионы алюминия, железа и др.). Однако, как показали результаты химического анализа, присутствие таких катионов в суспензиях исследуемых глин оказалось незначительным.

Таким образом, наличие ионов щелочноземельных металлов в растворе приводит к снижению устойчивости пен, полученных из растворов пенообразователей на основе синтетических поверхностно-активных веществ (алкилсульфатов, алкиларилсульфонатов и др.). Можно предположить, что в случае, если основу пенообразователя составляют соли карбоновых кислот (алифатических, алициклических и др.), действие указанных электролитов будет значительным ввиду меньшей растворимости кальциевых и магниевых солей указанных веществ.

Как показали проведенные исследования, увеличение концентрации ПО снижает негативное влияние солей щелочноземельных металлов. Однако при назначении расхода ПО необходимо учитывать, что повышенные концентрации пенообразователя могут стать причиной снижения прочности пенокерамического сырца.

В табл. 4 приведены также значения водородного показателя водной фазы суспензий глины. Из анализа табличных данных видно, что только суспензия черной глины имеет кислую реакцию среды ($pH = 4,47$), тогда как суспензии остальных глин — щелочную ($pH = 8,3 \dots 8,85$).

Согласно [4], устойчивость пен, полученных из водных растворов анионных ПАВ, снижается в кислой среде и увеличивается в щелочной. По мнению В. К. Тихомирова, это обусловлено влиянием ионов водорода и гидроксила на взаимодействие гидрофильных и гидрофобных частей молекул, сдвигающее равновесие между адсорбцией ПАВ и их мицеллообразованием. Кроме того, в кислой среде происходит переход хорошо растворимых солеобразных ПАВ, входящих в состав пенообразователя, в менее растворимые органические кислоты, что приводит к ухудшению свойств получаемой пены:



Следовательно, дополнительной причиной негативного влияния глины на устойчивость пены является кислая реакция водной фазы ее суспензии. Вместе с тем, анализируя экспериментальные данные по влиянию исследуемых глин (Гл-I) на свойства пены, можно отметить, что наличие щелочной среды в водном растворе глины не является достаточным фактором для получения устойчивой пены.

Проведенные исследования показали, что снижение устойчивости пены при ее наполнении глиной следует ожидать в случае, если:

в глине преобладает каолинитовая составляющая;

глина имеет низкий коэффициент гидрофильности ($\beta \leq 3,0$);

суспензия глины имеет кислую реакцию среды ($pH \leq 4,5$);

суспензия глины содержит значительное количество (сопоставимое с количеством пенообразователя) многовалентных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} и др.).

Таким образом, ухудшение свойств пеномассы, наблюдаемое при ее наполнении некоторыми глинами, объясняется, в основном, склонностью их частиц к агрегатированию в водной среде, что обусловлено их пониженной

гидрофильностью и наличием многовалентных катионов в суспензиях глин. В результате взаимодействия ПО с указанными катионами снижается концентрация пенообразователя в дисперсной системе и образуются малорастворимые мылоподобные вещества, выполняющие функцию коагуляторов, снижающих агрегативную устойчивость глинистых суспензий. Кроме того, в случае кислой реакции водной среды образуются малорастворимые органические кислоты, которые также способствуют коагуляции суспензий глины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунов Г. И. Исследование способности глинистого сырья к коагуляции в технологии пенокерамики / Г. И. Горбунов, В. А. Езерский, Д. В. Кровелецкий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 6. — С. 52—53.
2. Королев Е. В. Методики и алгоритм синтеза радиационно-защитных материалов нового поколения / Е. В. Королев, А. П. Самошин, В. А. Смирнов, О. В. Королева, А. Н. Гришина. — Пенза : ПГУАС, 2009. — 132 с.
3. Агабальянц Э. Г. Влияние гидроокиси кальция на физико-химические свойства глинистых суспензий / Э. Г. Агабальянц, Ф. Д. Овчаренко // Физико-химическая механика почв, грунтов, глин и строительных материалов. — Ташкент : ФАН, 1966. — 477 с.
4. Тихомиров В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. — М. : Химия, 1975. — 264 с.

1. Gorbunov G. I. Issledovaniye sposobnosti glinistogo syrya k koagulyatsii v tekhnologii penokeramiki / G. I. Gorbunov, V. A. Ezerskiy, D. V. Kroveletskiy // Stroitelnye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2004. № 6. — S. 52—53.
2. Korolev E. V. Metodiki i algoritm sinteza radiatsionno-zashchitnykh materialov novogo pokoleniya / E. V. Korolev, A. P. Samoshin, V. A. Smirnov, O. V. Koroleva, A. N. Grishina. — Penza : PGUAS, 2009. — 132 s.
3. Agabalyants E. G. Vliyaniye gidrookisi kaltsiya na fiziko-khimicheskiye svoystva glinistykh suspenziy / E. G. Agabalyants, F. D. Ovcharenko // Fiziko-khimicheskaya mekhanika pochv, gruntov, glin i stroitelnykh materialov. — Tashkent : FAN, 1966. — 477 s.
4. Tikhomirov V. K. Peny. Teoriya i praktika ikh polucheniya i razrusheniya. — M. : Khimiya, 1975. — 264 s.

© Королев Е. В., Береговой В. А., Береговой А. М., 2012

Поступила в редакцию
в мае 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Королев Е. В., Береговой В. А., Береговой А. М. Исследование влияния характеристик глинистого сырья на свойства пен в технологии пеностеклокерамических материалов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 214—219.

УДК 621.092

П. Д. Еремеев

**О МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИНСТРУМЕНТА,
ПРИМЕНЯЕМОГО ПРИ ОБДИРОЧНОМ ШЛИФОВАНИИ**

Рассматривается проблема дефектности абразивных материалов, используемых для изготовления шлифовального инструмента.

Обосновывается целесообразность применения методики изучения и контроля прочностных характеристик абразивных зерен с целью получения шлифовального инструмента с регламентированными по прочности абразивными зёрнами.

К л ю ч е в ы е с л о в а: абразивный материал, прибор ППЗР-2, эксперимент.

The problem of defect grinding materials used for manufacturing of grinding tools is considered in the article.

The expedience of using method of studying and monitoring the strength characteristics of grinding grains in order to produce grinding tools with regulated strength of abrasive grains is proved.

K e y w o r d s: grinding material, PPZR-2 apparatus, experiment.

Процесс обдирочного шлифования предъявляет особые требования к абразивным зернам в шлифовальном круге. Это обусловлено специфическими условиями взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого металла при обдирке. Учитывая, что абразивное зерно в обдирочном круге имеет размеры от 0,7 мм и больше, разрушение одного — двух зерен в зоне контакта круга и детали способствует резкому понижению производительности.

Увеличение крупности абразивных зерен (от 0,7 мм и больше) способствует понижению их механической прочности на сжатие, а именно: сжимающие нагрузки являются основными при обдирке.

Успешность процесса обдирочного шлифования в значительной степени зависит от способности зерен абразивного инструмента оказывать сопротивление сжатию. Если подвергать абразивные зерна слишком большой нагрузке, то работа, сопряженная с большими усилиями, может вызвать разрушение зерен еще до момента их затупления. Абразивные материалы, имея исключительно высокую твердость, в то же время обладают сравнительно низкой прочностью на сжатие и особенно на изгиб. Прочность зерен зависит не только от их химического и минерального состава, но и от величины. Чем меньше зерна, тем больше их удельная прочность на сжатие.

В связи с изложенным представляется целесообразным на стадии производства абразивного зерна (дроблении) вести отбор зерен со стабильными механическими свойствами, в частности, имеющих минимальный разброс по предельному напряжению сжатия.

Для определения прочности единичного зерна абразивного материала можно использовать разработанный во ВНИИАШе прибор ППЗР, который работает по принципу валковой дробилки. Более современная модификация прибора (разработана доктором техн. наук О. И. Пушкаревым) носит название ППЗР-2 [1].

Прежде чем рассматривать принципы действия прибора, ППЗР-2, необходимо рассказать в общих словах о нагрузках, действующих на абразивное зерно в процессе шлифования.

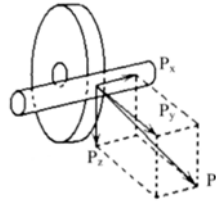


Рис. 1. Схема сил резания

Развивающуюся при шлифовании силу P можно разложить на три силы: тангенциальную P_z , радиальную P_y и осевую P_x (рисунок 1). В результате ряда исследований установлено, что $P_y > P_z > P_x$ и что отношение P_y / P_z меняется в пределах 1,5/1 до 3/1, в зависимости от затупления круга, а по некоторым данным даже от 4/1 до 10/1. Для режима обдирочного шлифования тангенциальная и осевая нагрузки значительно меньше радиальной и ими можно пренебречь [2].

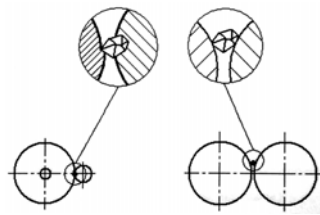


Рис. 2. Пример условий работы зерна при шлифовании и разрушении его в валках

При работе экспериментальной установки абразивное зерно подвергается сжатию между валками дробилки, то есть имитируется воздействие силы P_y на зерно в реальных условиях шлифования, что очень важно (рис. 2).

Следует также отметить, что при вращении абразивного круга каждое зерно на его поверхности, входящее в контакт со шлифуемым материалом, подвергается периодической нагрузке до разрушения абразивного зерна или его выкрашивания. В тех же условиях зерна проходят испытания на прочность при работе валковой дробилки [1].

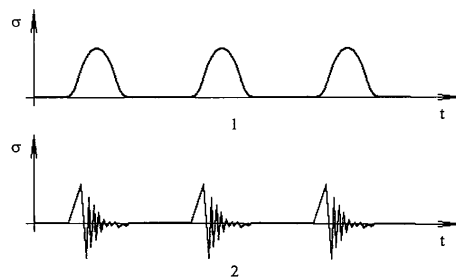


Рис. 3. Диаграмма нагружения зерна: 1 — разрушение отсутствует; 2 — разрушение зерна на две части

В связи с этим нам представляется, что условия обдирочного шлифования, при котором происходит разрушение зерен, и условия экспериментальной установки и предлагаемой методики весьма близки, что позволяет получать достоверные данные о прочностных характеристиках зерен абразивных материалов.

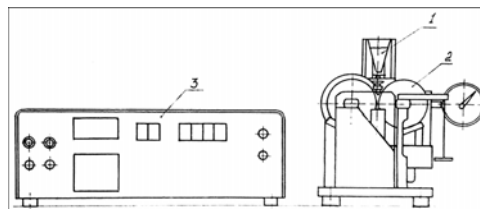


Рис. 4. Схема прибора ППЗР-2: 1 — вибропитатель; 2 — нагружающее устройство; 3 — блок автоматики

Рассмотрим принцип действия прибора ППЗР-2.

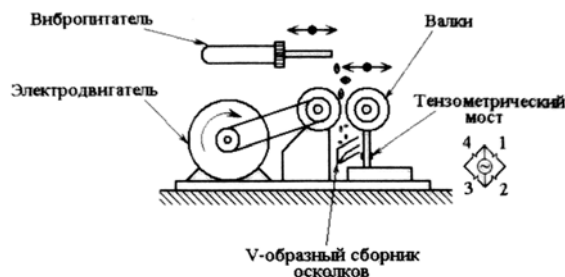


Рис. 5. Схема нагружающего устройства

Зерна подают по одному в зазор между двумя сменными стальными валками диаметром 50,8 мм, вращающимися со скоростью 12 об/мин. Под действием сил трения зерна втягиваются между валками и дробятся. Сдвигать валки слишком близко для того, чтобы дробить все зерна, нецелесообразно, поскольку в этом случае большие зерна не будут втягиваться в валки. Зазор между валками устанавливают таким, чтобы количество раздробленных зерен составляло примерно 80...90 % общего количества поданных в дробилку зерен.

Силу, необходимую для разрушения каждого зерна, получают, обрабатывая выходной сигнал от моста, составленного из тензодатчиков сопротивления.

Блок автоматики представляет собой электронное устройство, выполняющее следующие функции: управление программой измерения, фиксацию разрушающего усилия отдельных зерен, фиксацию среднеарифметического значения разрушающего усилия, фиксацию количества разрушенных зерен [3].

Из вышесказанного следует, что существует принципиальная возможность использования прибора ППЗР для выбора абразивных зерен в инструмент для обдирочного шлифования посредством метода определения прочности единичного абразивного зерна на раздавливание.

Недостатки прибора ППЗР:

низкая производительность;

необходимость постоянного контроля работы прибора во время эксперимента;

низкая скорость проведения эксперимента;

недостаточная наглядность и информативность эксперимента;

из-за сложности настройки оборудования, низкой скорости работы прибора и необходимости постоянного контроля эксперимента представляется нецелесообразным использовать данную методику в промышленных условиях.

Необходимо также учитывать тот факт, что прибор ППЗР—2 использовался для определения прочности единичных зерен шлифматериалов размером от 400 до 1250 мкм. На сегодняшний день в инструменте для обдирочного шлифования используется абразивное зерно больших размеров (700...2000 мкм).

Современный уровень автоматики и компьютерной техники позволяет модернизировать данный прибор, полностью автоматизировать сам процесс эксперимента, повысить его наглядность, точность, скорость получения результатов. Основная идея работы состоит в том, что вместо блока автоматики мы будем использовать цифровой мультиметр и персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением.

Теперь вернемся к работе самого прибора. При разрушении зерна один из валков неизбежно отклоняется на некоторую величину. Очевидно, что в большинстве случаев она будет весьма мала. Максимальное отклонение будет равно максимальному размеру зерна, которое, в силу своей прочности, не подверглось разрушению. При изгибе несущих пластин вала происходит деформация тензодатчиков сопротивления. Величина силы тока, проходящего через них несколько уменьшится, но многократно увеличивается многокаскадным усилителем, и передается на блок автоматики, где происходит последующий анализ полученной величины.

Нами предлагается модернизация прибора, которая заключается в том, что в качестве измеряющего силу тока устройства мы используем цифровой мультиметр. Сигнал с цифрового мультиметра передается в СОМ порт персонального компьютера, где посредством созданного нами программного обеспечения происходит анализ полученного сигнала.

Эксперименты, проведенные с использованием модернизированного прибора ППЗР, имеют:

повышенную наглядность и информативность;

возможность автоматического вычисления всех интересующих параметров эксперимента;

повышенную скорость проведения эксперимента;

возможность использования в лабораторных и промышленных условиях.

Результаты проведенных исследований указывают на целесообразность использования прибора в промышленных и научно-исследовательских лабораториях как для исследований механических свойств шлифматериалов, так и для контроля изготовленных абразивных инструментов и материалов.

Выбранный метод исследования представляется весьма достоверным, поскольку эмулирует работу абразивного зерна в реальном шлифовальном круге, в максимальной степени автоматизированным, что позволяет анализировать большие объемы абразивных зерен в короткое время и получать достоверные данные.

Модернизированный прибор ППЗР-2 также автоматически производит статистическую обработку результатов испытаний и вывод информации в удобном виде. Решена также проблема обработки и анализа получаемых сигналов, что позволяет проводить качественные эксперименты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абразивы и материалы конструкционного назначения на основе карбида кремния : учебное пособие / А. П. Гаршин, В. М. Шумячер, О. И. Пушкарев. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2008. — 189 с.
2. Теория шлифования материалов : учебное пособие / Е. Н. Маслов. — М. : Машиностроение, 1974. — 320 с.
3. Методы и средства контроля физико-механических характеристик абразивных материалов монография / О. И. Пушкарев, В. М. Шумячер. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2004. — 144 с.
1. Abrazivy i materialy konstruksionnogo naznacheniya na osnove karbida kremniya : uchebnoe posobie / A. P. Garshin, V. M. Shumyacher, O. I. Pushkaryov. — Volgograd : VolgGASU, 2008. — 189 s.
2. Teoriya shlifovaniya materialov : uchebnoye posobiye / E. N. Maslov. — M. : Mashinostroyeniye, 1974. — 320 s.
3. Metody i sredstva kontrolya fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik abrazivnykh materialov monografiya / O. I. Pushkaryov, V. M. Shumyacher. — Volgograd : VolgGASU, 2004. — 144 s.

© Еремеев П. Д., 2012

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Еремеев П. Д. О методике оценки физико-механических характеристик абразивных материалов для инструмента, применяемого при обдирочном шлифовании // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 220—224.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 626/627

И. С. Холопов, М. И. Бальзанников, В. Ю. Алпатов

ПРИМЕНЕНИЕ РЕШЕТЧАТЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ В ПОКРЫТИЯХ МАШИННЫХ ЗАЛОВ ГЭС

Представлен результат литературного обзора стропильных конструкций, применяемых в покрытиях машинных залов гидротехнических сооружений. Установлено широкое использование в качестве покрытий машинных залов ГЭС пространственных решетчатых конструкций типа «структура». Проведен анализ применяемых пространственных конструкций покрытий. Установлено наиболее частое применение системы МАРХИ. Рассмотрены достоинства и недостатки указанной системы покрытия. Даны авторские предложения по совмещению достоинств пространственных решетчатых конструкций покрытий и положительных качеств стропильных ферм с узлами на листовых фасонках. Указанные предложения призваны повысить надежность и безопасность объектов гидротехнического строительства без повышения точности изготовления конструкции. В статье представлена авторская разработка конструкции узла пространственной решетчатой системы покрытия, даны прочностные и деформационные расчеты узла, проведено его численное моделирование программными средствами.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гидротехническое строительство, ГЭС, покрытия, машинный зал, металлические конструкции, структурные конструкции, пространственные конструкции, решетчатые конструкции, узлы, напряженно-деформированное состояние.

The article presents the results of the analytical survey of publications on roof trusses used in hydro-technical structures for turbine rooms. There is a widespread use of spatial grid structure as “structure” type for HPP turbine room roofs. The used spatial roofing structures were analyzed. The system developed by the Moscow Architectural Institute was found to be mostly used. Advantages and disadvantages of this roofing system are considered. The authors suggest combining spatial grid roof structure advantages with positive properties of roof trusses with nodes on gusset plates. These suggestions must improve the reliability and safety of hydrotechnical building structures without increasing the accuracy of the structure design. The development of node structure for spatial grid roofing is presented in the article, node strength and deformation calculations are given, its numerical modeling with software is made.

К e y w o r d s: hydrotechnical engineering, HPP, roofs, turbine room, metal structures, structure constructions, spatial constructions, grid constructions, nodes, stress and strain state.

ГЭС являются гидротехническими сооружениями, которые относятся к сооружениям I класса ответственности. Это всегда сооружения уникальные. При проектировании, строительстве и эксплуатации таких сооружений к ним предъявляются повышенные требования к надежности и безопасности работы. Одним из важнейших частей комплекса ГЭС является машинный зал. Здание машинного зала имеет, как правило, за редким исключением, пролет более 24 м и значительную протяженность (длину). Покрытия помещений машинного зала выполняются с применением металлических решетчатых конструкций (рис. 1). Существующий положительный опыт показал эффективность использования в качестве покрытия машинного зала ГЭС металлических решетчатых пространственных конструкций типа «структур» [4—6].



Рис. 1. Схема решетчатого покрытия машинного зала ГЭС (обложка журнала ANSYS Advantage. 2011. № 15)

Применению структур в качестве несущих конструкций покрытий подобных сооружений имеется множество причин. Причины эти определяются набором положительных качеств самих структурных конструкций и повышенными требованиями к технической безопасности ГЭС. Положительные качества пространственных решетчатых конструкций покрытий, позволяющие им иметь конкурентные преимущества перед альтернативными вариантами кратко можно охарактеризовать следующим.

Относительно малая материалоемкость, возможность осуществления предварительной контрольной сборки, блочный монтаж, серийность и поточность механизированного изготовления, комплексная поставка, наличие однотипных многократно повторяющихся элементов. Структурная система не имеет традиционных для металлических конструкций прогонов и связей. Структуры обладают повышенной жесткостью. У этих конструкций соотношение высоты к пролету находится в пределах $1/16 \dots 1/25$. Высокая надежность структурных систем обеспечивается их многократной статической неопределимостью. Их высокая надежность, часто называемая «живучестью», объясняется пространственной работой механической системы и наличием большого количества «лишних» связей, придающих конструкции способность к перераспределению усилий. Структурная конструкция является пространственной геометрически неизменяемой системой. Пространственная работа структур проявляется при действии неравномерных нагрузок. При этом перегрузка большинства стержней (исключая, разумеется, стержни, выход которых из работы превращает систему в механизм) в целом не нарушает нормальной работы конструкции благодаря способности системы к перераспределению усилий. Поскольку структурные плиты, обладая повышенной жесткостью, имеют небольшой собственный вес, их целесообразно применять как большепролетные конструкции. Монтаж структурных покрытий может осуществляться следующими способами: навесной сборкой, сборкой на проектной отметке на подмостях, полностью собранными на земле покрытиями или отдельными крупными их частями, а также укрупненными блоками. Практически все эти способы монтажа были апробированы на различных объектах [7].

Сравнительный анализ проектных решений металлических покрытий помещений машинных залов ГЭС в РФ показал, что зачастую это либо конструкции традиционные (плоские стропильные фермы различной геометрии и с различными схемами решеток) или пространственные конструкции системы МАРХИ. Конструкции системы МАРХИ появились в нашей стране в 1969 году как плод труда ученых и специалистов кафедры инженерных конструкций Московского архитектурного института.

Система МАРХИ (рис. 2) представляет собой уникальный способ проектирования и строительства, основанный на тесном взаимодействии вопросов расчета, изготовления, транспортировки и монтажа составных элементов конструкции и формирования объемно-пространственной конструктивной «оболочки» зданий и сооружений. Одной из многих производных ПСПК системы МАРХИ является конструкция «Кисловодск» (рис. 3), [8]. Обладая неоспоримыми достоинствами, все таки следует признать, что прототипом системы МАРХИ является система немецкой фирмы MERO (рис. 4). Конструкция МАРХИ представляет собой модификацию немецкой системы.

Компания MERO основана в Берлине в 1928 году инженером, изобретателем и предпринимателем доктором Максом Менгерингхаузенем. MERO — это аббревиатура первых букв слов MEngeringhausen ROhrbauweise, что означает «метод конструирования из труб Менгерингхаузена». Макс Менгерингхаузен стал автором метода пространственно-стержневых структур в строительстве из элементов серийного производства. В 1948 году в Вюрцбурге фирма MERO начала производство системы перекрытий Менгерингхаузена. Легкие и быстровозводимые системы MERO стали популярны среди архитекторов и быстро распространились по всему миру.

Эффективность перекрестно-стержневых конструкций, в большой степени зависит от решения узлового соединения, так как в узлах приходится сопрягать под разными углами от 8 до 18 стержней. В простейших системах (состоящих из пересекающихся в вертикальной плоскости решетчатых ферм), сопряжение, как правило, предусматривается для сокращения высоты конструкции в одном уровне. При пересечении ферм в узле предусматривают крестовую фасонку, элементы поясов с целью унификации разрезают в узлах, а стык перекрывают аналогичной горизонтальной листовой фасонкой.



Рис. 2. Элементы узла системы МАРХИ



Рис. 3. Узловой коннектор системы «Кисловодск»

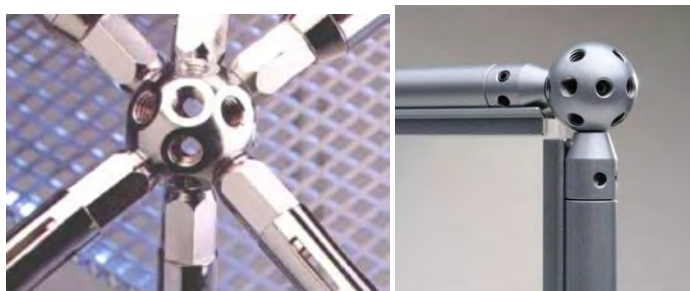


Рис. 4. Узел системы MERO

Системы MAPXI и MERO требуют изготовления специальных узловых коннекторов в виде шара или многогранника с заранее выполненными в них резьбовыми отверстиями, такие конструкции требуют достаточно высокой точности к изготовлению и сборке. Отступления от жестких допусков приводят к появлению в конструкции дополнительных неучтенных усилий в элементах, которые могут быть опасными для конструкции. У традиционных стропильных металлических ферм узлы, как правило, выполняются на листовых фасонках и имеют значительную способность к компенсации неточностей изготовления. Комбинацией положительных качеств пространственных конструкций и ферм на листовых фасонках авторы настоящей статьи предлагают получить новый вид пространственной решетчатой конструкции с узлами на листовых фасонках. Сохраняя положительные преимущества пространственных конструкций и обладая значительной компенсационной способностью узловых соединений, предлагаемая конструкция может быть с успехом использована для покрытий зданий и сооружений, в том числе машинных залов ГЭС при их проектировании, строительстве и реконструкции.

Принято считать, что элементы структурных конструкций испытывают только усилия растяжения-сжатия. Совсем по иному обстоит дело с узловыми коннекторами таких конструкций. Объединяя в себе множество стержней различного направления, узловой коннектор испытывает сложное напряженное состояние. Узловые коннекторы структурных конструкций должны обладать повышенной надежностью, поскольку отказ одного коннектора приводит к отказу не одного элемента конструкции, а целой группы стержней. Поэтому, проектированию и изготовлению узловых элементов конструкций следует уде-

лить особое внимание. С этой целью авторами были выполнены численные эксперименты по моделированию силовой работы предложенного узлового соединения пространственной конструкции на листовых фасонках. Конструкция узла представлена на рисунке 5. Узел выполнен с использованием листовых фасонкок. В первом приближении толщины фасонкок были назначены такими же, как толщины фасонкок ферм из парных уголков в соответствии с рекомендациями [3] в зависимости от усилий в поясах конструкции.

Для определения расчетных усилий, действующих на узловой коннектор, были проведены исследования и проектно-конструкторские разработки целого ряда подобных пространственных конструкций для различных схем загрузки. На основе анализа наиболее неблагоприятных сочетаний усилий в элементах, примыкающих к различным узлам верхней и нижней поясной сетки, были выделены максимально загруженные узлы, для которых были произведены численные исследования их напряженного деформированного состояния (НДС) методом конечных элементов. Для анализа НДС узла были использованы известные программные комплексы структурного анализа механических систем, использующие в своей основе метод конечного элемента («Лира», SCAD, CosmosWorks, DesignSpace). Во избежание ошибок, связанных с неточностями построения расчетной модели, работы самих программных комплексов и для обеспечения достаточной сравнительной достоверности исследований были использованы четыре программных комплекса.

В настоящей статье приводятся описание проделанной авторами работы и результаты численного исследования одного из узлов нижней поясной сетки структурной конструкции (рис. 5). В этот узел сходятся восемь стержней, для которых значения расчетных сочетаний нагрузок (РСН) приведены в таблице. Эти значения получены по результатам исследований ряда моделей конструкций при различных загрузках. Схема загрузки исследуемого узла приведена на рис. 6.

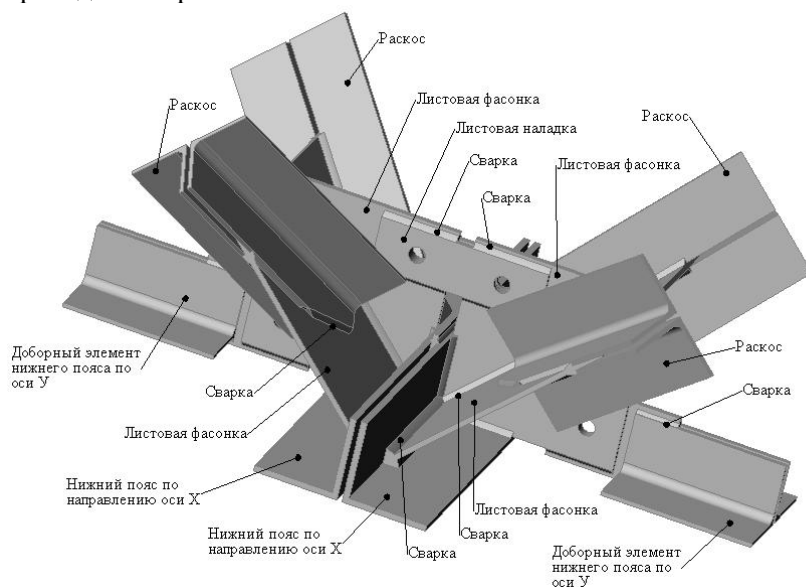


Рис. 5. Узел пространственно-стержневой конструкции на листовых фасонках

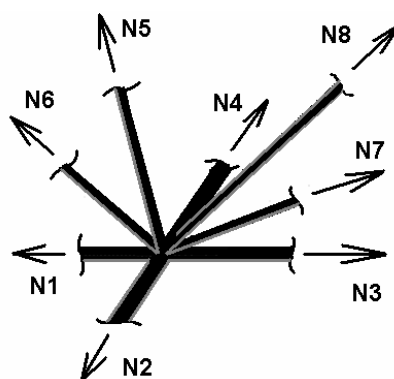


Рис. 6. Схема нагружения расчетного узла

Нагрузки на узел

Номер элемента	PCH_1 , тс	PCH_2 , тс	PCH_3 , тс	PCH_4 , тс	Поперечное сечение элемента	Площадь поперечного сечения, $см^2$	Расчетная нагрузка, $кг/см^2$ ($т/м^2$)
N ₁	57,32	23,76	57,35	23,79	100×7	27,5	2085 (20850)
N ₂	1,8	0,71	1,8	0,7	75×5	14,78	122 (1220)
N ₃	59,64	25,71	59,68	25,75	100×7	27,5	2170 (21700)
N ₄	1,68	0,66	1,69	0,67	75×5	14,78	114 (1140)
N ₅	1,62	1,25	1,66	1,29	75×5	14,78	112 (1120)
N ₆	1,1	23,76	1,06	1,02	75×5	14,78	72 (720)
N ₇	-1,05	-0,95	-1,0	-0,9	75×5	14,78	-68 (-680)
N ₈	-1,37	-1,06	-1,43	-1,12	75×5	14,78	-97 (-970)

Современное развитие вычислительной техники и программного обеспечения позволяет производить расчеты систем практически любой сложности. Развитие систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяют исследователям и проектировщикам осуществить осознанный выбор методов и инструментов исследования. Наиболее известные для авторов САПР — CosmosM, CosmosWorks, DesignSpace, Ansys, Nastran, Staad, Sap, Лира, Мираж, SCAD. Исследования узлов описываемой структурной конструкции было произведено с помощью CosmosWorks, DesignSpace, Лира, SCAD. Материалом настоящей статьи явились результаты исследования узлового коннектора при помощи программы Лира-Windows.

Расчетная модель исследуемого узла приведена на рис. 7. Конечные элементы для описания расчетной модели представляют собой шести- и восьми-узловые объемные конечные элементы произвольной формы. Общее количество узлов и элементов в расчетной модели составляет 14435 и 7733 шт соответственно. Характеристики материала элементов узла соответствуют стали марки С245 ($R_y = 2450 \text{ кг/см}^2$, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2$, $\nu = 0,3$ — коэффициент Пуассона, $\gamma = 7850 \text{ кг/м}^3$ — объемный вес).

Результаты проведенного исследования приведены на рис. 8, представлено распределение эквивалентных напряжений в расчетной модели. Из рисунка видно, что узловые фасонки работают в упругой зоне работы материала и являются недогруженными на 26,6 %. Примерно такой же запас прочности выявлен и при исследованиях других узлов конструкции. На основании этого можно сделать вывод о том, что использование рекомендаций о толщинах фасонок плоских ферм для пространственных конструкций дает некоторый перерасход материала. Что касается подобных расчетов этого же узла с применением других расчетных комплексов, то результаты исследований говорят о том, что получаемый запас прочности разнится от 12 % (Cosmos) до 26,6 % («Лира»).

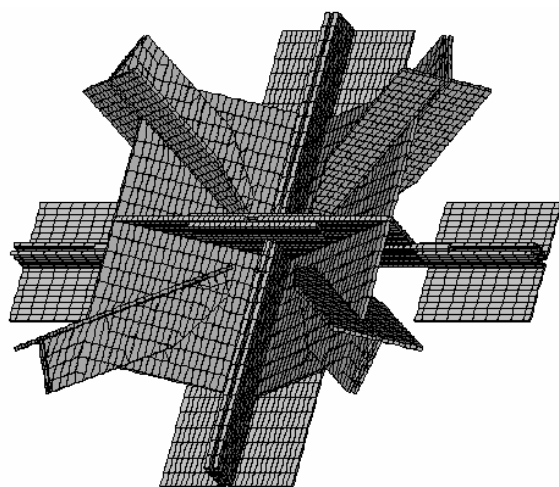


Рис. 7. Расчетная модель узла

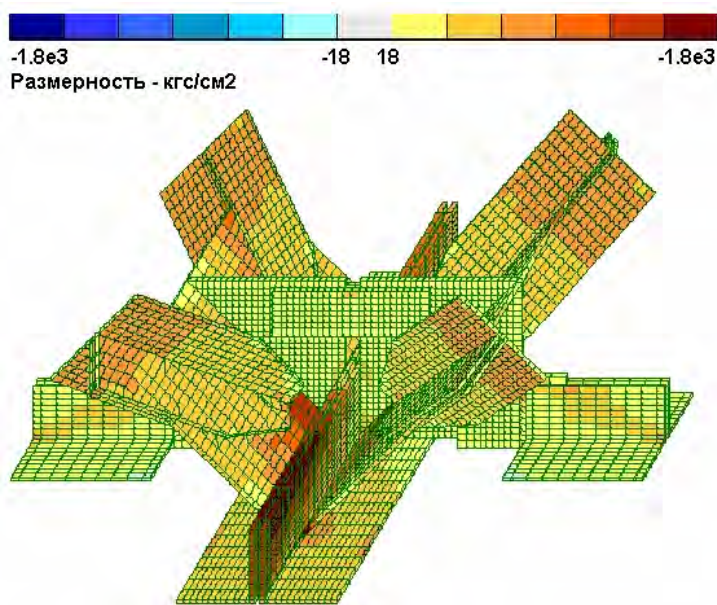


Рис. 8. Напряжения в узле, вычисленные в ПК «Лира»

Выводы:

1. Опыт показывает, что применение в качестве покрытий потенциально опасных объектов систем повышенной «живучести», какими являются структурные конструкции, повышает общую надежность и безопасность сооружений.
2. Предложенный авторами узел пространственной решетчатой металлической конструкции позволяет снизить требования к точности ее изготовления без потери надежности.
3. Установлено наличие запаса несущей способности узла пространственной конструкции «на листовых фасонках», выполняемого по рекомендациям для узлов плоских ферменных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимов В. И., Бегун Г. Б. Структурные конструкции. Исследование, расчет, проектирование. — М. : Стройиздат, 1972.
2. Хисамов Р. И., Исаева Л. А. Определение технико-экономических показателей структурных покрытий. — Казань : Казанский инженерно-строительный институт, 1979.
3. Лихтарников Я. М., Ладыженский Д. В., Клыков В. М. Расчет стальных конструкций. — Киев : Будивельник, 1984.
4. Сайт ООО «НПЦ «Виктория». URL: <http://www.sistems-marhi.ru/> (дата обращения: 14.05.2012).
5. Сайт ЗАО «ВиСт». URL: <http://www.vista-marhi.ru/node/1> (дата обращения: 14.05.2012).
6. Сайт ООО «Монтаж ПК». URL: <http://www.monpk.ru/index.html> (дата обращения: 14.05.2012).
7. Интернет-журнал «Строительство и недвижимость». 2005. № 35. URL: <http://www.nestor.minsk.by/sn/> (дата обращения: 14.05.2012).
8. Интернет-ресурс. URL: <http://www.freezart.ru/freez/047/70/> (дата обращения: 14.05.2012).
1. Trofimov V. I., Begun G. B. Strukturnyye konstruksii. Issledovaniye, raschet, proektirovaniye. — M. : Stroyizdat, 1972.
2. Khisamov R. I., Isaeva L. A. Opredeleniye tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley strukturnykh pokrytii. — Kazan : Kazanskii ingenerno-stroitelnyi institute, 1979.
3. Likhtarnikov Ya. M., Ladyzhenskii D. V., Klykov V. M. Raschet stalnykh konstruksii. — Kiev: Budivelnik, 1984.
4. Sait ООО «NPST «Viktoriy». URL: <http://www.sistems-marhi.ru/> (data obrasheniya: 14.05.2012).
5. Sait ZAO «ViSta». URL: <http://www.vista-marhi.ru/node/1> (data obrasheniya: 14.05.2012).
6. Sait ООО «Montazh PK». URL: <http://www.monpk.ru/index.html> (data obrasheniya: 14.05.2012).
7. Internet-zhurnal «Stroitelstvo i nedvizhimost». 2005. № 35. URL: <http://www.nestor.minsk.by/sn/> (data obrasheniya: 14.05.2012).
8. Internet-resurs. URL: <http://www.freezart.ru/freez/047/70/> (data obrasheniya: 14.05.2012).

© Холопов И. С., Бальзанников М. И., Алпатов В. Ю., 2012

Поступила в редакцию
в мае 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Холопов И. С., Бальзанников М. И., Алпатов В. Ю. Применение решетчатых пространственных металлических конструкций в покрытиях машинных залов ГЭС // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 225—232.

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 72.035:725.256

К. К. Арынов

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГРУППЫ, СОСТАВ И ПЛОЩАДИ ПОМЕЩЕНИЙ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕНТРОВ ПРИКЛАДНОГО РЕМЕСЛА

Даны основные архитектурно-функциональные структуры, группы, состав и площади помещений учебно-производственных центров народных художественных промыслов. Разработаны архитектурно-планировочные элементы мастерских и кабинетов общехудожественного цикла, а также функциональная структура базового многофункционального учебно-производственного комплекса народных художественных промыслов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: функциональная структура, площадь помещений, состав помещений, мастерская для обучения мастерству, общехудожественный цикл.

In the article the main architectural and functional structures, groups, structure and square of the classrooms of educational and production centers of national art crafts are given. Architectural and planning elements of workshops and classrooms for art cycle as well as functional structure of basic multifunctional educational and production complex of national art crafts are developed.

К e y w o r d s: functional structure, square of the classroom, structure of the classroom, craft workshop, art cycle.

Функциональные группы помещений учебно-производственных зданий народного прикладного ремесла (УПЗ НПР), их состав и площади определяются целями и задачами, направленными на развитие местных художественно-культурных традиций, обучение молодежи и взрослых народному прикладному искусству данного края. В результате изучения педагогических источников и анализа опыта функционирования учебно-воспитательных учреждений [1, 2, 3, 5], а также собственных графоаналитических исследований установлено, что функциональная структура УПЗ НПР состоит из четырех групп помещений: 1) помещения общехудожественного цикла, 2) помещения общеобразовательного и гуманитарного цикла, 3) помещения административно-хозяйственного, 4) общественно-бытового назначения (рис. 3, 4).

Группа помещений общехудожественного цикла является основной в составе УПЗ НПР и предназначена для обучения на основе соблюдения ручного труда при художественной обработке различных материалов в области народного прикладного искусства. К этой функциональной группе относятся помещения для обучения учащихся практическим навыкам выполнения художественно-прикладных работ — мастерские для обучения мастерству прикладного искусства, вспомогательно-производственные

помещения (комбинированные мастерские для первичной механической обработки материалов, лаборатории, мастерские, цехи для дополнительной художественной обработки), помещения художественно-композиционного цикла (кабинеты, лаборатории) и вспомогательные помещения (склады, инструментальные, гардеробные и др.)

Функциональная структура группы помещений общехудожественного цикла обусловлена особенностями педагогической организации обучения народному прикладному искусству и строится на основе секционного построения помещений по каждому профилю обучения. Каждая секция решается автономно по отношению к учебно-производственному зданию в целом и состоит из комплекса взаимосвязанных помещений. Мастерские для обучения мастерству ПИ и комбинированные мастерские, лаборатории, цехи для дополнительного вида художественной обработки одноименного профиля обучения размещаются в непосредственной близости друг от друга и связываются между собой короткими коммуникационными связями по горизонтали или вертикали с перепадом не более двух этажей. Помещения художественно-композиционного цикла для всех профессий целесообразно выделять в самостоятельные группы помещений. Складские помещения связываются с помещениями общехудожественного цикла и имеют дополнительный выход непосредственно наружу или через примыкающий к ним коридор. Лаборантские помещения размещаются рядом с мастерскими, кабинетами и лабораториями со стороны классной доски и имеют самостоятельные выходы в коридор или рекреационные пространства. С целью изоляции творческих мастерских от всевозможного шума, запаха химикатов и пыли комбинированные мастерские для механической обработки материалов и лаборатории для окраски шерсти, хлопка и кожи, для обжига металла, керамики целесообразно размещать в отдельном блоке здания или на первом этаже.

Таким образом, функциональная структура групп помещений общехудожественного цикла основывается на секционности помещений по каждому профилю (виду) художественно-прикладного обучения; разделении помещений общехудожественного цикла на группы по профессиям (специальностям); обеспечении учебной связи между помещениями для занятий одной профессии (рис. 3).

Площади помещений этой группы определяются исходя из разработанных основных архитектурно-планировочных элементов, в каждом пункте которых перечисляются помещения, различные по назначению, но имеющие одинаковую нормативную площадь.

К группе помещений для обучения мастерству относятся: творческие мастерские для ковроткачества; художественной обработки металлов и камня, древесины, кости и рога; кожи; художественной керамики, также мастерские по пошиву национальной одежды, художественному конструированию и современному дизайну. В зависимости от специфических особенностей промысла (габариты станков, мольбертов) установлены размеры творческих мастерских, м²: 54, 65, 72, 86, 90, 108 и 135, в состав которых входят подсобные помещения и лаборантские с площадью, м², 9, 18 и 21 (рис. 1).

К группе вспомогательно-производственных помещений относятся: комбинированные мастерские для первичной механической обработки с последующей

подготовкой к ручной художественной работе металла, древесины, камня и кости; мастерские с механизированными установками для (подготовки к ткачеству) обработки шерсти, хлопка и кожи; лаборатории для окраски шерсти, хлопка и кожи, для окраски и морилки древесины, для обжига и окраски металла, цех-лаборатория для обжига изделий из керамики.

Общая площадь этих помещений, в зависимости от разновидностей функциональных назначений с учетом размещения технологического оборудования, составляет 86, 108 и 111 м².

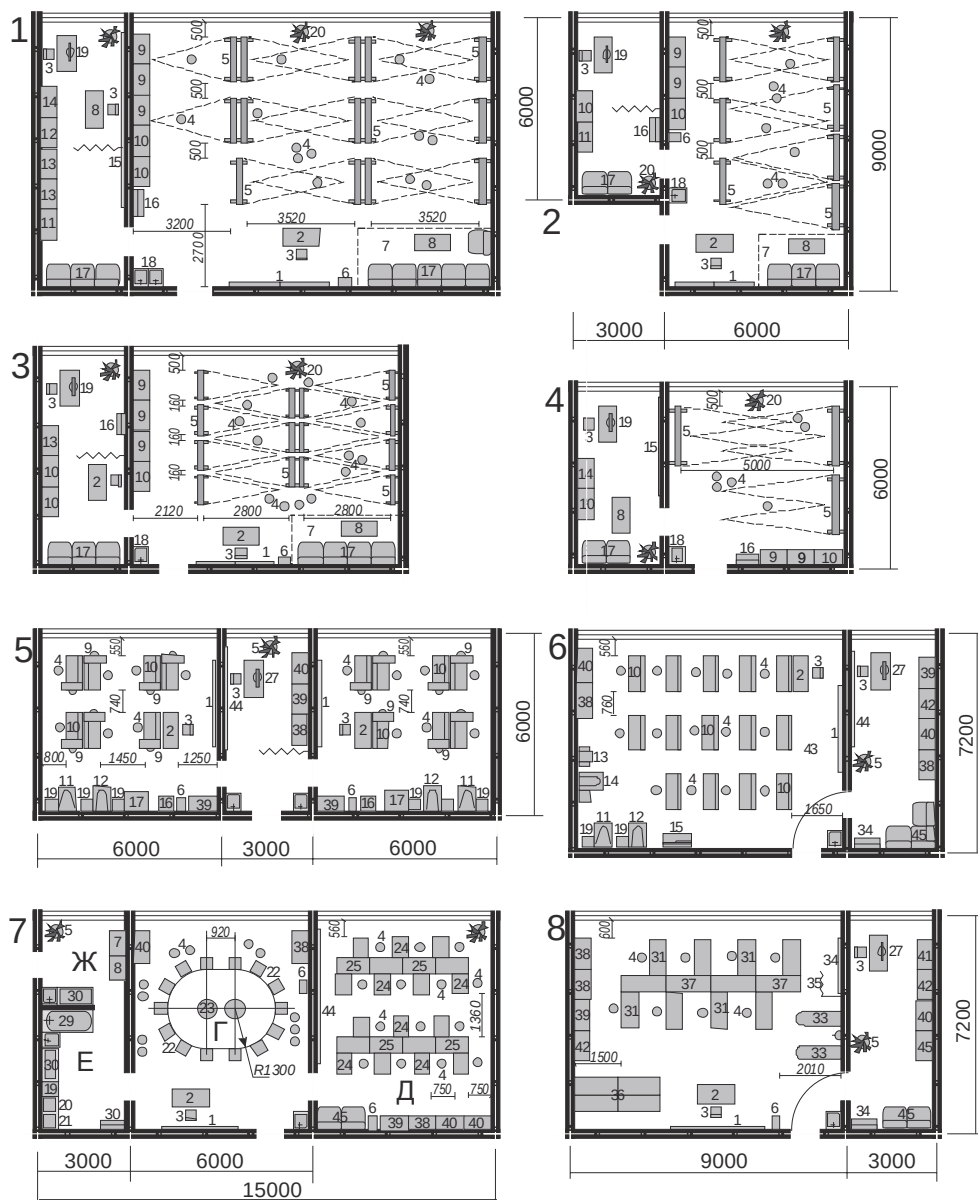


Рис. 1. Мастерские для обучения мастерству: 1...4 — для ковроткачества; 5 — для художественной обработки древесины, кости и рога; 6 — для художественной обработки металла и камня; 7 — для художественной керамики и скульптуры; 8 — для швейных дел и обработки кожи

Группа помещений художественно-композиционного цикла предназначена для развития художественного образования учащихся, где изучают основы изобразительного искусства, скульптуры и черчения и включает кабинеты рисования, живописи, композиции, скульптуры и пластической анатомии, черчения и кабинеты для теоретических занятий по технологии художественной обработки материалов, по художественному конструированию и дизайну (рис. 2).

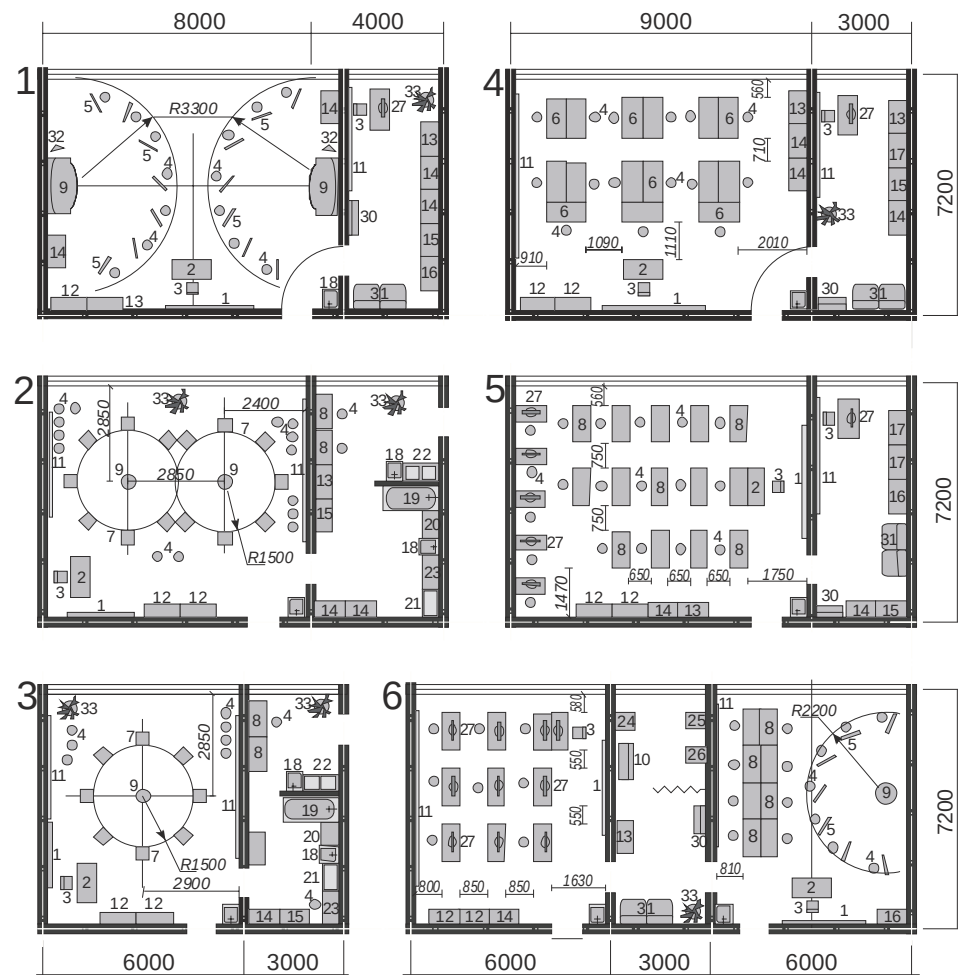


Рис. 2. Кабинеты и мастерские: 1 — рисования, живописи; 2...3 — скульптуры; 4 — композиции; 5 — черчения; 6 — художественного конструирования и дизайна (1 — интерактивная доска настенная для показа видеоматериалов; 2 — стол преподавателя; 3 — стул полужесткий; 4 — стул ученический поворотный; 5 — мольберт складной для рисования и живописи; 6 — стол рабочий ученический; 7 — станок для скульптуры; 8 — стол ученический чертежный; 9 — подставка для природы; 10 — верстак универсальный; 11 — стенд настенный; 12 — стеллаж пристенный секционный; 13 — шкаф для хранения пособий и материалов; 14 — шкаф для спецодежды; 15 — шкаф для хранения глины; 16,17 — шкафы для одежды; 18 — мойка с отстойником; 19 — ванна для замочки глины; 20 — ящик для хранения глины; 21 — печь для сушки изделий из глины; 22 — печь муфельная; 23 — стол с железным покрытием для замеси глины; 24 — станок сверлильный малогабаритный; 25 — станок фрезерный; 26 — станок шлифовальный; 27 — компьютер; 28 — станок токарно — винторезный; 29 — станок токарный по дереву; 30 — зеркало; 31 — уголок для отдыха; 32 — сафик; 33 — цветы)

Общие площади кабинетов рисования, живописи, композиции и скульптуры принимаются за 65, 86, 108 м², помещения для теоретических занятий ТХОМ и ХКиД — 68 м². Также в состав этих помещений входят складские с лаборантскими для хранения чучел, манекенов, моделей и др. материалов, необходимых для проведения занятий [1, 5].

Располагать помещения для рисования, живописи, черчения целесообразно на север, северо-запад, на верхних этажах здания с использованием верхнего света для обеспечения равномерного освещения. При проектировании помещений для занятий скульптурой и керамикой, для вывоза и ввоза глины, гипса и отходов рекомендуется располагать их на первом этаже с дополнительным входом.

При проектировании творческих мастерских для обучения мастерству и вспомогательно-производственных мастерских и лабораторий необходимо предусматривать размещение вспомогательных помещений для сырьевых материалов и готовой продукции, кладовые и гардеробные для хранения домашней одежды площадью 0,6 м² на одно рабочее место. В зависимости от функциональных разновидностей назначения, указанные помещения могут размещаться раздельно при соответствующих мастерских или в одном месте.

С целью универсального использования учебных зданий ПИ при их проектировании необходимо предусматривать возможность перераспределения площадей внутри группы помещений общехудожественного цикла, а также между помещениями для обучения мастерству ПИ и профильными вспомогательно-производственными мастерскими, в зависимости от местных условий и требований размещения технологического оборудования (в скобках площади вспомогательных и лаборантских помещений), (таблица).

Группа помещений общеобразовательного и гуманитарного цикла предназначена для проведения теоретических занятий с учащимися. В отличие от профтехучилищ, техникумов (лицеев, колледжей) и учкомбинатов, в состав помещений для теоретического обучения, кроме помещений общеобразовательного цикла, входят учебные помещения гуманитарного цикла — кабинеты истории республики, истории искусства, народной педагогики и психологии, этики и эстетики. Все учебные кабинеты и лаборатории для теоретических занятий должны размещаться отдельно от мастерских, так как по своему характеру они родственны общеобразовательным школам и высшим учебным заведениям. Площадь групп помещений общеобразовательного и гуманитарного цикла, административно-бытового назначения по составу и вместимости рекомендуется проектировать, основываясь на нормы проектирования универсального профтехучилища с учетом того, что учебные группы в учебных заведениях ПИ принимаются с численностью учащихся 28 человек. Площадь помещений составляет около 50 м², что дает приблизительно 1,7...1,8 м² на одно учебное место [1, 4].

Группа административно-хозяйственных и бытовых помещений предназначена для управления всеми типами УПЗ НХП и обслуживания учащихся и включает столовую, медпункт и помещения преподавателей и др. Эту группу помещений целесообразно размещать на первом этаже, в непосредственной близости к основному входу в здание (рис. 3).

При организации больших УПЗ НХП площади рекреаций, вестибюля-гардероба, уборных и умывальных для учащихся принимаются из расчета максимальной единовременной вместимости здания, административно-хозяйственные помещения — из расчета необходимого управленческого аппарата. УПЗ НХП содержат спортивный зал (18×30 м) 24×12 м, раздевалки,

душевые и санузлы по расчету. Спортивные сооружения могут использоваться взрослым населением данного населенного пункта в вечернее время.

Состав и площади группы помещений общехудожественного цикла

Помещения	Площадь, м ²
<i>1 Помещения для обучения мастерству ПИ</i>	
а) художественное ковроткачество: мастерская для ткачества ворсового ковра; мастерская для ткачества безворсового ковра; мастерская для смешанного ткачества и гобелен	54(+18) 108(+27), 65(+21)
б) художественная обработка древесины, кости и рога: мастерская для художественной обработки древесины; мастерская для художественной обработки кости и рога	65(+21), 72(+18)
в) художественная обработка металлов и камня: мастерская для художественной обработки металлов; мастерская для художественной обработки камня	65(+21), 72(+18) 65(+21), 72(+18)
г) художественная обработка кожи: мастерская для художественной обработки кожи	65(+21), 72(+18)
д) художественная керамика: мастерская для художественной обработки керамики; гончарный цех	87(+21); 65(+21)
е) художественное конструирование и дизайн: творческая мастерская	87(+21)
ж) национальная одежда: цех-мастерская для пошива одежды	87(+21)
<i>2 Вспомогательно-производственные помещения:</i>	
а) комбинированные мастерские для механической обработки металла, древесины, камня, кости и рога;	87(+21), 87(+27)
б) мастерская с механизированными установками для обработки (подготовки к ткачеству) шерсти, хлопка и кожи	65(+21), 72(+18)
в) Лаборатории: для окраски шерсти, хлопка и кожи; для окраски и морилки древесины; для обжига и окраски металла; кузнечный цех; для обжига керамических изделий	65(+21), 72(+18) 65(+21), 72(+18) 18, 21, 28 65(+21)
<i>3 Вспомогательные помещения:</i>	
а) инструментальные кладовые;	18, 21, 28
б) склад заготовительных (сырьевых) материалов и готовой продукции по ковроделию, деревообработке, металлообработке, по обработке кожи, керамики и по национальной одежде;	18, 27
в) гардеробные;	18, 27
г) лаборантские;	18, 27
<i>4 Помещения для художественно-композиционного цикла:</i>	
кабинеты рисования; живописи; композиции; черчения; скульптуры и пластической анатомии;	72(+18), 65(+21) 65(+21)
для теоретических занятий по технологии и художественной обработке материалов;	43(+21), 65(+21)
для теоретических занятий по художественному конструированию и дизайну	65(+21)



Рис. 3. Теоретическая модель функциональной структуры ЦАП НХП

Одним из важных моментов организации сети ЦАП НХП является разработка функционально-типологической структуры базовых учебно-производственных комплексов народного прикладного ремесла (УПК НХП). В структуре охвачены все архитектурно-планировочные элементы. По функциональному признаку все они были объединены в две основные зоны: «А» — учебная и «Б» — производственная.

Учебная зона, в состав которой входят студия, ремесленная школа, лицей ПИ и персональные мастерские, состоит из двух групп помещений: общеобразовательно-гуманитарного и общехудожественного цикла. Группа помещений общеобразовательно-гуманитарного цикла состоит из учебных лабораторий, кабинетов общеобразовательного и гуманитарного цикла. К группе помещений общехудожественного цикла относятся творческие мастерские для обучения мастерству прикладного ремесла, вспомогательно-производственные помещения, кабинеты и лаборатории художественно-композиционного цикла.

Производственная зона комплекса (фабрики, комбинаты, фирмы, производственные мастерские НПР) состоит из двух основных функциональных подзон, предназначенных для производства изделий НПР и их коммерческой реализации. К подзоне производства изделий НПР относятся мастерские по производству ковровых изделий, художественных изделий из древесины, кости и рога, металла и камня, кожи и ткани, керамики. В состав коммерческой подзоны входят помещения по приему и подготовке заказов от населения, приему и обработке сырья, торговле и демонстрации готовой продукции.

Административно-хозяйственные и общественно-бытовые зоны комплекса одновременно обслуживают учебную и производственную зоны УПК НПР.

Таким образом, основная идея создания комплекса направлена на интеграцию обучения с производством, в основе которого лежит архитектурно-планировочная организация двух основных функциональных зон «А» и «Б». Кроме этого, структура базовых УПК НПР позволяет установить не только перечень конкретных групп помещений и функциональных зон, входящих в состав комплекса, но и определить функционально-планировочное построение УПК НПР (рис. 4).



Рис. 4. Функциональная структура базового многофункционального УПК НХП

Для выявления взаимосвязей объектов УПЗ НПР на основе функционально-типологической структуры комплекса составлена схема функциональной взаимосвязи объектов, входящих в состав этого комплекса. В комплексе предусмотрено осуществление следующей учебно-производственной и коммерческой деятельности: учебно-производственная практика учащихся

через производственные зоны комплекса: выставка-продажа творческих работ учащихся, продажа готовых изделий через торговую сеть комплекса; подготовка заказов населения через производственные мастерские УПК НХП. Составление структуры позволило определить принципы взаимосвязей основных зон УПК НХП (учебной и производственной) и вспомогательных (общественно-бытовой и административно-хозяйственной) зон между собой, на основе которых получены рекомендуемые варианты размещения помещений в зданиях и зданий в комплексе. Предложенная схема рассчитана также на поэтапное обучение молодежи народному прикладному искусству, совмещающая его с производством и коммерческой деятельностью.

Комплекс представляет максимальную возможность заниматься теми или иными видами ремесла не только для молодежи и взрослого населения сел, в которых формируется данный учебно-производственный центр, но и для престарелых людей и инвалидов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арынов К. К. Проектирование новых типов учебно-производственных зданий прикладного ремесла — Тараз : Тараз университети, 2004. — 150 с.
2. Дьячков В. М. Перспективный тип здания школы — школа полного дня // Перспективные типы и архитектурно-планировочные решения массовых общественных зданий: сб. науч. тр. ЦНИИЭП учебных зданий. — М., 1985. — С. 64—72.
3. Семенова Т. С. Народное искусство и его проблемы. — М. : Советский художник, 1977. — 264 с.
4. Наумов С. Ф. Новые тенденции в архитектурной типологии профтехучилищ и техникумов. — М. : ВНИИТАГ Госкомархитектуры, 1991. — 168 с.
5. Степанов В. И. Рекомендации по проектированию зданий детских школ искусств (ДШИ). — М. : Стройиздат, 1984. — 182 с.

1. Arynov K. K. Proektirovaniye novykh tipov uchebno-proizvodstvennykh zdaniy prikladnogo remesla — Taraz : Taraz universiteti, 2004. — 150 s.
2. Dyachkov V. M. Perspektivnyy tip zdaniya shkoly — shkola polnogo dnya // Perspektivnye tipy i arkhitekturno-planirovochnye resheniya massovykh obshchestvennykh zdaniy: sb. nauch. tr. TsNIIEP uchebnykh zdaniy. — M., 1985. — S. 64—72.
3. Semenova T. S. Narodnoye iskusstvo i ego problemy. — M. : Sovetskiy khudozhnik, 1977. — 264 s.
4. Naumov S. F. Novye tendentsii v arkhitekturnoy tipologii proftekhuchilishch i tekhnikumov. — M. : VNIITAG Goskomarkhitektury, 1991. — 168 s.
5. Stepanov V. I. Rekomendatsii po proektirovaniyu zdaniy detskikh shkol iskusstv (DShI). — M. : Stroyizdat, 1984. — 182 s.

© Арынов К. К., 2012

Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Арынов К. К. Основные функциональные группы, состав и площади помещений учебно-производственных центров прикладного ремесла // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр.-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 233—241.

УДК 726.5.03/72.034

Г. З. Каганов

СОБОР СВ. ПЕТРА В РИМЕ КАК ОБРАЗЕЦ 400-ЛЕТНЕЙ РЕКОНСТРУКЦИИ

Посвящена работам над ансамблем собора Св. Петра на Ватиканском холме в 1506—1626, в 1652—1667 и в 1936—1950 гг. В документах эпохи эти работы никогда не назывались строительством, а только «перестройками», паузы между строительными периодами были заполнены реконструктивными планами. Поэтому вся история ансамбля представляла собой процесс реконструкции в несколько веков. Предметом статьи являются не только архитектурные особенности этого процесса, но и их образная интерпретация в искусстве Италии XVI—XVII веков.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Рим, реконструкция, искусство.

This article is dedicated to the creation of the grand st. Peter's Basilica on Vatican Hill. The cathedral was built in 1506-1626, 1652-1667 and in 1936-1950. In the early documents the project was never referred to as "construction" but only as "reconstruction." During the intervals between building periods, planners put forth a series of reconstructive proposals, so that the project history appears a several centuries reconstruction process. The article covers the architectural features of the process as well as the interpretation of these features in the Italian visual arts of the 16th and 17th centuries.

Key words: Rome, reconstruction, visual art.

Возведение римского собора Св. Петра в 1506—1614 гг. представляло собой замену одноименной базилики, построенной на Ватиканском холме императором Константином Великим в 320-х гг. Возведение нового собора в официальных документах эпохи никогда не называлось строительством, а только «перестройкой» (*ricostruzione*), то есть в представлении многократно менявшихся заказчиков и строителей это была реконструкция, в Европе XVI—XVII вв. реконструктивный проект. Он привел к постепенному сложению на Ватиканском холме огромного ансамбля, оказавшего влияние на развитие мировой архитектуры и градостроительства.

Столь значительное явление не могло не отразиться в литературе и искусстве своего времени. Особенно интересны художественные свидетельства, позволяющие заглянуть в проектный процесс гигантской «перестройки». К числу таких свидетельств относится весьма примечательное произведение графики, показывающее, каков был статус архитектурной части этого процесса. Его имеет смысл рассмотреть с достаточной подробностью.

Речь идет о рисунке, который тщательно выполнен тушью и сепией неким итальянским художником, работавшим в Риме в первой четверти XVII в. (рис. 1). Лист датируется примерно 1622 г. и хранится под названием «*Architectural Conference*» в Музее искусств г. Кливленда, штат Огайо [1].

Изображена страстная дискуссия вокруг не очень крупного макета собора Св. Петра в Риме, представленного в продольном разрезе. Видимо, макет сделан сравнительно небольшим, настольным (на глаз высота с крестом не более 70 см) специально для удобства доставки и установки то ли в комнатах Ватиканского дворца, то ли в строительной комиссии Папской курии. Рисунок исполнен во вкусе позднего маньеризма, и помещение, где проходит дискуссия, имеет вид не реального интерьера, а неких вполне условных покоев.

Например, высоко над столом, на котором стоит макет, в самом зените крестового свода прорезан круглый античный окулус, обнесенный балюстрадой и открытый в небо.

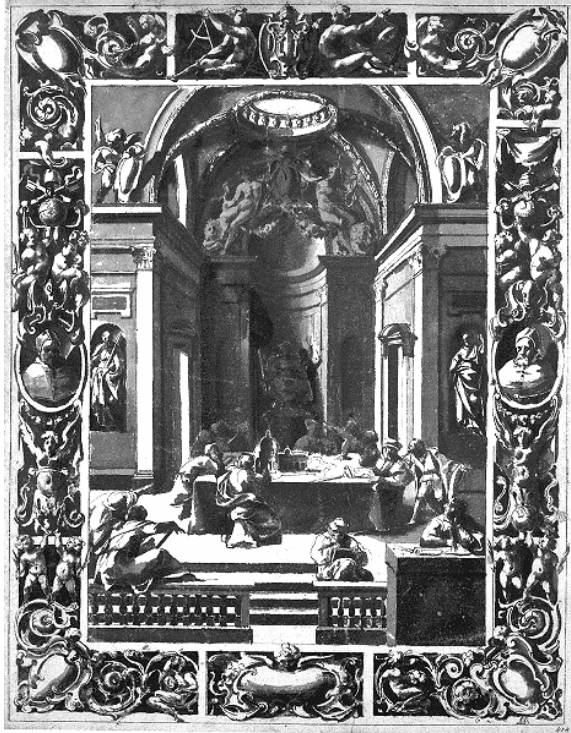


Рис. 1. Римский аноним. Архитектурная конференция. Рисунок тушью, пером, тонирован сепией. Ок. 1622. Кливленд, штат Огайо, Музей изящных искусств

Никакого практического смысла в нем нет, так как помещение хорошо освещено боковым светом, скорее всего, из окон, хотя нельзя исключить, что дело происходит в лоджии. Кроме того, в те времена художникам было положено разбираться в архитектуре, так что рисовальщик наверняка понимал конструктивную несуразность такого отверстия в крестовом своде и, значит, показал его как чисто символическое обозначение чего-то, возможно, союза «древности» и «современности». В сегодняшних терминах — античности и барокко — хотя тогда термина «барокко» не существовало, а мастера, работавшие в этом стиле, называли его просто «*arte moderna*».

Вообще тема «древних» и «современных» была очень актуальна в тогдaшнем Риме, поскольку энергичная деятельность пап по реконструкции Вечного Города, начавшаяся с середины XV — конец XVI вв. стала постепенно осознаваться не только как следование античным образцам, но и как соревнование с ними. Чем дальше, тем больше появлялось уверенности в том, что «современные» выигрывают у «древних». Около середины XVI в., когда Микеланджело принял должность главного архитектора строящегося собора Св. Петра, уверенность стала почти непоколебимой. А рост гигантского тела нового собора, поднимавшегося над постепенно сносимой древней базиликой св. Петра, не оставил в этом уже никакого сомнения. Далеко еще не доведенный до самого

верха, собор огромностью масс и величиной пролетов ничем не уступал самым впечатляющим античным образцам. Микеланджело чувствовал себя вправе говорить о собственном творчестве: «Если проект этот будет осуществлен, будет создано произведение, какого никогда в свое время не создавали ни римляне, ни греки, — слова, никогда не исходившие из уст Микеланджело, ни до того, ни позднее, ибо он был человеком скромнейшим» [2].

Не так уж важно, что непосредственный повод к такому высказыванию дало другое сооружение, тоже центрическое и тоже увенчанное куполом большого пролета, а именно: церковь Сан-Джованни деи Фьорентини, которую он около 1560 г., одновременно с возведением подкупольного барабана для собора Св. Петра, проектировал для строительства на правом берегу Тибра, на крутом изгибе реки. Два эти купола, стоявшие одинаково эффективно, должны были вести громкий архитектурный диалог, в равной степени утверждая становление «Нового Рима», как позже будут называть барочный город, возникший в итоге беспрецедентной реконструкции на месте «Старого Рима».

Следует заметить, что строительство нового собора на Ватиканском холме Микеланджело с самого начала повел как реконструкцию. Так как значительная часть здания уже была построена по проектам других архитекторов, то он, отвергая их работу, немалую часть снес, а прочее перестроил. Этот реконструктивный процесс продолжали его преемники по стройке, все время что-нибудь меняя и переделывая. Даже пристройка к микеланджеловскому центрическому зданию новой базиликальной части началась с реконструкции: был в немалой степени разобран восточный фасад, который Микеланджело не успел закончить. Судьба нового (ныне стоящего) восточного фасада базилики тоже была чередой перестроек, далеко не всегда удачных.

Вернемся к рисунку из Кливленда. По центру, позади стола в глубине перспективы изображена высокая полукруглая ниша, увенчанная конхой. В нише — сидящая женская фигура, кажется, в венце и со скипетром в правой руке (фигура в глубокой тени, и детали трудно разглядеть). Вверху между конхой ниши и падугой крестового свода — крупные аллегорические фигуры с многочисленными атрибутами, тоже не очень различимыми. На среднем плане рисунка в меньших нишах стоят еще какие-то фигуры явно эмблематического вида. Для целей данной статьи важно не столько содержание этих аллегорий и эмблем, сколько само их наличие. Не менее важно и то, что в декоративной раме, окружающей рисунок и заполненной дробными маньеристическими орнаментами, резко выделяются два сравнительно крупных овальных медальона с поясными портретами пап, больше всего сделавших для строительства собора Юлия II, заложившего в 1506 г. новый центрический храм, и Павла V, в 1606 г. решившего превратить его в базилику. Ясно, что их портреты должны всячески усиливать многозначительность происходящего, тем более, что оба они внимательно смотрят на стол с макетом. Туда же смотрят две аллегорические скульптуры, стоящие в нишах второго плана и зрительно прижатые к медальонам с папскими полуфигурами.

Вокруг стола и в разных местах помещения представлены участники дискуссии, все в преувеличенно бурных позах, за исключением одного, явно устранившегося от шумных дебатов. Что они могут обсуждать?

Еще раз надо подчеркнуть, что макет на рисунке показывает продольный разрез величайшего из храмов тогдашнего мира. Тем самым, предметом дискуссии могла быть новая базиликальная часть, к 1622 г. еще не законченная. Что касается сравнительно коротких — всего три травеи — нефов этой новой части, пристроенной по настоянию папы Павла V к строго центричному греческому кресту микеланджеловского собора, то к их страстному обсуждению могли вести не только архитектурные, но и военно-политические причины.

Начавшаяся в 1618 г. Тридцатилетняя война между католиками и протестантами в первые годы принесла громкие победы католическим армиям, которыми командовали лучшие полководцы Европы. Протестанты были сильно потеснены, и многие их территории вернулись под власть католических государей и тем самым в ведение Престола св. Петра. Казалось, что дни протестантизма сочтены, ведь никто не знал тогда, что война продлится еще десятки лет и кончится признанием завоеваний Реформации.

Поскольку в 1622 г., когда делался рисунок из Кливленда, базиликальная часть собора еще не была полностью закончена, то изображенные неизвестным рисовальщиком дебаты могли касаться не только архитектуры фасада новой базилики, но и отделки ее интерьера. Ведь после впечатляющих побед над протестантами Престол св. Петра имел все основания радоваться крупным успехам католических держав, и выражение победного ликования вполне могло обсуждаться при ватиканском дворе как тема монументального декора в интерьере новой базилики. Нельзя исключить, что именно такая тема дебатруется на рисунке под внимательными взглядами виртуально присутствующих пап. Для нашей темы важно, что здесь на высоком уровне обсуждается не готовая постройка и не реально выполненный декорум, а проект того или другого.

Между тем, несмотря на все победы, большинство населения возвращаемых территорий было уже протестантским. Нужно было возвращать их в католицизм. Поэтому с новой остротой вставал 100-летней давности вопрос о демонстрации идеологического преимущества и вероисповедного первородства католической традиции. В этом контексте особую значимость приобретали базилики всех главных святынь Рима, сложившихся в IV—V вв. при первых крещенных императорах. К рубежу XVI и XVII вв. их архитектурная форма наглядно выражала более чем тысячелетнюю традицию католической государственности. Поэтому еще до Тридцатилетней войны в 1606 г., в начале понтификата Павла V было решено придать собору Св. Петра базиликальную форму, хотя бы отдаленно напоминающую об огромной, роскошно украшенной пятинефной базилике, которую император Константин Великий заложил в 324 г. на этом месте (т. е. на месте погребения св. ап. Петра), а папа св. Сильвестр I освятил в 329 г. [3].

Бросающееся в глаза архитектурное противоречие новой базиликальной пристройки и прежнего центрического храма с самого начала вызывало справедливую критику, которая то затихала, то снова разгоралась. Возможно, на рисунке запечатлен очередной приступ этих споров. Но вместе с тем следует признать, что у папы Павла V и его архитектора Карло Мадерно были вполне основательные резоны к удлинненной пристройке: новые нефы заканчивались

точно там, где раньше стоял восточный фасад Константиновой базилики. Перед этим фасадом лежал обширный, обнесённый портиками квадратный двор с надколодезной сенью в центре. В XI—XII вв. в северо-восточном углу двора была возведена изящная романская колокольня. Постепенно к ней одно за другим прилепились тесно составленные средневековые здания, заслонившие восточный портик двора. Они не раз перестраивались и образовали разнородный, но по-своему выразительный фронт всего ансамбля базилики, обращенный к кварталу Борго и замку Св. Ангела. На гравюре 1580-х гг. хорошо видно, как над этим разнородным вырастает гигантское тело нового Собора (рис. 2). В середине XVII в. место позднеантичного двора и его романо-готико-ренессансного фронта заняла и по сей день занимает огромная паперть, широчайшими и великолепными лестницами спускающаяся к знаменитой овальной площади Лоренцо Бернини.

Вообще при проектировании как центрального храма, так и нефов новой вытянутой части очертания плана древней базилики служили ядром планировки и для Микеланджело, и для Мадерно. Так, ширину пролета между подкупольными пилонами Микеланджело сделал практически такой же, какова была ширина центрального нефа Константиновой базилики. А Мадерно сделал такой же ширину своего центрального нефа, который повторил воздушное тело древнего Константинова нефа («корабля св. Петра»), но был примерно на 10 м выше. Ширина каждого из микеланджеловских пилонов была равна суммарной ширине двух довольно узких боковых нефов древней базилики. К тому же средокрестие нового центрального храма точно совпадало со средокрестием древней базилики, т.е. с пересечением осей ее центрального нефа и трансепта, замыкавшего ее с запада. Иначе и быть не могло — под средокрестием в крипте находился камень, указывавший место захоронения св. ап. Петра на древнем окраинном языческом кладбище. Так что центральный храм Микеланджело и новая базиликальная часть Мадерно вместе взятые скрыто содержали внутри себя весь объем разобранной Константиновой базилики.

После иерусалимского храма Воскресения Христова, построенного императором Константином и его матерью Еленой над Голгофой и Гробом Господним в 325/26—335, ватиканская базилика стала второй по значению святыней всего христианского мира. Третьей святыней стал константинопольский собор св. Софии, тоже связанный с ватиканской базиликой.

Дело в том, что одновременно с нею, в 320-х гг. император Константин построил в городке Византии, будущем Константинополе, базилику св. Софии Премудрости Божией. Поскольку она сгорела в 532 г., то император Юстиниан в 532—37 гг. возвел на ее месте знаменитый Софийский собор, оставшийся более тысячи лет самым крупным сооружением мира, пока в 1626 г. не был закончен римский собор Св. Петра, вернее его здание, но не площадь.

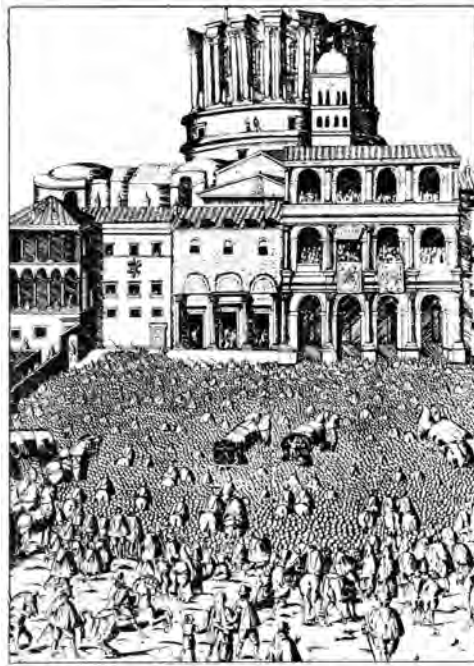


Рис. 2. Амброджо Брамбилла. Папа благословляет горожан из Лоджии благословений. Гравюра. 1580-е гг. Фрагмент

По поводу площади, строительство которой прервалось в 1667 г., Лоренцо Бернини планировал продолжить ее композицию вниз по склону Ватиканского холма вплоть до замка Св. Ангела, для чего требовался постепенный снос густонаселенного квартала между улицами Борго Веккио и Борго Нуово. Имея это в виду, Бернини внутри ансамбля площади продолжил оси обеих улиц в виде прямых галерей, соединявших его знаменитые овальные колоннады с фасадом Собора. Поскольку улицы слегка расходились, то и галереи зодчий сделал несколько скошенными в плане. Это вносит в пространство площади тонкую барочную интригу, в которой зритель обычно не отдает себе отчета. Но благодаря ей архитектура колоннад и галерей ведет с его боковым зрением скрытую игру, заставляя очертания пространств слегка колыхаться, как бы дышать вокруг него.

Снос кварталов в XVII в. не удался. Но идея открытой эспланады от Собора к Замку продолжала жить и в XVIII, и в XIX, и в XX веках. Час ее пробил в 1936 г., когда премьер-министр Итальянского королевства Бенито Муссолини открыл финальный акт этой барочной драмы: он киркой нанес первый удар по одному из зданий квартала Борго, подлежащего сносу. Огромные реконструктивные работы по проекту Марчелло Пьячентини и Аттилио Спаккарелли продолжались почти 15 лет и закончены были лишь к 1950 г. Эспланада, замыкаемая монументальным фасадом Собора, получила выразительное имя Виа делла Кончилиацоне, улица Примирения. Она стала не только завершением 400-летней реконструктивной эпопеи, но и символом послевоенного компромисса всех общественных сил Италии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cleveland Museum of Art, inv. № 1954. 713.
2. *Вазари Дж.* Жизнеописание Микеланджело Буонарроти, флорентинца, живописца, скульптора и архитектора // Жизнеописания наиболее знаменитых ваятелей и зодчих ; пер. с итал. А. Венедиктова, А. Габричевского. — СПб, 2004. — С. 489.
3. *Sartorio, Pietro.* Il colle Vaticano e le sue vicende. Roma, 1994. — Pp. 15, 60—61.
1. Cleveland Museum of Art, inv. № 1954. 713.
2. *Vazari J.* Zhizneopisaniye Mikelandzhelo Buonarroti, florentintsa, zhivopistsa, skulptora i arkhitektora // Zhizneopisaniye naibolee znamenitykh vayatelei i zodchikh ; per. s ital. A. Venediktova, A. Gabrichевского. — SPb, 2004. — S. 489.
3. *Sartorio, Pietro.* Il colle Vaticano e le sue vicende. Roma, 1994. — Pp. 15, 60—61.

© Каганов Г. З., 2012

*Поступила в редакцию
в мае 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Каганов Г. З. Собор св. Петра в Риме как образец 400-летней реконструкции // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 242—248.

УДК 726.03

Ю. В. Посвятенко

ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ФАБРИЧНЫХ СЕЛЕНИЯХ РОССИИ НА РУБЕЖЕ XIX—XX вв.

На примере Центрального промышленного района рассмотрены основные тенденции в развитии храмового строительства в городах и фабричных селах региона. Среди наиболее характерных черт отмечены источники финансирования и стилистика строительства, заметное присутствие старообрядческих и иных иноверческих построек.

К л ю ч е в ы е с л о в а: храм, византийский стиль, русский стиль, неорусский стиль, старообрядцы, благотворительность, рабочий вопрос.

The main tendencies of temple construction development in cities and industrial villages are considered in the article by the example of the Central industrial region. Among most peculiar features were noted sources of financing and stylistics of construction, evident presence of old believer and unorthodox buildings.

К е у w o r d s: temple, Byzantine style, Russian style, neo-Russian style, Old Believer, charity, business issue.

Изучение культового архитектурного наследия эпохи в современных условиях становится актуальным благодаря повышенному вниманию общества к проблемам возрождения православных традиций, в том числе и православного строительства. Отмечается большой интерес исследователей к периоду второй половины XIX — начала XX вв., когда Российская империя вступила на путь интенсивного индустриального развития. Новые социально-экономические тенденции, основанные на рыночном механизме действия, вывели на первый план купца-предпринимателя, в разной степени связанного с классической культурой западноевропейского типа. Происхождение русского купечества имело свои особенности, в том числе преимущественно крестьянские корни. Близость к народным традициям, которые существенно повлияли на стилевые предпочтения заказчиков многих проектов и общественно-политический фон, существенно повлияла на архитектурную практику культового строительства эпохи.

В сочетании с эпохой эклектики, начавшейся в России с 1930-х гг. XIX в., идеи славянофилов породили повышенный интерес к традициям допетровской Руси во всех сферах культуры, но пока преимущественно в столицах. После победы над Наполеоном, особенно во время правления Николая I (1825—1855 гг.), в связи с развитием идеи национальной государственности законодательно закрепляется строительство новых храмов по образцам, возрождавшим архитектурные традиции Древней Руси. Образцовый храм должен был быть крестово-купольным, пятиглавым, основанном на изданном архитектором К. А. Тоном в 1838 и 1844 гг. стандарте, и повторять тип московских средневековых соборов, основанных на византийской традиции. Значительная свобода в выборе стилистики появилась у архитекторов только после принятия строительного устава 1857 года. Тем не менее, русско-византийский стиль сохранял свою актуальность. Наиболее известным объектом его реализации в архитектурной практике Москвы стало строительство

храма Христа Спасителя. Чуть позже в связи с празднованием 900-летия Крещения Руси архитекторы опять обратились к истокам национальной культуры. В Киеве был построен знаменитый Владимирский собор (1896), в создании убранства которого принимали участие лучшие художники. В оформлении его фасадов и интерьеров тоже широко использовали мотивы византийской архитектуры.

Своеобразным откликом заказчиков стали формы и интерьеры храмов многих растущих промышленных центров России. Они отражали особенности мировоззрения и верноподданнические чувства прихожан. Интересно, что среди предпринимателей центра России было значительное число единоверцев и старообрядцев, на чьи средства возводились православные храмы, предназначенные для работников их предприятий.

В Центральном промышленном районе в рассматриваемый период наблюдается интенсивное возведение храмов в быстро разрастающихся фабричных селах и городских слободах. Первоначально они возводились в русско-византийском стиле часто с элементами классицизма. Представительные формы стиля часто использовались для возведения крупных храмов. Так, например, церкви Вознесения (1851) в Вознесенском посаде и Рождества Христова (1858) архитектора Н. Рейма во Владимирской губернии. Описывая город в 1980-е гг., Я. П. Гарелин писал: «С северо-востока взору посетителя представляется прекраснейшая картина: на первом плане река, по берегам которой в виде гирлянды тянется ряд фабрик, за ними постепенно поднимается город, блестя золочеными главами церквей и выставляя местами высокие фабричные трубы...» [1]. После объединения этих населенных пунктов в город Иваново-Вознесенск в 1898—1903 гг. здесь возводится церковь Спаса Всемиловитого (утрачена), чей проект по заказу местного фабриканта А. И. Гарелина выполнил Ф. О. Шехтель, а наблюдение за строительством осуществлял губернский архитектор П. Г. Беген. Этот пятиглавый храм был одним из самых представительных и богатых в городе (утрачен в 1930-е). В оформлении фасадов церкви Ф. О. Шехтель использовал византийские тройные арочные окна, разделенные полуколоннами в массивных обрамлениях, они членились пластичными пилястрами и были украшены мозаиками. Храм завершался пятью шлемовидными куполами на граненых барабанах. Стены украшали мозаичные орнаменты. Интерьер украшали росписи учеников Строгановского училища по образцу Владимирского собора в Киеве. В главном храме и приделах были установлены двухъярусные иконостасы из белого мрамора с иконами, выполненными палехскими художниками, позолоченными бронзовыми деталями и паникадилами, сделанными по рисункам Шехтеля. Черты русско-византийского стиля в разной степени присутствуют и в архитектуре собора Воскресенско-Федоровского монастыря в Сергееве (1897—1905 гг.) Владимирской губернии, церкви Христа Спасителя в Седельницах (1905—10 гг.) Костромской губернии и других храмах, возведенных по проектам архитектора П. Г. Бегена в Иванове и Лежневе.

Несмотря на складывающуюся практику храмового православного строительства и ее государственную поддержку, после принятия нового строительного устава 1857 г., позволившего архитекторам действовать самостоятельно при выборе стилистики построек и в соответствии с пожеланиями заказчиков, наметилась и новая тенденция. Речь идет о становлении в рамках

эkleктики т. н. русского стиля. В архитектуре той эпохи шел поиск стиля, в том числе для культового строительства, которое зримо отражало бы в себе национальную русскую идею и функциональное назначение постройки. Серьезное влияние на формы культовой архитектуры эпохи оказала деятельность архитектора И. Ропета, активно использовавшего в своем творчестве мотивы узорочья XVII в. и модные в художественных кругах элементы народной культуры. В фабричных центрах большое влияние на распространение этого стиля оказали и особенности промышленной архитектуры, основанной в это время на строительных материалах, представлявших богатые возможности использования фигурной кладки красного кирпича в сочетании с новой металло-кирпичной структурой сооружения [2]. «Язык» краснокирпичной храмовой архитектуры становился богаче, осваивая многочисленные декоративные элементы. Наиболее ярким примером стиля, конечно, является храм «Спаса на крови» в Санкт-Петербурге, но и провинциальные постройки стали украшением многих селений.

В Середе Костромской губернии фабрикант И. И. Скворцов заказал в 1886 г. храм в русском стиле, однако его ближайшие наследники, в связи с существенным увеличением прихожан в 1897—1905 гг., превратили его в громадную церковь, рассчитанную на 2...2,5 тыс. молящихся. Проект выполнил московский архитектор П. П. Зыков. Храм Всех Скорбящих Радость сооружен в лицевой кирпичной кладке с включением белого камня, основан на формах XVII в. В объемной композиции доминирует основной объем: центральный четверик с крупным барабаном, увенчанным огромной луковицей. С севера и юг к нему примыкают приделы с алтарями — полукруглыми внутри и шестигранными снаружи; приделы завершены пирамидами кокошников и тесно сдвинутым пятиглавием. К востоку от основного четверика выдвинут совсем небольшой кубический объем первоначальной церкви, увенчанный низким глухим шатром, заканчивающийся квадратным алтарем. Над коротким западным притвором поднимается массивная невысокая колокольня с четырьмя главками в основании тяжеловесного шатра. Фасадная пластика чрезвычайно насыщена: лопатки и пилястры, ниша и ширинки различных конфигураций, наборные наличники высоких арочных окон, килевидные и треугольные кокошники разных размеров и т. п. Этому обилию декора созвучны и богатые узорные решетки окон. Каменные ступени высоких открытых крылец ведут к широким порталам (боковые — в виде тройных висячих арок), [3].

В Ярославле в 1890-е гг. возводятся церкви Знамения архитектора А. А. Никифорова и Сретения архитектора Н. И. Поздеева, отличающиеся богатым декоративным убранством и виртуозным мастерством кирпичной кладки, которая содержит практически все элементы, характерные для ярославских храмов XVII в.: килевидные завершения окон, колонки с «дыньками», кокошники в основании восьмерика и шатров, богатые ступенчатые карнизы с городками и сухариками, и, конечно же, ширинки, украшенные изразцами.

В 1915—1917 гг. в Иваново-Вознесенске по заказу местных промышленников З. Кокушкина и И. Маракушева по проекту московского архитектора И. Е. Бондаренко строится Ново-Казанская часовня (утрачена). Своеобразный храм в русском стиле, характеризовался стройностью объема и был увенчан высоким шатром, облицованным зеленой черепицей, который завершала главка удлиненной формы. Аналогичные, но меньшие по-размеру главки венчали

углы четверика. Слегка скошенные стены зрительно увеличивали высоту здания. Крыльцо, служившее входом, было изящно украшено изразцовым панно, изображающим композицию Покрова Богородицы. Многоцветный изразцовый фриз проходил по верху основного четверика здания. Расположенная на возвышенном месте часовня выразительно вписывалась в панораму города, однако простояла она менее десяти лет.

Многие городские храмы этого периода отличаются большими объемами, например, Георгиевский собор в Гусь-Хрустальном. Владелец завода Ю. С. Нечаев-Мальцев привлек для его возведения архитектора Л. Н. Бенуа, художника В. М. Васнецова, мозаичиста В. А. Фролова. Храм, построенный по образцу посадских трапезных церквей XVII в., имел изящные главки с белокаменными кокошниками на главной и придельной церквях, шатровую колокольню, пристроенную к трапезной палате. Внутри же это был просторный базиликальный молитвенный зал, замечательным его украшением были бронзовые паникадила художественной работы, мозаики, иконостас с эмалью. Хозяина хрустального завода часто спрашивали, почему он не пожалел колоссальных средств для украшения фабричной и сельской церквей в глуши Владимирской губернии. «А отчего стоит город Орвието в Италии? Для его собора ездят иностранцы издалека. Будет время, когда художники и ценители русского искусства станут ездить и на наш Гусь...» — отвечал он [4]. Таким образом, российская провинция обогащалась яркими произведениями культового зодчества.

С приходом модерна, культовое православное строительство обогатилось постройками в неорусском стиле, ориентированном на архитектуру древнего Новгорода и Пскова. Если в Москве это направление выразилось в создании А. В. Щусевым Покровского собора Марфо-Мариинской обители, то в промышленных центрах это проявилось, например, в строительстве Воскресенского собора в Твери архитектором М. П. Омелюстым (1913). Он выполнен в неорусском стиле, имеет форму куба с тремя апсидами и массивным барабаном со шлемовидной главой. С запада примыкает пониженный притвор с хорами, завершенный на фасаде щипцом, более низкие северный и южный притворы-тамбуры фланкированы контрфорсами. Индивидуальность и выразительность облика достигаются, главным образом, живописным сочетанием объемов и отдельных форм, а также ярусностью их композиционного построения, благодаря чему храм отличается особым единством и цельностью. Основными мотивами немногочисленного декора являются различные сочетания форм арок и полукружий.

Выразительность неорусского стиля особенно ярко отразилась в связи с отменой запрета на строительство старообрядческих храмов. Архитектор И. Е. Бондаренко по праву считался ведущим специалистом старообрядческого храмостроения, т. к. возвел храмы в Москве, Богородске, Конаково, Павловском Посаде, Орехово-Зуеве [5].

Помимо следования общероссийским тенденциям, в культовом строительстве можно выделить и строительство храма, включенного в единую постройку социального назначения, таких как школа, училище или богадельня. Например, в фабричном селе Южа Владимирской губернии купец А. Балин построил училище для детей рабочих с храмом во втором этаже во имя святого апостола Асинкрита. Возведенное в эклектичных формах здание является

частью главной улицы села, украшая собой его архитектурный облик. Аналогичным образом был организован храм Тимофея апостола при богадельне им. Т. С. Морозова Товарищества Никольской мануфактуры в Орехово-Зуево.

Существующие запреты на свободное возведение старообрядческих храмов привели к широкому распространению молельных домов, которые мало отличались от типичной жилой застройки селений, даже по масштабам зданий. Ивановский журналист И. Волков вспоминал, что «...почти в каждом фабрикантском доме существовала своя моленная, где совершались всякого рода религиозные обряды. Обычно моленная устраивалась где-нибудь в глубине дома, нередко она имела при этом замаскированные входы и выходы» [6]. Подобные культовые зоны имелись, как известно, и в доме московского старообрядца С. Рябушинского. Сооружение старообрядческих храмов в некоторых губерниях центрального промышленного района производилось и ранее, но для этого требовалось официальное разрешение властей, получить которое было крайне сложно. Однако в связи с событиями первой российской революции 1905—1907 гг. и объявлением веротерпимости, повсеместно, в том числе и в промышленных центрах, социальный состав которых формировался с участием пришлого населения из дальних мест, разворачивается массовое строительство иноверческих храмовых построек, в том числе мечетей и синагог.

Рассматривая особенности культового строительства в фабричных селениях России в конце XIX — начале XX вв., необходимо отметить, что российское купечество активно способствовало развитию культовой архитектуры, привлекая к проектированию, строительству и оформлению выдающихся архитекторов и художников эпохи, создавая неповторимое своеобразие фабричных селений. Храмы становились архитектурными доминантами населенных мест, культурными центрами фабричных слобод. Обилие иноверческих общин способствовало небывалому подъему культового строительства после 1905 г. Их возведение, как правило, финансировалось преимущественно предпринимателями, прихожанами и средствами иных благотворителей. В тех населенных местах региона, где храмовое каменное строительство было развито и ранее, наблюдается перестройка и расширение имеющихся храмов. В быстрорастущих торгово-промышленных селениях наблюдается активное строительство преимущественно в стилистике национальной культуры. Особенно заметным явлением после 1905 г. становится возведение храмов старообрядческих и иных иноверческих конфессий.

В некоторых торгово-промышленных центрах России расширяется строительство мечетей, синагог. В Иваново-Вознесенске в 1908 г. начался сбор средств на строительство мечети, но ее возведение так и не началось из-за организационных сложностей. Мусульманская соборная мечеть в Твери была построена в 1905—1906 годах по проекту инженера Б. Г. Поляка и на пожертвования тверских жителей — в те годы в Твери проживало более 300 мусульман. Главным вкладчиком был купец Ф. И. Алышев. Внес пожертвование даже император Николай II. Это была вторая мечеть в Центральной России, первая была выстроена в Москве. В 1913 г. здесь появилась синагога.

Порядок возведения культовых сооружений разных конфессий регламентировался Строительным уставом и содержал в начале XX в. дополнительные требования, необходимые к исполнению. Например, согласно его статьям «О построении магометанских мечетей», в пакет сопроводительных

документов входили: 1) заявление махалли, составленное в форме общественного приговора, в котором прихожане соглашались содержать мечеть и духовных лиц при ней за свой счет; 2) заключение Магометанского Духовного начальства о необходимости ее постройки согласно обозначенному плану; 3) заключение местной епархии, что препятствий с ее стороны к устройству магометанской мечети по выработанному плану не имеется; 4) заключение городской управы об отводе земли под ее строительство; 5) согласие лица, берущего на себя надзор за ходом строительных работ и их соответствие строительным нормам возведения публичных зданий. В общем эти требования мало ограничивали желающих построить мечеть, за исключением п. 3 о согласии местной епархии. Именно это условие помешало мусульманам Ярославля в 1910—1912 гг. начать ее строительство, но позже договоренности были достигнуты. Свое поражение в противостоянии с ревнителями мусульманской веры архиепископ Тихон воспринял болезненно. В мае 1913 года, в год 300-летнего юбилея царствования дома Романовых, когда во время поездки по Волге Николай II встречался в Ярославле с представителями проживающих здесь конфессий, он заявил, что не явится на встречу с императором, если там будут магометане. И хотя мусульмане готовились к этой встрече, они уступили настойчивым просьбам губернских чиновников не участвовать в мероприятиях, чтобы не омрачать государя скандалом, который может быть спровоцирован угрозой главы православной епархии.

В июне 1914 года двери Ярославской соборной мечети открылись для молитвы. В августе следующего года началось возведение кирпичного минарета. Наблюдение за ходом работ, закончившихся осенью, вел автор его проекта, архитектор Г. В. Саренко [7]. В 1915 году открыла свои двери мечеть в Нижнем Новгороде, начало организации которой было положено еще в 1908 году. В соответствии с российской архитектурной традицией и существовавшим единым образцом строительства мечетей проект должен был быть выдержан в том духе, в котором была построена Ярмарочная мечеть (которой пользовались преимущественно приезжие мусульмане-купцы), а именно: восьмиугольная в основе постройка, входы с лестницами с двух сторон, окна с традиционной для восточной архитектуры килевидной аркой. Здание должен был венчать минарет в центре восьмигранника, имеющий форму барабана с «луковичкой», наверху полумесяц. Губернский архитектор П. А. Домбровский, используя типичный проект, внес в него некоторые допустимые по тем временам изменения, изменив фасады чертами эклектики и элементами модерна.

Таким образом, мы видим, что позиция православного духовенства, привыкшего к монополии в делах культового строительства, пришла в столкновение как с законодательством, так и с позицией правящего дома Романовых в лице Николая II. Индустриальная эпоха вызвала к жизни многие новые черты, с которыми в условиях многоконфессионального общества и усилении роли национальной буржуазии приходилось считаться. Благодаря вложению средств в строительство культовых сооружений, в это время внешний облик селений преобразуется, приобретает многоликость и своеобразие.

Сегодня в условиях возрождения церковного строительства России многие традиции культового зодчества во многом забыты или утрачены, а многие храмы разрушены, поэтому изучение опыта храмового зодчества

эпохи капиталистической модернизации страны имеет важное просветительское значение. Хотя наметившаяся тенденция реконструкции или воссоздания культовых построек этого периода в современных условиях усложнена из-за отсутствия опытных специалистов и традиционных источников финансирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гарелин Я. П.* Город Иваново-Вознесенск, или Бывшее село Иваново и Вознесенский посад. — Иваново-Вознесенск, 1885.
 2. *Снитко А. В.* Промышленная архитектура Иванова: Архитектура промышленных предприятий города Иваново. — Иваново, 2009. — С. 121.
 3. Свод памятников архитектуры и монументального искусства России: Ивановская область. Ч. 1. — М.: Наука, 1998.
 4. *Тимофеева Т. П.* Лежит в развалинах твой храм... О судьбах церковной архитектуры Владимирского края (1918—1939). Документальные хроники. — М., 2003.
 5. *Кабанов А. Е.* Старообрядцы владимирских и костромских земель. — Иваново, 2010, — С. 91.
 6. *Волков И.* Ивановские сектанты // Литературно-иллюстрированное приложение к «Рабочему краю». — Иваново, 1928. № 1. — С. 3.
 7. *Черновская В. В.* Нижегородец Махмуд Юсупов — первый имам ярославской мечети (1878—1922). — Н. Новгород, 2008.
-
1. *Garelin Ya. P.* Gorod Ivanovo-Voznesensk, ili Byvshee selo Ivanovo i Voznesenskiy posad. — Ivanovo-Voznesensk, 1885.
 2. *Snitko A. V.* Promyshlennaya arkhitektura Ivanova: Arkhitektura promyshlennykh predpriyatiy goroda Ivanovo. — Ivanovo, 2009. — S. 121.
 3. *Svod pamyatnikov arkhitektury i monumentalnogo iskusstva Rossii: Ivanovskaya oblast.* Ch. 1. — M.: Nauka, 1998.
 4. *Timofeeva T. P.* Lezhit v razvalinakh tvoy khram... O sudbakh tserkovnoy arkhitektury Vladimirskogo kraya (1918—1939). Dokumentalnye khroniki. — M., 2003.
 5. *Kabanov A. E.* Staroobryadtsy vladimirskikh i kostromskikh zemel. — Ivanovo, 2010, — S. 91.
 6. *Volkov I.* Ivanovskiye sektanty // Literaturno-illyustrirovannoye prilozheniye k «Rabochemu krayu». — Ivanovo. 1928. № 1. — S. 3.
 7. *Chernovskaya V. V.* Nizhegorodets Makhmud Yusupov — pervyy imam yaroslavskoy mecheti (1878—1922). — N. Novgorod, 2008.

© *Посвятенко Ю. В.*, 2012

*Поступила в редакцию
в мае 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Посвятенко Ю. В. Особенности культового строительства в фабричных селениях России на рубеже XIX—XX вв. // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 249—255.

УДК 628.4.02

Ю. В. Посвятенко, А. И. Царев

ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО БЛАГОУСТРОЙСТВА ПРОВИНЦИИ В 1960-е ГОДЫ XX в.

Посвящена благоустройству города Касимова в начале 1960-х годов XX века. В основу легли протоколы сессии городского Совета депутатов и материалы к ним, отложившиеся в фондах архивного отдела администрации Касимовского муниципального района Рязанской области.

К л ю ч е в ы е с л о в а: благоустройство, озеленение, архитектурное наследие, местное самоуправление, дорожное покрытие.

The article is devoted to the improvement of Kasimov town in the beginning of 1960 s of the XX century. It is based on the records of the sessions of the town's Council of deputies and materials referred to them which were found in the funds of the record services department in the administration of Kasimov municipal rayon of Ryazan oblast.

K e y w o r d s: improvement, planting, architectural heritage, local self government, road pavement.

История развития местного самоуправления в России имеет богатую историю. Существенные изменения в ней произошли во второй половине XIX и XX веках, когда в результате буржуазных реформ 1860—1870 гг., а позже из-за революционных преобразований советской власти, в условиях активной урбанизации, характерной для индустриального общества, структура и функции местного самоуправления существенно усложнились. Важнейшим вопросом градостроительной практики становится инженерное благоустройство городов. Еще в 1832 году в Санкт-Петербурге было создано Училище гражданских инженеров, призванное готовить кадры мастеров, способных строить не только здания, но и другие объекты городской инфраструктуры. Рост населения и размеров городов в XIX веке привел к тому, что многие аспекты жизни горожан, которые ранее рассматривались как их частное дело, стали затрагивать интересы городской общины. Выпускники училища становились городскими инженерами и совместно с городскими архитекторами начинали решать многие животрепещущие проблемы. Поэтому сфера самостоятельной деятельности городских самоуправлений и регулирования частной деятельности в городах серьезно расширяется. В конце XIX — начале XX веков во многих странах в целях благоустройства растущих городов и перепланирования проблемных кварталов возникает движение за городское планирование, которое смыкается с идеей города-сада. Россия ощутила влияние этих идей на себе в полной мере в дореволюционный период. Градостроительная практика советского периода продолжала их развитие в купе с коммунистическим идеалом, к которому партия вела свой народ.

С приходом советской власти происходят существенные изменения в системе местного управления и отношениях собственности. Ситуация характеризовалась стремлением к централизованным формам и методам руководства, господству государственной собственности при отсутствии муниципальной. Так, согласно законодательству, как в довоенное, так и послевоенное время

имущество федерального и республиканского подчинения не приносило местным бюджетам доходов в виде налоговых поступлений, что сокращало доходные статьи местных бюджетов и ставило их в большую зависимость от центра. Происходило существенное изменение в отношении к инженерным кадрам. Акценты отныне были перенесены на деятельность архитекторов, которым надлежало обслуживать, прежде всего, пропагандистские заказы властных структур. Современные исследователи отмечают, что установившийся архитектурный подход к решению городских проблем сохранился поныне и не отвечает потребностям сегодняшнего дня.

В условиях индустриального развития общества городская среда особенно сильно зависела от уровня инженерного благоустройства территории. Уже в процессе проектирования генерального плана города, природной зоны, жилых районов и микрорайонов, общегородских и районных центров, учреждений культуры и бытового обслуживания населения, а также промышленных и коммунально-складских зон должны учитываться многогранные требования инженерного благоустройства: вертикальная планировка и водоотвод; устройство проезжих и пешеходных дорог; автомобильных стоянок и хозяйственных площадок; создание зеленых насаждений различного функционального назначения; сооружение малых водоемов декоративного назначения; благоустройство берегов рек и водохранилищ; строительство малых архитектурных форм; устройство искусственного освещения улиц, площадей и других территорий города; сеть подземных коммуникаций и санитарной очистки. В условиях необходимости сохранения и подчеркивания культурно-исторического наследия многочисленных провинциальных советских городов восприятие любых архитектурных сооружений во многом зависело от уровня благоустройства окружающей территории. Именно в 1960-е годы среди советского населения становится популярным активный отдых, связанный с посещением различных городов и осмотром их достопримечательностей, на уровне правительства ставится вопрос о развитии туризма как отрасли народного хозяйства.

Одним из многочисленных провинциальных, но вместе с тем уникальных городов России с богатой историей является Касимов. Он относится к тем поселениям рязанского края, которые начали складываться в период Средневековья и во многом сохранили особенности своей организации. Формирование городской застройки здесь происходило в течение почти девяти веков, что повлияло на планировочную структуру и разнообразие памятников архитектуры федерального, регионального и местного значения. Сегодня, в условиях формирования новых принципов муниципальной политики, благоустройство города является одной из первых задач создания его гармоничной архитектурно-пространственной композиции. Решением этой проблемы в 1960-е годы XX века были заняты представители местных советов.

Осознавая серьезные проблемы, существовавшие в Касимове, для развития благоустройства города в 1961 г. была образована постоянная комиссия из 9 человек [1, 4—7], основывающая свои мероприятия на генеральном плане развития города. В рассматриваемый период аналогичные меры предпринимались в большинстве советских городов, что вылилось в соревнования за их благоустройство, однако четко выявлялись типичные проблемы, эффективные решения которых не найдены в некоторых сферах до сих пор.

Одной из первых задач в деле благоустройства касимовская комиссия ставила озеленение. Ее участники справедливо полагали, что оно влияет на внешний облик города, определяет санитарно-гигиенические условия проживания в нем. Поэтому невысокие показатели окружающей среды стремились значительно улучшить за счет формирования оптимальной непрерывной дифференцированной системы зеленых насаждений, берущих начало в пригородных лесах и проникающих вглубь застройки. «Через разрывы в застройке — зеленые клинья — горожане могут попасть из своих жилых районов в места отдыха на лоно природы, говорили выступающие».

Практика озеленения городов была постоянной в СССР, однако о ее эффективности говорят следующие факты. Еще в 1960 г. в Касимове было посажено более 8 тыс. штук декоративных деревьев и 500 тыс. цветов [1], в 1961 г. — 8720 деревьев, а в 1962 году было намечено посадить еще 2700 деревьев для полного озеленения города. Однако, выступавшие члены комиссии отмечали, что к сохранности молодых деревьев горожане относятся варварски, только за одну зиму 1961—1962 гг. сломано около 800 [5]. Для охраны зеленых насаждений депутатами были предложены несколько вариантов. Один из них заключался в следующем: посаженные деревья надлежало закрепить за хозяином дома, напротив которого они посажены, чтобы поломка деревьев не проходила безнаказанно [1]; другой — предлагал следить за сохранностью зеленых насаждений депутатам по своим участкам [1]. Несмотря на это, в условиях сложившейся системы советского местного самоуправления, подобные новации не имели шансов быть исполненными, т. к. не имели под собой реальных стимулов ни для исполнителей, ни для контролеров. Кроме того, за посаженными молодыми деревьями не было должного ухода со стороны городского коммунального отдела, в том числе достаточного полива.

Кроме проблем сохранности высаженных растений, существовали более серьезные затруднения — не хватало рабочих рук и материалов для производства работ по озеленению и уборке. Депутаты отмечали, что большую работу проделывали по санитарной очистке города касимовские ветераны труда, которые своими силами рассадили сквер, но для высадки цветов не хватало земли под клумбы [1]. Было решено привлечь к благоустройству граждан, имеющих индивидуальные жилые дома, путем огораживания палисадников (шириной 2 м и длиной в размер дома). Так, были озеленены улицы Красного милиционера [3] и Спортивная [4]. Приобщение к такому виду работ представителей общественности, пионеров, комсомольцев, профсоюзов и организацию коммунистических субботников были традиционными для советского периода, способствуя ежегодному приведению улиц городов и сел в порядок после зимнего сезона. Однако вслед за апрельскими субботниками поддержание порядка требовало постоянства, которое не обеспечивалось в том числе и из-за недостаточно качественной работы коммунальщиков и невысокой культуры общежития.

Отношение к социалистической собственности среди некоторых горожан было весьма небрежным, поэтому на очередном заседании комиссии отмечалось, что установленные в прошлом году изгороди по Ямской улице за год наполовину оказались поломанными. Причиной такого положения было выявленное депутатами отсутствие контроля за данным видом сооружения со стороны хозяев [1].

Разрушению были подвержены не только новоустановленные объекты градостроительства, но и архитектурное наследие. Торговые ряды — важный архитектурный памятник Касимова, тоже пришли к тому времени в ветхое состояние. Комиссией было принято решение с 1961 г. «по настоящему заняться восстановлением памятников архитектуры» [1]. Одним из рассматриваемых ей объектов стал дом № 14 на Советской площади: предлагалось либо привести его в порядок, либо снести, т. к. своим ветхим видом он портил общий вид площади [5]. Впоследствии он был сохранен, а решением Рязоблисполкома от 12.05.68 г. № 199 даже отнесен к объектам культурного наследия регионального значения. После революции дом перешел в собственность города и до настоящего времени объект используется как жилой многоквартирный дом. Таким образом, многие объекты архитектурной истории города в 1960 годы были в разной степени сохранены и приспособлены для нужд горожан.

Расположение Касимова вдоль Оки делало вопрос о благоустройстве набережной одним из актуальных на заседаниях комиссии. Выступавшие отмечали, что от дома Гинц Рязанский спуск ведет к реке Оке, на берегу которой расположено множество памятников архитектуры: обелиск Петровской заставы (ампирные колонны), дома Барковых, Вереина, Шемякина, Кастрова, Умного и др. Набережная — одна из лучших улиц города. Это улица особняков, протянувшаяся на 3 км вдоль крутого берега. Все ее здания стоят в одну линию фасадами к реке к полуденному солнцу в сторону заречных лугов и рощ правого отлогого берега. Полвека назад работы по благоустройству и наведению санитарного порядка на Набережной проводились бессистемно, без учета потребностей и потенциальных возможностей в украшении городского ансамбля. Депутаты отмечали, что в результате этого улица содержится в труднопроезжем состоянии [3]. Возмущаясь этим, в 1969 г. первый секретарь ГК КПСС говорил: «Набережную благоустраиваем третий год, качество работ плохое, грязь, вида нет. Это самый видный объект в городе...» [1]. Из сказанного становится понятно, что реальной проработки цельного инженерного проекта благоустройства Набережной или не существовало или он был недоработан.

Аналогичную ситуацию встречаем мы и при обсуждении других объектов. Депутат Молчанов, член исполнительного комитета, управляющий рекстройтрестом в прениях 18 марта 1961 года о проблемах развития городского хозяйства и благоустройства отмечал, что в старом посаде (окраине города) в начале 1960 годов еще не было уличного освещения [5] и телефона [1]. По вопросу устройства инженерных сетей он сказал: «Товарищи! Если в развитие городского хозяйства мы будем решать отдельные мелкие вопросы, такие как посадка деревьев, цветов, то это будет вопрос не о развитии городского хозяйства. Для развития Касимова созданы все необходимые условия. У многих товарищей нет настроения заниматься благоустройством города. По строительству канализации в плане необходимо 10 тыс. руб., но нет технической документации, и мы не можем приступить к этому строительству. На реконструкцию электросети намечено израсходовать в первом квартале 10 тыс. руб., а мы не имеем понятия, что будем там реконструировать. Ни финансирования, ни проекта мы не имеем» [1]. Проследить расходование выделенных средств в указанном году нам, к сожалению, не удалось. Но данное выступление продемонстрировало важнейшую проблему организации в сфере благоустройства, раскрывавшуюся через систему номенклатурных должностей, включавшую в себя

главного архитектора города при отсутствии городского инженера. Интересно отметить, что в условиях дореволюционной России роль главного градоустроителя отводилась главному инженеру, обладавшему руководящими полномочиями для комплексного решения архитектурно-проектировочных проблем. Это позволяло развивать селения на основе инженерного подхода к комплексному решению многих проблем, однако до сегодняшнего дня в вопросах благоустройства российских городов сохраняется советская система организации функционального распределения кадров.

В середине XX века касимовские власти решали глобальные задачи по замене дорожного покрытия, выразившиеся в переходе от брусчатки к асфальтированным улицам. Это привело к заметным для специалистов изменениям гидрогеологического состава грунтов, недостатку воды и кислорода для зеленых насаждений из-за сплошного твердого покрытия. Еще в конце 1950 годов была заасфальтирована центральная улица Советская и Соборная площадь. Брусчатка была вывезена, а некоторая ее часть так и осталась под новым покрытием. В начале 1960 годов решением комиссии планировали заасфальтировать Ямскую, Набережную, Кооперативную улицы [1]. Но новое покрытие не решило всех задач благоустройства улиц города. На Ямской в конце 1960 гг. так и оставались проблемные места, из-за которых приходилось класть дополнительные трапы, через мост «Бабенка» нельзя было осуществлять безопасную переправу [5]. Первый секретарь ГК КПСС отмечал, что в прошлом году производили асфальтирование улиц, а в текущем году нельзя по ним пройти [5]. Основные причины некачественной работы были выявлены на заседаниях второй сессии Касимовского городского Совета депутатов трудящихся. Одной из причин названо «небрежное отношение к покрытию»: из-за сжатых сроков асфальтирование производилось до уточнения застройки улиц, приводящее к продавливанию нового покрытия тяжелой строительной техникой [6]. Депутаты отмечали, что после ремонта инженерных коммуникаций дорога с твердым покрытием превращается в грунтовую дорогу вовсе без него. Такое состояние на участках дороги продолжается до момента капитального ремонта всего полотна дороги. Такой момент может наступить через несколько десятилетий или вовсе не наступить. К сожалению, данная инженерная проблема в городе существует и в настоящее время.

Еще одну причину несоответствия качества дорог техническим требованиям отмечали выступавшие — это отсутствие каменного материала [6]. «Асфальт разрушается, а в Касимове кругом камень и песок, имеется свой карьер известняковой щебенки... Строительство дорог без каменного материала — это только трата государственных средств... Из-за плохого качества многие работы переделываются, сроки затягиваются», — говорил один из участников заседания [5]. Депутат 22 округа приводил еще один пример бесхозяйственного использования государственных средств. «На берегу лежит кирпич, его затопит, а вывезти не могут, а документы на списание уже заготовили» [6]. В зимнее время благоустройство улиц безрезультатное. Недостаточная посыпка дорог приводит к авариям» [1]. Из представленных материалов становится понятно, что в городе были и остаются до сих пор многочисленные организационные вопросы, изменить к лучшему которые возможно только при многоплановых изменениях всех сфер общественной жизни, включая сферы правового регулирования прав собственности и местной власти, а также изменение отношения горожан к проблемам своего города [7].

Данные выводы можно проиллюстрировать и другими материалами фондов. На заседаниях отмечалось, что улицы города представляли собой не только труднопроезжую часть, но и трудно проходимую. Рязанский спуск, соединяющий напрямую центр города с Набережной, завален шлаком [6]. Со многих других улиц строительные материалы и мусор после строек и ремонта не увозится [1], а растаскивались населением. Это приводило к большой потере строительных материалов [6]. Начальник строительного управления объяснял эту ситуацию тем, что автотранспортная контора вывозит груз очень плохо [5].

Выступающие неоднократно говорили, что руководители предприятий должны относиться к благоустройству «как к кровному делу» [5]. Большую роль предлагалось уделять массово-разъяснительной работе среди избирателей по средствам печати и радио, поддерживая с ними постоянную связь и стремиться мобилизовать их на ту работу, которую можно сделать силами горожан. Важную роль, отмечали депутаты, должны сыграть уличные комитеты [1]. Также были предложения, чтобы каждый шофер отработал на благоустройстве бесплатно по 10 дней на сэкономленном горючем [1]. Для более качественной работы по благоустройству было принято решение широко привлечь Совет пенсионеров, женсовет, домовые и уличные комитеты, дома культуры и другие общественные организации. Исполком городского Совета был обязан взять на учет всех трудоспособных горожан города, длительное время не занимающихся общественно-полезным трудом и провести среди них работу по разъяснению Указов Президиума Верховного Совета СССР и РСФСР от 19.04, 4.05 и 5.05 1961 г. В них говорилось о создании материально-технической базы коммунизма и воспитании советского человека-строителя коммунизма, недопущении тунеядства и необходимости применения к лицам, уклоняющимся от труда общественно-полезных работ, и более серьезных санкций. Это объявлялось важнейшей задачей местных Советов и всех общественных организаций. Для ее успешного выполнения необходимо, чтобы труд стал первой жизненной необходимостью всех советских граждан. На основании решения Касимовского городского Совета депутатов трудящихся от 18 июня 1961 г. лиц, уклоняющихся от общественно-полезного труда, было решено выселять из города [1]. Таким образом, опираясь на пропаганду коммунистического образа жизни, воспитательные, общественно-полезные мероприятия, направленные, в том числе, и на репрессивные меры, в 1960 годы пытались решать важнейшие вопросы.

Рассмотрев некоторые проблемы благоустроительной деятельности на примере одного из провинциальных городов России можно сделать некоторые выводы. Организация деятельности по созданию комфортных условий жизни в условиях активной урбанизации зависит в каждый рассматриваемый период от правовых оснований и характера взаимоотношений местных и федеральных властей. В СССР основанная на централизованной вертикали власти система местного управления как в 1960 гг., так и в современной России, не могла эффективно видоизменять инженерное благоустройство городского пространства, не имея активных субъектов городской жизни и специалистов, опирающихся на инженерный расчет. Выявленные материалы показывают, что потребность в воссоздании должности городского инженера, которая должна стать источником подготовки планировочных решений, давно назрела. Отсутствие

правовых условий и механизмов, позволявших населению осознать общность своих интересов и стать сознательными соучастниками благоустроительной деятельности, по нашему мнению, были вызваны излишней централизацией и ложными ожиданиями возможности создания материально-технической базы коммунизма, формирования советского человека-строителя коммунизма на воспитании уважительного отношения к государственной собственности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архивный отдел администрации Касимовского муниципального района Рязанской области. Ф. 2, Д. 456.
2. Там же, Д. 459.
3. Там же, Д. 460.
4. Там же, Д. 462.
5. Там же, Д. 468.
6. Там же, Д. 478.
7. *Говоренкова Т. М.* Читаем Велихова вместе. — М., 1999.
1. Arkhivnyi otдел administratsii Kasimovskogo munitsipalnogo raiona Ryazanskoi oblasti. F.2, D.456.
2. Tam zhe, D. 459.
3. Tam zhe, D. 460.
4. Tam zhe, D. 462.
5. Tam zhe, D. 468.
6. Tam zhe, D. 478.
7. Govorenkova T. M. Chitaem Velikhova vmeste. — М., 1999.

© *Посвятенко Ю. В., Царев А. И., 2012*

*Поступила в редакцию
в мае 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Посвятенко Ю. В., Царев А. И. Проблемы инженерного благоустройства провинции в 1960-е годы XX в. // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 256—262.

УДК 727.3+72.03

Т. В. Куреева

УНИВЕРСИТЕТСКИЙ КАМПУС — ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО РАЗВИТИЯ (X—XIX вв.)

Дается исторический анализ предпосылок возникновения и развития западного высшего образования — университета, колледжа, и его градостроительной и пространственной организации — кампуса. Отслеживается роль природного окружения и ландшафта в формировании планировочной структуры кампуса.

К л ю ч е в ы е с л о в а: университет, колледж, кампус, архитектура, планировочная структура, градостроительный план, общественные пространства, природный ландшафт.

The article centres around the historical analysis of the reasons for the creation and development of western high educational establishment — university and college, and its city-planning and space structure — campus. The role of nature surroundings and landscape in creation of planning structure of campus is traced.

K e y w o r d s: university, college, campus, architecture, planning structure, city development plan, civil areas, nature landscape.

Одна из широко применяемых на западе форм организации учебных заведений, обладающая глубокой традицией и высокой степенью жизнеустойчивости — кампус. Последнее время и у нас, в России, при создании новых учреждений высшего образования, таких как Евразийский и Дальневосточный университеты, а также дополнительного образования в формате школ бизнеса — Михайловская Дача, Сколково — проектировщики все чаще обращаются к положительному опыту запада, соединяя современную градостроительную, архитектурно-планировочную систему с ландшафтом и загородным расположением.

Сегодня определение кампуса это более широкое понятие, чем было в начале его возникновения. «Кампус» (англ. Campus) — университетский городок, включающий, как правило, учебные помещения, научно-исследовательские институты, жилые помещения для студентов, библиотеки, аудитории, где архитектурно-пространственные решения взаимодействуют с ландшафтом [1]. Соединение этих творческих направлений создает положительный функциональный и визуальный эффект.

Наша страна имеет свой опыт строительства университетских городков (МГУ г. Москва; ННГУ г. Горький и пр.). Располагаясь изначально на окраине города, имея значительную озелененную территорию, они, постепенно вращаясь в городскую ткань, лишились перспективы развития, а недостаточная развитость инфраструктуры, мешает им стать полноценными студенческими городками со своей культурой и традицией.

Обращение сегодня к устойчивой архитектуре влияет на типологию всех зданий и комплексов, не только затрагивая, а коренным образом изменяя проектирование современных образовательных комплексов по средствам экологического строительства и широкого использования преимуществ загородного размещения и обустройства ландшафта кампусов, что отражает актуальность данной тематики.

Однако в отечественной проектной науке практически отсутствуют теоретические исследования создания и развития кампусов, что обуславливает новизну обращения к этой теме. Целью написания данной статьи является попытка исследования возникновения и развития градостроительных, композиционных, функционально-планировочных особенностей создания университетских поселений от их возникновения до появления и становления американских кампусов в середине XIX века.

Образование зародилось в странах Древнего Востока более тысячи лет до нашей эры для сохранения и развития накопленных знаний и практических навыков. Одним из основателей высшего образования является Платон, создавший в IV—III вв. до н. э. Академию в Афинах, где была заложена философско-теоретическая основа высшей школы: целью изучения наук было не прикладное применение знаний, а глубокое размышление и поиск истины [2]. Академия располагалась на территории священной оливковой рощи за стенами Афин, а сама атмосфера уединения настраивала на неспешные прогулки и общение с учениками. Этот этап развития высшего образования, очевидно, можно назвать «академическим», поскольку это было элитарное образование для избранных, пространственно оформленное строительством святилища Муз (*mousetion*) для собраний Академии.

Дальнейшее развитие высшего образования определяют две противоположные тенденции: одна из них — поиск истины, другая — стремление получить прагматическую профессиональную подготовку.

В Европе высшая школа возникла около X века в результате развития наук и ввиду потребности в грамотных ученых специалистах для нужд государства и церкви. Первые университеты выросли из монастырских либо городских муниципальных школ.

В средние века монастыри являлись центрами развития духовности, науки и ремесел, хозяйственной деятельности. Школы при монастырях служили для подготовки духовенства и духовного наставничества мирян [3].

Монастыри, располагаясь преимущественно за городской чертой, представляли собой обособленные поселения с натуральным хозяйством, развитым ремесленным промыслом, зачастую выполняя медицинскую и образовательную функции. Тихое, уединенное место, река или озеро (как источник воды), были необходимым условием планировочной структуры монастыря, куда входили: собор, кельи, трапезная, хозяйственные постройки (амбары, риги, кузницы) и площадь перед собором. Коллективный быт и ярко выраженная хозяйственная деятельность монастырей в период их расцвета, способствовала тому, что формы монастырской архитектуры стали исходными для многих типов зданий, так появились: трапезные, залы капитула, кельи, дорминарии [4]. Монастырская культура заложила основы архитектурной типологической единицы будущих общежитий — небольшого помещения для сна и отдыха — кельи (общепринятое название до сих пор). Коллективный быт породил культуру общего приема пищи и помещения — приспособленного для этого — трапезной, эта традиция сохранилась в культуре английских колледжей по сей день.

Монастырская культура заложила основы дальнейшего формирования градостроительной, композиционной и типологической структуры университетского поселения, это можно определить как начальный «монастырский» этап становления.

В начале XI века развитие торговли и мануфактуры, рост и укрепление городских коммун привело к появлению городских муниципальных школ, направленных преимущественно на изучение права, а затем и университетов (Болонья — 1088 г.; Париж — 1200 г.), [3]. Организация средневековых университетов переняла основные черты цеховых организаций, а внутренняя организация тяготела к монастырскому образу жизни (*college-system*), что способствовало закрытости и консервативности университета и отразилось на градостроительной схеме в виде замкнутой планировочной схемы с внутренним двором и автономностью размещения, что продиктовано, прежде всего, безопасностью и практической целесообразностью. И только исходя из этого можно говорить об изолированности от светских соблазнов, и сосредоточенности на изучении, исследовании, чтении и возникающей потребности в уединении.

Светские университеты чаще всего располагались в центре городов, что подчеркивало их социальную значимость, и представляли собой одно или несколько обособленных зданий.

Университеты были не единственной формой высшего образования. Существовали и развивались также частные городские школы (вплоть до начала XIX века), колледжи при университетах и монастырях. Однако, благодаря унификации и универсальности, первые университеты становятся ключевыми системообразующими структурами средневековой науки.

Первые университетские колледжи появились в Париже в XI — XII веках и ведут свою историю от монастырей нищенствующих орденов. В то время не было единого пространства обучения: инфраструктура, в сегодняшнем понимании еще не была развита, не было аудиторий для занятий, они проводились в различных помещениях или на дому у преподавателя, не было и места для проживания школяров. Только в 1180—1186 гг. для малоимущих студентов были организованы коллегии — первая форма студенческих общежитий и к 1300 г. в Париже было уже 19 колледжей [3]. Этот этап можно определить как этап возникновения университета с моноструктурой.

Следующий период развития университета можно связать с развитием и становлением Английского колледжа, где была сформирована устойчивая культурная и градостроительная традиция, определившая дальнейшее развитие университетских поселений. Университеты, расширяясь и вводя новые направления обучения, превращались в полифункциональные системы на основе объединения нескольких колледжей.

Английские Кембридж и Оксфорд состояли из многочисленных колледжей и развивались по монастырской замкнутой планировочной схеме, где вся инфраструктура формировалась вокруг замкнутого двора — клуатера — основы композиции английских колледжей, выполняющего функцию общественного пространства. С композиционной точки зрения важна была фронтальная композиция фасадов с выраженной доминантой-часовней.

Значительным направлением в развитии планировочной схемы и инфраструктуры университетского колледжа стало основание в 1379 г. Нового колледжа в Оксфорде (Вильям Викегама) с акцентом на обучение и обеспечение жильем младших студентов. Здание представляло собой замкнутый четырехугольник, содержащий все основные помещения: часовню, зал, используемый как столовая, помещение для проведения лекций и прочих собраний,

комнаты-кельи для учеников и преподавателей, апартаменты главы колледжа. Усиление дисциплины и контроля привело к принятию в Оксфорде в 1410 году эдикта, обязывающего всех студентов селиться либо в холлах, либо в самом колледже. В течение двух следующих веков были основаны около восемнадцати колледжей в Оксфорде и Кембридже, повторяющих градостроительную и планировочную схему Нового колледжа [5].

Следующим перспективным шагом стало раскрытие замкнутого четырехугольного плана в Кембридже (1557 г., автор доктор Джон Кайус). При реконструкции старого колледжа к нему было пристроено новое здание не замкнутое с одной стороны, что способствовало оздоровлению микроклимата и соответствовало возникшей моде на французские дворцы [7]. Кроме того, открытый двор создавал другое впечатление, композиция усложнялась, появлялась глубина пространства, возможность использования видовых точек и осевой организации.

В это же время активно начинает развиваться архитектура самого здания, прежде всего готического стиля, для которого были характерны торжественность, строгость, богатство пластики. Со второй половины XVII века архитектура Оксфорда и Кембриджа претерпела преобразование: на смену готике пришла классика. Появляются новые здания, построенные Кристофером Реном: часовня, библиотека колледжа Тринити в Кембридже.

Таким образом, на европейском континенте к концу XVII века сложилась устойчивая система градостроительной и планировочной схемы загородного университетского колледжа, морфологически закрепленная в виде четырехугольника, разной степени открытости.

Следующий этап развития университета и возникновения кампуса связан с Америкой и может быть обозначен как «американский этап». Основы образовательной структуры и культуры были заимствованы переселенцами у английского колледжа, но они отошли от традиционного размещения колледжей в тесной группе, формирующей университет, более того, в Америке колледжи впервые были размещены, преимущественно, вне крупных городов, или на ранее не освоенных участках.

Примером нового градостроительного подхода является строительство в 1636 г. колледжа Гарвард в Ньютауне. В основе идеи строительства лежит общественное и религиозное единство колонистов, что, в сущности, отвечает культурологическим основам монастырской культуры и английского колледжа. К 1655 году Гарвард состоял из четырех отдельных зданий: старого колледжа, индейского колледжа, гофф-колледжа и президентского дома, отличающийся от традиционных английских колледжей. Начиная с Гарварда, американские школы отдавали предпочтение пространственной схеме с отдельными зданиями.

Существовало несколько факторов, повлиявших на возникновение подобной пространственной организации.

1. Градостроительный — соразмерность окружения и колледжей — необъятный американский ландшафт требовал соответствующего размаха в градостроительном планировании.

2. Пожарная безопасность — строительство из дерева диктовало значительные расстояния между постройками.

3. Религиозный — идея замкнутого двора связана с монастырской традицией, а пуритане проповедовали новые, по тем временам, религиозные взгляды пресвитерианства.

4. Социальный — открытая структура колледжа олицетворяла предназначение колледжа служить обществу и быть его частью [6].

Таким образом, была предложена новая градостроительная система, основанная на взаимодействии отдельно стоящих зданий, которая давала свободу глубинно-пространственной композиции, планировке, морфологии плана, возможность развития пространственного образа, активно включала ландшафт и озеленение в общую систему.

В строительстве колледжа Вильяма и Мэри Вирджинии (1720 г.) глубинно-пространственная композиция обогащается симметричным расположением зданий по обе стороны от центральной композиционной оси основного корпуса, находящегося на замыкании главной улицы. Получившаяся барочная осевая структура была беспрецедентной для планирования колледжей и напоминала классические виллы Палладио.

Далее развитие пространственного открытого градостроительного плана было связано с включением в планировочное решение ландшафта, что было сделано в 1717 г. при строительстве Йельского колледжа в Нью Хэвене, фасад которого примыкал к обширному городскому скверу с церковью.

Выход к общественной публичной городской территории через ландшафт сквера окончательно закрепил колледж Нью Джерси в Принстоне (1746 г.). Эта площадь впервые (1770 г.) была названа «кампус», до этого в качестве названия территории колледжа использовалось слово «двор» или просто «земли» [6]. К 1820 году термин был позаимствован и другими школами. Многие американские колледжи в последствии проектировались по примеру Принстона: с просторной зеленой лужайкой у главного здания.

Изначальное определение данной градостроительной системы «кампус» (*Campus*) имеет латинское происхождение и обозначало «поле», «открытое пространство» [1], что наилучшим образом отражает уникальные физические характеристики американского университета. В большинстве колледжей оно стало обозначать всю собственность, включая здания, а также термин имеет значение американского колледжа, как целостной самостоятельной структуры, отражающей образовательные и социальные ценности.

Дальнейшее развитие планировочной и ландшафтной организации кампуса связано с именем Томаса Джефферсона (1743—1826 гг.), автора идеи прогрессивной программы реформирования образования и «академической деревни», суть которой сводится не только к загородному, обособленному положению кампуса, но и к созданию новой академической культуры интеллектуальной свободы через новое планирование и архитектуру. Он предлагал строить отдельные дома для профессоров с комнатами для проживания студентов — для близкого общения и усиления академической общности [8]. Кампус Вирджинии стал примером ансамблевого решения пространства.

В дальнейшем при строительстве кампусов особую роль играют ландшафты: зеленые аллеи закрепляют главную композиционную ось (университет в Северной Каролине 1793 г.) [9] или озелененная территория занимает значительную часть и влияет на композиционное и архитектурно-планировочное решение здания (Юнион колледж в Шенектади 1813 г.).

Существенный вклад в дальнейшее градостроительное развитие кампусов внес Фредерик Ло Олмстед — родоначальник американской ландшафтной архитектуры. Он определил загородное расположение кампуса как предпочтительное, при этом планировочная структура была не регулярной, а ландшафтной и четко следовала изменениям естественного рельефа. Одним из его инновационных предложений стали общежития для студентов в виде системы коттеджей «домашнего» типа с общей гостиной, столовой и отдельными комнатами для студентов [10].

Так, к концу XIX века были определены основные градостроительные, планировочные, композиционные приемы создания кампусов как обособленной территории загородного расположения со свободной системой планировки, использования ландшафта и озеленения.

Таким образом, в результате исследования истории возникновения и динамики развития университетских кампусов можно сделать следующие выводы.

1. Проведенный исторический анализ возникновения и развития университетского кампуса имеет актуальное значение для разработки новой теории проектирования кампусов что для нашей отечественной архитектурной и градостроительной науки является новым направлением.

2. Градостроительное развитие прошло путь от начального «монастырского» этапа (конец VIII в.) формирования обособленного, замкнутого пространства монастыря с периметральной застройкой и центрической композиционной схемой.

3. В XI—XII веках происходит возникновение университетов, как монотипологической единицы цехового братства и формирование самостоятельного здания в структуре города или, следуя монастырской традиции, автономного размещения замкнутой планировочной схемы с внутренним двором.

4. Этап «английского» становления университета XIV—XVII вв. направлен на дальнейшее развитие университета как полифункциональной типологической системы за счет присоединения колледжей, что влияет на раскрытие замкнутого контура застройки, возникновение глубинно-пространственной композиции, выявление осей и архитектурных доминант.

5. Американский этап становления и градостроительного развития колледжей (начало XVII — середина XIX вв.) идет по пути освоения свободной загородной территории при рассредоточенном расположении зданий и учете ландшафтных особенностей конкретного места. Далее происходит усложнение открытой градостроительной структуры. Градостроительный тип «сквер-здание» получает определение «кампус» (1770 г.) за счет включения ландшафта и озеленения, развития глубинно-пространственной композиции.

6. Во второй половине XIX в. происходит окончательное становление университетского кампуса загородного типа на основе ландшафтной композиции с использованием озеленения и развития инфраструктуры.

Таким образом, были заложены основы университетского кампуса как специфической обособленной территории со своей культурой и традицией, с единой архитектурно-ландшафтной средой и инфраструктурой, которая актуальна в настоящее время. Строительство современных кампусов идет по пути симбиоза традиции и новаторства, что находит отражение в его планировочной структуре, в применении экологических принципов проектирования и планирования, обращении к природному ландшафту.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кампус — Википедия [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CA>.
2. Мочалова И. Н. Философия ранней Академии. — СПб., 2007. — 144 с.
3. Захаров И. В., Ляхович Е. С. Миссия университета в европейской культуре. — М. : Новое тысячелетие, 1994. — С. 18.
4. Всеобщая история архитектуры: в 12 т. Т. 4; под. ред. А. А. Губера. — Ленинград — Москва : Изд. литературы по строительству, 1966. — 695 с.: илл.
5. Roberts S. C. British Universities. — London, 1947. — 251 p.
6. Turner P. V. Campus. An American Planning Tradition. New York, Architectural History Foundation, 1984. — 347 p.
7. Willies R, Clark J. W. Architectural History of Cambridge. Vol. 1. — Cambridge, University Press, 1886. — 194 p.
8. Jefferson T., Franklin W. The Selected Writings of Thomas Jefferson: Letter of May 6, 1810, to Hugh L. — New York: W. W. Norton & Company, 2009. — 576 p.
9. Henderson A. The Campus of the First State University. — N.C., 1949, — 247 p.
10. Roper L. W. FLO: A Biography of Frederick Lo Olmsted. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1973. — 327 p.

1. Kampus — Vikipediya [Elektronnyy resurs]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CA>.
2. Mochalova I. N. Filosofiya ranney Akademii. — SPb., 2007. — 144 s.
3. Zakharov I. V., Lyakhovich E. S. Missiya universiteta v evropeyskoy kulture. — M. : Novoe tysyacheletiyе, 1994. — S. 18.
4. Vseobshchaya istoriya arkhitektury: v 12 t. T. 4; pod. red. A. A. Gubera. — Leningrad — Moskva: Izd. literatury po stroitelstvu, 1966. — 695 s.: ill.
5. Roberts S. C. British Universities. — London, 1947. — 251 p.
6. Turner P. V. Campus. An American Planning Tradition. New York, Architectural History Foundation, 1984. — 347 p.
7. Willies R, Clark J. W. Architectural History of Cambridge. Vol. 1. — Cambridge, University Press, 1886. — 194 p.
8. Jefferson T., Franklin W. The Selected Writings of Thomas Jefferson: Letter of May 6, 1810, to Hugh L. — New York: W. W. Norton & Company, 2009. — 576 p.
9. Henderson A. The Campus of the First State University. — N.C., 1949, — 247 p.
10. Roper L. W. FLO: A Biography of Frederick Lo Olmsted. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1973. — 327 p.

© Киреева Т. В., 2012

Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Киреева Т. В. Университетский кампус — история возникновения и градостроительного развития (X—XIX вв.) // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 263—269.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 72:03 (470.620)

О. С. Субботин

ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ПЕРВЫХ ПОСЕЛЕНИЙ ЮГА РОССИИ

Рассмотрена история отечественного градостроительства на землях юга России. Проведен сравнительный анализ возникновения и становления исследуемых городов и территорий в контексте историко-архитектурного процесса. Выявлены региональные особенности этого развития в обозначенный период. Значительное внимание уделено памятникам архитектурного наследия.

Ключевые слова: градостроительство, планировка, крепость, укрепление, архитектурное наследие, жилище, город.

The history of domestic town planning on the lands in the south of Russia is considered. The comparative analysis of emergence and formation of the studied cities and territories in the context of historical and architectural process is carried out. Regional features of this development in a specified period are revealed. The considerable attention is paid to the monuments of architectural heritage.

Key words: town planning, planning, strengthening, fortress, architectural heritage, lodging, city.

Градостроительные традиции и градостроительное наследие городов и регионов России и других стран охватывают сложный комплекс общественно-экономических, строительно-технических, архитектурно-художественных и санитарно-гигиенических проблем. Заметные упорядочения городов и поселений относятся к середине III — началу II тыс. до н. э. В Древнем Египте и Двуречье применялась разбивка города на геометрически правильные кварталы, а в Древней Греции и Риме приемы регулярной планировки сложились в стройную систему.

История отечественного градостроительства условно начинается с села Костенки, расположенного в Хохольском районе Воронежской области, являющегося административным центром Костенского сельского поселения (рис. 1—2).

В 1937 г. археологами П. П. Ефименко и А. Н. Рогачевым были раскопаны интереснейшие стоянки с просторными удлиненной формы жилищами. Размер самого большого достигал $33,5 \times 5,5$ м. Жилище было заглублено на 40 см и располагалось своей длиной осью вдоль склона, это снижало опасность его затопления весенними талыми водами. Большое количество очагов размещалось по продольной оси сооружения, что говорит о наличии двухскатной крыши, самым высоким местом которой является средняя линия. Такое жилище, скорее всего, разделялось по количеству проживающих в нем семей, чему соответствует количество очагов [2], (рис. 3).



Рис. 1. Общий вид с. Костенки с южного борта Покровского лога [1]

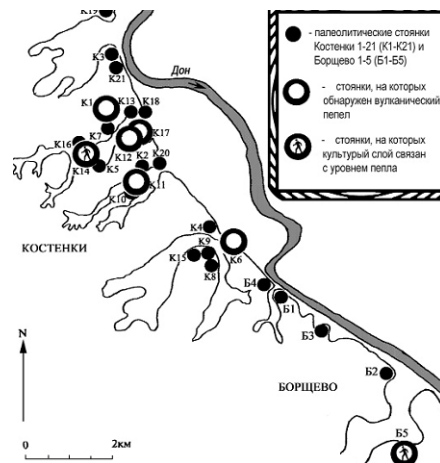


Рис. 2. Карта палеолитических местонахождений у с. Костенки и Борщево (составлена С. Н. Лисицыным), [1]

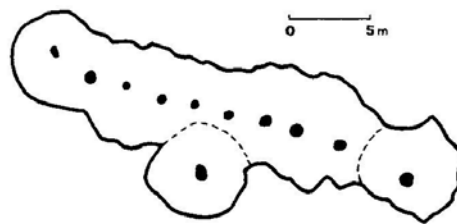


Рис. 3. Планировка длинного многоочажного жилища, в центре протянулся ряд очагов. Костенки IV

В этой связи, следует отметить научные исследования В. С. Серова в многотомном труде «История Европы». В главе 1 «Палеолит и мезолит» первого тома «Каменный век» он отмечает: «Система поселений верхнего палеолита Европы варьировалась в зависимости от времени года, распределения

ресурсов, их характера и сезонности. Основным типом поселения был базовый лагерь, в котором собирались все члены родовой общины и который был обитаем в то время года, когда вокруг него встречались стада оленей, лошадей, бовидов. Базовый лагерь обычно состоял из 10—12 легкопостроенных жилищ каркасного типа, покрытых шкурами животных. Временные стоянки, появившиеся как результат сезонного расчленения базового лагеря, состояли из двух-трех жилищ, в которых жило несколько семей...».

Верхнепалеолитические жилища, в основном, наземные или слегка углубленные в почву. Систематизация данных о верхнепалеолитических жилищах показала, что жилища в полном смысле слова, не ограды, а жилые постройки, полностью перекрытые, были очень небольшими, диаметром в среднем 2—6 м, редко — 9 м, иначе говоря, они занимали площадь от 12 до 20 м², хотя известны и меньших размеров, и больших.

Длинные многоочажные дома встречаются гораздо реже, чем малые хижины. Но и эти длинные дома, в сущности, представляли собой слившиеся круглые или овальные хижины и шалаши. Для таких домов характерна цепочка очагов, расположенных обычно по центральной оси. Каждый очаг — центр обитания одной парной или малой семьи. Такие дома говорят об укрупнении коллективов в какой-либо определенный сезон, может быть самый обеспеченный и богатый пищей, когда община собиралась вместе и существовала некоторое время как единое целое. Но и тогда община пользовалась не одним-двумя очагами, а семью-восемью (Костенки I), девятью (Костенки IV)».

Палинологический анализ древнейших отложений Костенок-12, проведенный Галиной Левковской, показал, что ниже вулканического пепла фиксируется многократная смена сравнительно теплых и более холодных периодов и соответствующие изменения ландшафтов. Самый теплый из них связан с древнейшей погребенной почвой стоянки Костенки-12, тоже содержащей остатки человеческой деятельности (культурный слой V). Когда эта почва формировалась, на берегах Среднего Дона произрастали широколиственные вязовые леса и водились благородные олени. Столь теплый период не может датироваться моложе 45—50 тысяч лет назад. Все это подтверждается серией радиометрических дат, полученных профессором Стивеном Форманом (Чикаго, США) по разработанной им методике. Они не противоречат и данным радиоуглеродного анализа, особенно если учитывать, что на этом отрезке времени происходят частые «сбои» радиоуглеродного метода в сторону омоложения дат.

Таким образом, совершенно неожиданно для ученых как наших, так и зарубежных — древнейший верхний палеолит Европы, датируемый в диапазоне 45—50 тысяч лет, оказался найден совсем не там, где его ожидали. Предполагавшиеся ранее пути миграции *homo sapiens* в Европу лежат далеко к югу от Среднего Дона. Нет здесь и более древних мустьерских стоянок, принадлежавших неандертальцам [1].

По научным данным, уже валдайское оледенение регион Костенок не затрагивало, поэтому условия для заселения в этом регионе существовали десятки тысячелетий. И почти все эти десятки тысячелетий подтверждены археологически. Если какие-то периоды пока не имеют материальных свидетельств пребывания здесь людей, то, как правило, со временем «разрывы в доказательствах» убедительно компенсируются. Ведь не случайно со времен Петра 1 Костенки признавались городом.

Город Дербент — один из древнейших «живущих» городов мира, старейший город Российской Федерации (рис. 4). Первые поселения возникли здесь в эпоху ранней бронзы в конце IV тысячелетия до н. э. Первое упоминание Каспийских ворот — наиболее древнего названия Дербента — относится к VI в. до н.э., его приводит древнегреческий историк и географ Гекатей Милетский — автор одной из первых работ страноведческого характера «Землеописание».

Город расположен на западном побережье Каспийского моря, где горы Кавказа почти вплотную подходят к берегу, оставляя лишь узкую полосу приморской равнины шириной около трех километров, так называемый Дербентский проход. Здесь в древности пролегал знаменитый Прикаспийский путь — единственная удобная дорога из степей Юго-Восточной Европы на Ближний Восток. На этом пути, в одном из его самых стратегически важных и географически удобных мест, возникло первое поселение на месте нынешнего Дербента. Раскопки обнаружили появившуюся здесь на рубеже VIII—VII вв. до н. э. мощную крепость со стенами из крупного бутового камня. В III—IV веках до н. э. на территории нынешних Азербайджана и Южного Дагестана возникло государство Кавказская Албания, в состав которого входил и Дербент.

В III—IV вв. город оказывается под властью Персии. Современный Дербент был основан в 438 гг. правителями из династии Сасанидов. А в 562—571 гг. шахом Хосровом I была возведена крепость Нарын-Кала. Строительство Дербентского комплекса велось по этапам: сначала цитадель и северная стена города, потом южная стена, а позднее — Горная стена (Даг-Бары). В VI в. была возведена и первая поперечная стена, отделяющая обживаемую часть Дербента у цитадели от незаселенной приморской [3].

С 735 г. город Дербент стал военно-административным центром Арабского халифата в Дагестане.

Именно в этом месте богатые и цветущие земледельческие народы Ближнего и Среднего Востока «отгородились» мощными укреплениями от опустошительных набегов кочевых племен из степей Юго-Восточной Европы.



Рис. 4. Рисунок старого города

Сохранившаяся высота стен достигает 10...12, а местами — 15...18 м. Фортификации много раз перестраивались и реставрировались. Специалисты различают до десяти резко отличающихся типов их кладки, относящихся к различным периодам и связанных с различными строительными школами. Сохранившаяся древнейшая кладка представляет собой огромные нестандартные притесанные друг к другу на месте блоки. Кладка поздних периодов отличается более строгой геометричностью блоков, стандартностью высоты рядов, горизонтальностью швов, размерами и обработкой блоков. Появляются архитектурные детали, резные вставки и т. д. В более поздней кладке замечаются и многочисленные попытки имитировать древнейшую кладку. Фортификации Дербента сложены из крупных блоков местного ракушечника. Два ряда каменных плит образуют наружную облицовку стены, пространство между которыми заполнено забутовкой на известковом растворе. Наружные облицовочные блоки очень хорошо подогнаны друг к другу и сложены без раствора. Это придает им не только нарядность и монументальность, но и воздействует на психику созерцателя своей незыблемостью и неприступностью.

Наиболее интересным, и не похожим ни на одну известную из сохранившихся систем городских укреплений, безусловно, является сам крепостной комплекс Дербента. Главная часть системы укреплений — цитадель Нарын-Кала (один из вариантов перевода этого названия на русский язык — «Солнечная крепость»), построенная на высоком отроге Джалганского хребта в VI веке. Мощные трехметровой толщины стены, ограничивающие территорию площадью 4,5 гектара, сложены из двух рядов хорошо обработанных каменных блоков с заполнением из рваного камня и известкового раствора. Такую же конструкцию имеют и параллельные стены города, северная более ранней постройки, и южная, возведенная позже. Обе стены имеют многочисленные башни. Когда-то эти стены уходили далеко в море, препятствуя обходу города по мелководью и создавая удобную и хорошо защищенную гавань.

Архитектурно-ландшафтный ансамбль «Древний Дербент» — памятник истории и культуры, расположенный на территории Российской Федерации, занесен в список всемирного наследия ЮНЕСКО (рис. 5).

Подробное описание удивительного города оставили многие восхищенные наблюдатели разных веков, в том числе сосланный сюда писатель-декабрист А. А. Бестужев-Марлинский. Город ему напоминал «огромного удава, который под чешуей домов растянулся с горы на солнышке и поднял свою зубчатую голову крепостью Нарын, а хвостом играет в Каспийском море».

Несмотря на то что по археологическим данным город Дербент отметил уже свое 5000-летие, широкого признания эта дата в истории российского градостроительства не получила.

Более известна история отечественного градостроительства, еще до нашей эры представленная такими южными городами, как Фанагория, Танаис, Синдская Гавань, Гермонасса и т. д. (рис. 6).

Так, Фанагория — крупнейшая древнегреческая колония на территории Юга России, наряду с Пантикапеем служила одной из двух столиц эллинистического Боспорского царства. Была расположена на берегу Керченского пролива, на Таманском полуострове в 25 км к северу-востоку от Гермонассы. К началу нашей эры Фанагория стала наиболее значительным городом царства, как в политическом, так и в экономическом аспекте.

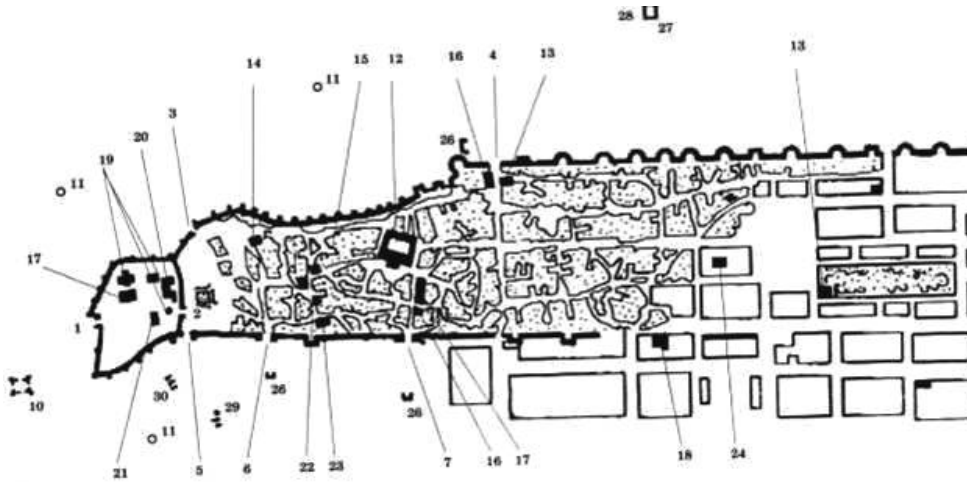


Рис. 5. Схема Дербентского государственного музея-заповедника: 1 — западные ворота цитадели; 2 — Нарын-Кала-Капы; 3 — Джарчи-Капы; 4 — Кырхляр-Капы; 5 — Кала-Капы; 6 — Баят-Капы; 7 — Орта-Капы; 8 — Дубары-Капы; 9 — древняя сырцовая стена; 10 — остатки форта Горной стены; 11 — места расположения круглых отводных башен; 12 — Джума-мечеть и медресе; 13 — Кырхляр-мечеть; 14 — Минарет-мечеть; 15 — Кильса-мечеть; 16 — Бала-мечеть; 17 — бани XVII в.; 18 — бани XIX в.; 19 — водохранилище; 20 — ханский дворец; 21 — гауптвахта; 22 — Караван-сарай; 23 — дом А. Бестужева-Марлинского; 24 — армянская церковь; 25 — место землянки Петра I; 26 — родники у городских ворот; 27 — группа могил Кырхляр; 28 — ханский мавзолей; 29 — группа могил «Джум-Джум»; 30 — группа могил семейства Эсфендияр; 31 — Дербентский краеведческий музей



Рис. 6. Греческие города-колонии в Северном Причерноморье в античную эпоху

В дальнейшем Фанагория входила в состав Византийской империи, затем Хазарского каганата. Площадь, занимаемая городищем Фанагория, составляет до 60 га. Местонахождение Фанагории было установлено еще в XVIII в., в связи с находками пьедесталов мраморных статуй Афродиты. В ходе исследования огромного некрополя, окружающего территорию древнего города с трех сторон, было обнаружено несколько тысяч захоронений. Изобилие мраморных и кипарисовых саркофагов — свидетельство богатства античной Фанагории.

В начале X в. Фанагория была заброшена жителями, вследствие влияния природных факторов: повышения уровня моря и занесения русел Кубани. Позднее Фанагория уступила первенство на полуострове Таматархе-Тмутаракани. В XI в. на руинах Фанагории существовало небольшое поселение, а в XVI—XVIII вв. на этом месте находилось поселение, входившее в состав Османской империи.

В Фанагории была очень ранняя христианская община, которая появилась еще до того, как христианство проникло далее, на территорию будущей Руси. Этот огромный город отличается от прочих тем, что на его поверхности нет ни одного современного здания, и это позволяет осуществлять любые научные и прочие проекты на этой территории.

В течение последних лет в Фанагории сделаны очень важные и большие открытия. Здесь было открыто необычное сооружение, которое называется по-русски «ряж». Оно представляет собой клетку из бревен, заполненную камнями. Это своеобразный подводный фундамент, на котором были построены портовые сооружения. Археологи не знают, каковы были эти портовые сооружения, но этот «ряж» сохранился великолепно, и очень важно то, что он был заполнен камнями из города. В результате в «ряже» оказались древнегреческие надписи, фрагменты статуй, постаменты под статую, архитектурные детали и многое другое. В настоящее время город оказался между двух поселков, и здесь действительно нетронутый ландшафт со своей ярко выраженной спецификой.

В заключение необходимо отметить, что историко-градостроительный анализ первых поселений юга России, их архитектурных памятников включает в себя сложный и вместе с тем целостный синтез произведений искусств — архитектуры, живописи, скульптуры, градостроительства, ландшафтного (садово-паркового) и прикладного искусства.

Перед нами стоит задача сохранить архитектурные памятники, не только как физическую давность, но и как произведение искусства, обладающее определенной исторической и художественной ценностью. Поэтому в настоящее время необходимо возродить роль архитектурных памятников в общем ансамбле реконструируемой застройки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аникович М.* Костенки — снова открытия // Знание и сила. 2007. № 08.
2. *Забалуева Т. Р.* История архитектуры и строительной техники. — М. : Эксмо, 2007. — 736 с.: илл.
3. 100 мест в России, которые надо увидеть, прежде чем умереть / В. Н. Сингаевский. — М. : АСТ ; СПб. : Полигон, 2010. — 256 с.: илл.
1. *Anikovich M.* Kostenki — снова otkrytiya // Znaniye i sila. 2007. № 08.
2. *Zabalueva T. R.* Istoriya arkhitektury i stroitelnoy tekhniki. — M. : Eksmo, 2007. — 736 s.: ill.
3. 100 mest v Rossii, kotoryye nado uvidet, prezhde chem umeret / V. N. Singaevskiy. — M. : AST ; SPb. : Poligon, 2010. — 256 s.: ill.

© Субботин О. С., 2012

Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Субботин О. С. Формирование архитектурно-планировочной структуры первых поселений юга России // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 270—276.

УДК 711.4

Н. Г. Юшкова

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ В РЕГИОНЕ

Представлены результаты комплексного авторского исследования проблемы реформирования градостроительной деятельности государственной политикой в условиях инновационного развития территорий регионов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: новые градостроительные образования, инновационная инфраструктура территории региона, метод планирования процессов инновационного развития регионов, методика разработки градостроительных проектно-управленческих решений.

The results of complex analysis of the author's research of the problem of town-planning activity reforming by the government policy under conditions of innovative development on the territory of the regions.

K e y w o r d s: new town-planning structures, innovative infrastructure of the region's territories, method of region's innovative development processes planning, methods of development of town-planning project-administrative decisions.

Пространственная неравномерность развития территорий регионов — объективный процесс, свойственный практически всем странам мира. Выбор моделей развития территорий регионов (выравнивания различий в уровнях социально-экономического развития или фокусирования векторов развития) поставлен в прямую зависимость от целей государственного управления. Президентом и Правительством нашей страны в качестве основного политического и экономического курса определены положения Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (Концепция «2020») [1]. Этот документ устанавливает принципы «точечного», поляризованного развития российских регионов, кардинально отличающиеся от характерных для отечественной практики принципов выравнивающего развития территорий.¹ Определение точечных территориальных акцентов в регионах сопряжено с ускоренным, направленным, избирательным развитием в форме поддержки, и, соответственно, перераспределения средств федерального бюджета в их пользу, как правило, за счет других регионов. Результативность этого подхода возможна при условиях стимулирования появления и увеличения количества точек роста, усложнения их функционального наполнения, а также формирования системы их документального обеспечения (программ и проектов опережающего развития).

Происходящие политические изменения трансформируют существующую систему градостроительной деятельности. Ее отличительной чертой, даже принципу, становится подчиненность государственному институту социального и экономического планирования [2, 3]. Данный принцип выражается в обязательности адекватного отражения в градостроительной документации положений социально-экономического развития регионов путем точной территориальной привязки современных рыночных процессов в определенных пространственных

¹ Политика выравнивания уровня развития регионов способствует достижению минимально приемлемого (среднестатистического) уровня их социально-экономического развития, приведению динамики их функционирования к определенным (усредненным) показателям.

границах градостроительных систем их последующего планирования. Интегративная сущность социально-экономических и градостроительных решений (прежде всего, территориального планирования) позволяет гарантированно добиться требуемого государством результата. Современный мировой опыт уже состоявшихся проектно-управленческих решений свидетельствует о том, что структурные модели развития территории, заложенные в них, всегда реально отражают социально-экономические взаимосвязи и тенденции развития территории, как правило, посредством формирования градостроительных образований, реализующих инновационные процессы.

Последующее уточнение действующих законодательных актов в контексте реализации Концепции «2020» привносит в общепринятые классификации регионов новые виды их ранжирования [4]. В частности, получает все более широкое распространение такая характеристика регионов, как интенсивность процессов социально-экономического развития, что дает основание для обозначения важнейшей государственной задачи их трансляции в градостроительную деятельность и переосмысления используемой в этой сфере профессиональной терминологии. Характерно, что сегодня на инновационном этапе развития экономики нашей страны понятие «регион» активно эволюционирует, он представляет собой многоуровневую, многоаспектно развивающуюся градостроительную систему, реализующую новую теоретическую концепцию управления градостроительными процессами поляризованного развития территорий регионов (формирования «точек роста»), [5].

Появление и формирование «точек роста» территории во второй половине 1950-х годов XX века в США и Европе происходило одновременно со становлением урбанистических принципов в градостроительстве. Именно в это время выявлялся функционально-пространственный аспект развития градостроительных систем [6] как результат перехода от их планировочной организации к градостроительным планам правового зонирования, а в качестве принципиально нового вида деятельности начало формироваться градостроительное регулирование [7, 8]. В рамках этих явлений проявилась тенденция к формированию новых градостроительных образований и объектов [9, 10], чрезвычайно разнообразных в своих планировочных проявлениях: это и города-спутники, и новые жилые районы, и неиндустриальные зоны, и поселки индивидуальных жилых домов, и т. п. Причина их появления как градостроительного феномена заключалась в социально-экономическом углублении процессов роста населения, развития и появления новых секторов экономики после Второй мировой войны, а основной смысл сводился к тому, что, наряду с уже существовавшими в Европе центрами урбанизированного развития и метрополиями, начали образовываться центры опережающего социального и экономического развития. Эти процессы в градостроительстве планировались и регулировались: «новые города» представлялись актуальным средством борьбы с переуплотнением [11].

Дифференцированный принцип территориальной организации Америки из отдельных штатов и наличие большого количества свободных для застройки участков способствовали не только активному их социально-экономическому освоению, но и градостроительному развитию. Удаление «новых» городов от крупных градостроительных структур было нецелесообразным из-за сложившейся системы трудовых тяготений: из возможных видов проживания в них преобладало, в ос-

новном, временное население над постоянным — стимулировалось и культивировалось свободное перемещение трудовых ресурсов. Доминировало их формирование по принципу селитебно-промышленных районов [12, 13], благодаря которому последовали изменения в системе государственного регулирования планировочного развития территории в виде госпрограмм с уникальным экономическим механизмом реализации (государственно-частными партнерствами).

В градостроительной практике повсеместно начали реализовываться теоретические постулаты «Афинской хартии», выраженные в модели «труд — быт — отдых» [14]. Новой экономике Европы становилось «тесно» в сложившихся рамках архитектурно-градостроительной организации территории социально-экономического пространства, что вызвало появление все более новых и дифференцированных архитектурно-градостроительных форм.

Наша страна — родина уникального опыта формирования градостроительных образований нового типа, обусловленного плановым социально-экономическим (народным) хозяйством и сложившимися за прошедшие десятилетия построения социалистического строя основами советского градостроительства [15]. Сформировались три основных типа моногородов [16]: на базе добывающей промышленности, на базе перерабатывающей промышленности, новые города на вновь осваиваемых территориях Севера и Юга страны. Вершиной развития социалистического хозяйствования (середины 1970 г.) стали наукограды в городах Новосибирск, Ногинск, Обнинск, Дубна, Зеленоград, Семипалатинск, Капустин Яр и др. [17]. Именно в таком виде были предприняты попытки планового освоения информационно-технологических ресурсов и финансового обеспечения перспективных отраслей промышленности (космос, атомная энергетика, электронное приборостроение) страны [18, 19], и одновременно созданы условия для «соревнования» противопоставленных по сути и по форме социально-экономических систем, в том числе, и в строительстве градостроительных образований нового поколения. Указанные процессы и связанные с ними аспекты градостроительной деятельности стали основой новой государственной политики.

Переход экономической системы России на инновационную модель развития совершенствует сложившиеся схемы градостроительных образований, а мировой опыт рубежа тысячелетий демонстрирует жизнеспособность новейших инновационно-технологических зон и объектов, таких как особые экономические зоны, технологические площадки, технопарки, технополисы, иннополисы и т. п. Ряды ставших классическими образцами «новых городов» постоянно пополняются новейшими точками роста, задающими социально-экономические стандарты инновационных градостроительных процессов.

Градостроительные образования в российских регионах, появившиеся в последнее десятилетие — пилотные инновационные проекты мирового уровня, в том числе и в области градостроительства, требующие обобщения и классификации для последующего внедрения в градостроительную практику и, прежде всего, в региональном разрезе.

Систематизация и сравнительный анализ современного опыта градостроительных разработок, отражающих инновационный вектор развития российских регионов, позволяют установить наличие и активное распространение тенден-

ции инициации и практической реализации программ и проектов новых градостроительных образований (НГО), сформированных по принципу «точек роста». Новые градостроительные образования мы предлагаем классифицировать на *инновационные площадки*,² *новые поселения*³ и *инвестиционно-активные площадки*⁴ [5]. Также были выявлены закономерности их пространственной локализации на территории регионов, раскрыть причины их неоднородности и многообразия, установить ведущие характеристики, доказать наличие общих принципов их формирования, что в совокупности составило основу их градостроительной типологии. Множественность и одновременно типологическое ранжирование НГО базируется на единстве принципов их формирования внутри отдельных типов: дифференциация процессов жизнедеятельности, автономность бизнес-процессов, периферийность их локализации, зависимость от различных видов ресурсов (для инновационных площадок); равнозначность бизнес-процессов, центричность локализации и зависимости от освоенного ресурса; связность с существующими градостроительными образованиями (для новых поселений); многофункциональность процессов жизнедеятельности и их зависимость от существующих градостроительных образований, вариативность бизнес-процессов при ограниченности градостроительных ресурсов (для инвестиционно-активных площадок).

По результатам изучения различных видов документов развития по материалам официальных сайтов Минэкономразвития РФ, Минрегионразвития РФ, органов публичной власти (государственного и муниципального управления), разработанных и утвержденных в последние годы, были сформулированы теоретические положения градостроительного формирования современных типов НГО. Установлено, что около 50 субъектов (регионов) РФ фактически не вступили на путь инновационного развития, они только начинают работу по проектному формированию инновационных градостроительных образований, в 26 субъектах РФ пространственное развитие территории осуществляется в соответствии с государственной инновационной политикой (в них зафиксированы практические мероприятия по реализации программ и проектов инновационного развития) и только незначительное количество регионов отличаются выраженным активным формированием НГО (рис. 1). В частности, такие федеральные округа и субъекты РФ как Московская область (ЦФО) и Ленинградская область (СЦФО) демонстрируют на данный момент более высокий уровень инновационного развития: в каждом из них формируется около десяти НГО (рис. 2). Из возможных типов НГО наибольшее распространение получили новые поселения, а меньше всего распространены инновационные площадки. Это, в свою очередь, позволило установить наличие в них следующих общих признаков: перспективное социально-экономическое развитие регионов, определяемое точками роста, представляющих опережающий экономический и социальный рост по сравне-

² Сколково (Московская область), Саров (Нижегородская область), Елабуга и IT-парк (Татарстан), Кольцово (Свердловская область), Тербуны, Данков и Елец (Липецкая область).

³ Юнтолово, Южный, Кудрово (Ленинградская область); А-101 (Московская область), Светлый город (Калужская область), Градослав (Воронежская область), Романово (Липецкая область), Благовещенская (Краснодарский край), Магад (Ингушетия), Лесная Поляна (Кемеровская область).

⁴ Город на Воде (Татарстан), Новый Берег и Морской Фасад (Санкт-Петербург).

нию с существующими предприятиями и дающих мультипликационный эффект, распространяющийся на прилегающие территории, фиксируется в инновационных проектах объектов хозяйствования, предпринимательства и бизнеса. Решение о реализации инновационных проектов, их размещении на территории принимают бизнес-структуры, имея в виду территориальную привязку планируемых бизнес-процессов и социально-экономических связей в соответствии с основными положениями государственной политики инновационного развития.

Однако любая инвестиционно-строительная и социально-экономическая активность, согласно основам теории градостроительства и в соответствии с федеральным законодательством, должны проходить в градостроительном порядке, имеющим целью градостроительную организацию территории. Структурная градостроительная организация территории, обеспечивающая инновационное развитие региона, всегда базируется на градостроительных принципах ее организации.

Современная практика сформировала адекватные государственной политике инновационного развития регионов градостроительные принципы развития их территорий. Так, Центральный и Северо-Западный федеральные округа (регионы) формируют точки роста федерального уровня, используя всю возможную палитру из представленных типов НГО, а остальные федеральные округа характеризуются преимущественным образованием одного (реже, двух) типа НГО. В формируемых единичных НГО в Дальневосточном и Северо-Кавказском федеральных округах пока не проявляются определенные типологические характеристики, выявленные из исследования опыта XX века и начала XXI веков (процессы находятся в начальной стадии формирования, с возможным появлением нового типа НГО).

Процессы инновационного развития обуславливают приоритет роста не только отраслей и секторов экономики, но и устойчивого развития самой территории. Суммирование описанных тенденций из современного опыта градостроительной деятельности, основных положений государственной градостроительной политики, реально осуществляющихся на современном этапе инновационных процессов позволяют сформулировать авторскую концепцию градостроительного развития территории региона [2, 20]. Ее основными признаками является синтез социально-экономического и градостроительного планирования, сосредотачиваемый в системе документов развития, содержащих проектные и управленческие решения по поддержке и стимулированию тенденций развития территории, и включающий комплексный социально-экономический и градостроительный сценарий ее развития, планируемые инновационные градостроительные образования и средства их реализации. Концепция направлена на выявление и использование существующих тенденций в развитии территории, которые задействуют все имеющиеся инновационные ресурсы регионов во всех их экономических и территориальных направлениях в архитектурно-планировочной организации и территориально-пространственном развитии региональных градостроительных систем.

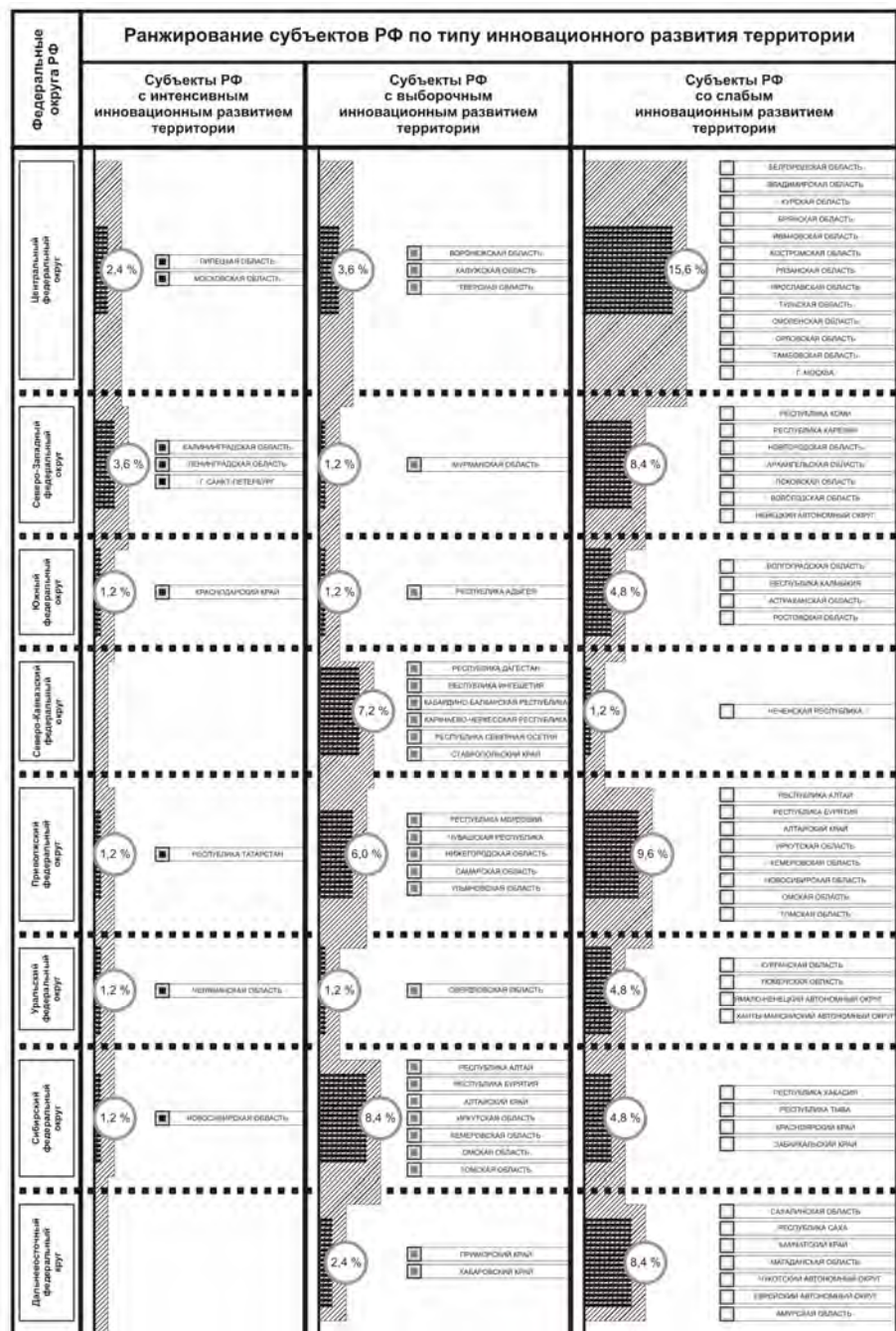


Рис. 1. Результаты сравнительного анализа процессов инновационного развития территории субъектов РФ (разработка автора)

Российская практика разработки и реализации проектов НГО, несмотря на их поддержку со стороны государственной власти, в большинстве своем инерционна, а реальное развитие территорий в регионах можно назвать инновационным с большими поправками. Развитие региона как современной градостроительной системы только в самом общем виде соответствует стратегическим задачам и требованиям, происходит фрагментарно и даже спонтанно: территории, имеющие основания для развития, его не получают, и наоборот, «очаги» развития возникают без оценки реальных возможностей региона и используют для этого так называемый «административный ресурс».

Результатом анализа закономерностей формирования НГО при отражении инновационных процессов в региональной градостроительной системе стал вывод о наличии *принципа* уровневой дифференциации региона, с выделением в нем макро-, мезо- и микроуровней и последующим его раскрытием в объектах инновационного развития регионов на основе связей структурно-функциональных процессов (труд, быт, отдых), предопределяющих их типологию. Данный принцип неотъемлем от разработки реальных механизмов управления этими процессами как на уровне региональной системы, так и на уровне объекта (точки роста). Это, в свою очередь, закладывает теоретическую базу моделирования градостроительного развития территории, теоретических моделей, и обеспечивает наибольшую результативность их реализации в градостроительной практике. Уровневая дифференциация региона, таким образом, закрепляет устойчивые взаимосвязи между особенностями конкретного субъекта федерации и точками роста, которая проявляется в выборе типа и подтипа нового градостроительного образования, в его территориальной локализации, пространственных параметрах, а также в организации процессов функционирования. В условиях конкретного региона необходима адаптация теоретических моделей посредством их преломления к реально существующим проблемам и предпосылкам его перспективного развития.

Выявить общие для всех российских регионов закономерности инновационного градостроительного развития территорий в настоящее время не представляется возможным. Однако очевидно наличие региональных особенностей, связанных с градостроительной, социально-экономической, природно-ландшафтной уникальностью и спецификой каждого субъекта РФ. Особенности позволяют утверждать, что в градостроительных системах регионов на основе сложившегося планировочного транспортного каркаса, наряду с социальной, транспортной и инженерной инфраструктурой, возможно образование инновационной инфраструктуры территории региона (ИИТР) из формирующихся градостроительных образований. В создании инфраструктуры в XXI веке используются социологические теории постиндустриального общества, согласно которым социально-экономические трансформации общества определяют приоритетное значение секторов (первичного, вторичного, третичного, четвертичного, пятеричного) экономической системы [21, 22]. Эти секторы задают приоритетное формирование различных компонентов инфраструктуры территории и появление функциональных (архитектурных, градостроительных) объектов, ее формирующих (элементов, блоков). Пространственно-экономические блоки — рыночные процессы деятельности (градостроительные процессы), таким образом, вливаются в инфраструктуру территориально-пространственной системы. Инновационное развитие интен-

сифицирует рыночные процессы, постоянно стимулируя появление новых их видов, как в экономике, так и в градостроительстве, что приводит к смешиванию инфраструктурных компонентов, вследствие чего трансформируются их взаимосвязи в градостроительной системе. Возможности последующего развития инфраструктуры, взаимосвязанной со структурой, становятся более отчетливыми (конкретизированными).

Эволюция отечественных теоретических представлений о градостроительных процессах формирования инфраструктуры соответствует в целом общим тенденциям в странах с развитой рыночной экономикой (развитых странах), иллюстрирующих своим опытом развития различные этапы «инфраструктурной» политики социально-экономического развития (устойчивого развития) территории [22]. Разворачивающиеся процессы инновационного развития градостроительной системы вызывают необходимость коррекции понятия инфраструктуры с признанием ее новой (структурообразующей) роли, причем с активным формированием не только через рыночный механизм с доминирующим участием бизнес-структур, но и с выраженным участием государства в русле государственной политики инновационного развития. И, как следствие, трансформируются взаимосвязи главных и инфраструктурных составляющих градостроительной системы, инфраструктура оказывает решающее влияние на градостроительные процессы. Необходимость в новой концепции инфраструктурного развития территории возникает вследствие синхронизации принципов управления в градостроительстве и в экономике.

Результаты проведенного нами исследования указывают на то, что характер развития компонентов (элементов, блоков) инфраструктуры полностью зависит от требований руководства государства о направлениях социально-экономического развития территорий регионов, о перспективных градостроительных процессах. Принципы формирования НГО заключаются, прежде всего, в структурировании процессов инновационного развития территории и связанных с ними преимущественных условиях функционирования инфраструктурных объектов (элементов), что, в свою очередь, требует новых условий пространственного формирования инфраструктуры — инфраструктурного моделирования. Создание самостоятельной компоненты — инновационной инфраструктуры территории региона, наряду с другими инфраструктурными компонентами (социальной, транспортной, инженерной и другими), ожидается в направлении объединения инновационно активных видов деятельности [22], отличающихся особыми характеристиками, значительным удельным весом капитала в структуре стоимости их продуктов, способностью оказывать существенное влияние на темпы роста экономики, что дает возможность сформировать инновационную инфраструктуру территорий.

Соответственно факторами устойчивого инновационного социально-экономического развития регионов становятся инновационные, высокотехнологичные завоевания и их интенсивное внедрение во все виды хозяйственно-экономической деятельности и соответствующие им градостроительные образования (НГО), а не глобальные конкурентные преимущества в сферах добычи и переработки природных ресурсов, энергетики, транспорта, в аграрном секторе. Это в итоге способно приводить, как это принято называть в инновационной экономике, к образованию зон опережающего экономического роста и основным функциональным объектам градостроительной инфра-

структуры различного типа. Данный процесс укладывается в следующую схему: зоны и узлы развития региона, интегрируясь друг в друга, и с учетом комплекса действующих градостроительных факторов (местоположения ресурсов, рисунка «каркаса» градостроительной системы, характеристик центров расселения населения и системы экономических связей) формируют «точки роста» регионов. Фиксация этих приоритетов в пространственном аспекте будет осуществляться в градостроительных проектно-управленческих решениях соответствующего уровня.

ИИТР можно представить как интегральную схему социально-экономического пространства региона, суммирующую отдельные схемы планирования и развития, специфические слои, объединяющие «точки роста», типологическое разнообразие которых определяется многофункциональностью процессов инновационного развития, специфичностью связевых конструкций и ролью основного ядра пространственной региональной системы. ИИТР по отношению к структуре отражает и одновременно обосновывает возможность появления наиболее активных социально-экономических и градостроительных процессов на территории, ее функционирование заключается, таким образом, в обеспечении прогноза территориальной локализации процессов инновационного развития. В соответствии с выявленными закономерностями развития системы таких «точек роста» конкретных территорий, согласуемых по показателям развития с соответствующими долгосрочными федеральными программами, осуществляется наполнение содержания документов развития региона.

Главная роль и главное организующее начало зависит от действий органов публичной власти, которые, согласно современному российскому законодательству, обязаны планировать и организовывать такую работу. Подтверждение необходимости следования функциям управления обнаруживается в обзоре современных градостроительных тенденций развития территории, показывающих не только многообразие градостроительных структур, рожденных как следствие реализации проектных решений, но и присутствие и учет градостроительных процессов развития территории, имеющих прямое отношение к управленческим решениям документации развития. Они обязательный спутник задач градостроительного планирования и от градостроительного формообразования до задач формирования градостроительных объектов. Речь идет о комплексах проектно-управленческих решений документации развития территории.

Функционирование градостроительных объектов в пределах градостроительной структуры, включая инфраструктуру, выступает как совокупность градостроительных процессов развития территории. Процессы представляют собой определенный набор стандартных действий. Действия, в свою очередь, — стандартный перечень механизмов и инструментов в функционировании градостроительных объектов, определяемых требованиями реализации экономических и хозяйственных интересов участников градостроительной деятельности, действующих в рамках программ инновационного развития региона. Благодаря подобным стандартам, специалисты-градостроители имеют возможность отразить инновационные процессы развития региона в проектно-управленческих решениях документов развития территории, заложить основу для нормативно и методически верных действий органов государственной и муниципальной власти, включая и органы, уполномоченные в области градостроительной деятель-

ности путем выбора и реализации проектно-управленческих решений из числа предусмотренных документами развития. Целенаправленность и методичность действий являются проявлениями технологических свойств (технологий) градостроительной деятельности.

В условиях, когда технологии стали неотъемлемой частью жизни общества, современной основой экономики, градостроительная деятельность не может являться исключением. Технологии, внедренные в градостроительство, в аспекте инновационного развития, призваны обеспечить условия функционирования инфраструктуры региона и управления градостроительными процессами его инновационного развития.

Результатом исследования особенностей градостроительных процессов развития территории является утверждение, что формирование системы механизмов и инструментов практической реализации проектно-управленческих решений, находящихся в их составе, документов развития территории, представляет собой метод планирования процессов инновационного развития территорий регионов. Он неотъемлем от алгоритма технологизации управления градостроительными процессами инновационного развития региона, реализующего государственную политику инновационного развития регионов. Суть алгоритма заключается в обосновании, определении, выборе и применении адекватных социально-экономических ситуаций в российских регионах, новейших градостроительных форм, новейших градостроительных образований и адекватных экономическим и хозяйственным интересам участников градостроительной деятельности, действующих в рамках программ инновационного развития региона механизмов и инструментов реализации проектно-управленческих решений градостроительного планирования, входящих в их состав. Теоретические положения метода в практическом аспекте реализуются посредством *методики* обоснования и разработки инновационных градостроительных проектно-управленческих решений, закрепляемые в документах развития региона, заключающейся в пошаговом выполнении следующих технологических операций:

- осуществление факторного анализа территории региона на предмет выявления условий и возможностей ее инновационного развития;

- разработки теоретических моделей инновационного развития региона и объектов инновационного развития региона;

- структурно-планировочного моделирования процессов инновационного развития на уровнях макро-, мезо- и микрорегиона в инновационно-технологической инфраструктуре как совокупности новых градостроительных образований различной типологии;

- составление схем планирования на инновационных принципах в составе документов развития региона;

- конструирование механизмов управления на всех уровнях инновационного развития территории региональной системы и на уровне точек роста с учетом оценки реальных предпосылок их реализации;

- обоснование проектной концепции объектов инновационного развития.

В условиях инновационной экономики предлагаемая технологическая система — это очередной шаг в создании системы управления градостроительной деятельностью, которая способна постоянно обновляться и настраи-

ваться на вновь возникающие задачи государственной политики. Она не имеет принципиальных отличий от общепринятых технологических основ.

В частности, конструирование механизмов управления и иллюстрирование составленной по результатам исследования градостроительных процессов развития территории *модели формирования и реализации проектно-управленческих решений документов развития территории*. Профессиональная логика модели строится не только на выявлении архитектурно-планировочной структуры территории региона. Наряду с этим устанавливается совместимость устойчивых и новых форм управления, прежде всего, в доминировании задач инновационного развития, и градостроительной деятельности по устойчивому пространственному развитию территории в ее современной фазе инфраструктуры региона. Для этого использованы сформировавшиеся в последние десятилетия понятия: стратегические решения, логистика проекта, компетенции участников, инвестиционные этапы реализации проекта, внутренние и внешние факторы в реализации проекта, маркетинг и т. п. Потребность практической технологизации и дальнейшее укрепление управления градостроительной деятельностью связана с классификацией новейших компонентов управления по предлагаемым автором теоретическим понятиям: «механизмы» и «инструменты».

Они являются ядром сформировавшихся в настоящее время новейших компонентов управления градостроительной деятельностью:

- участники градостроительной деятельности, действующие в рамках программ инновационного развития территории (субъект управления);

- документы развития территории (документы управления);

- государственный институт стратегического планирования и органы государственного управления градостроительными процессами (органы управления);

- архитектурно-планировочная организация территории (объект управления);

- «механизмы» и «инструменты» управления градостроительными процессами в составе проектно-управленческих решений (в составе документов развития территории), формирующие архитектурно-планировочную организацию территории региона (средства управления).

Предлагаемые нами к внедрению в градостроительную деятельность «механизмы» в сфере управления градостроительными процессами инновационного развития территорий — организационные, регулирующие, мониторинговые механизмы — соответствуют известным функциям управления (организации, регулированию и мониторингу). Механизмы синхронизированы для макро-, мезо- и микрорегиональных уровней развития территории (ИИТР), сосредотачивая свое влияние на уровне субъекта федерации (мезорегиональном уровне), синтезирующего характерные признаки инновационного потенциала территории, определяющего градостроительные основы формирования инновационных объектов развития региона.

В основе формирования организационных механизмов управления градостроительными процессами лежит обоснование и установление в соответствии с законодательными и нормативно-правовыми актами в проектно-управленческих решениях документов развития территории параметров функционирования градостроительных процессов. Организационно-правовые механизмы классифицируются на две группы. Механизм оптимизации организационно-правовых форм инновационных процессов раскрывает принци-

пиальные схемы и организационные типы проектных партнерств, реализация которых предполагает использование таких инструментов, как определение основного участника, ответственного за реализацию проекта (государство, частная компания, государственно-частное партнерство). Принципиальные схемы организации пространства по рыночным критериям и социальным нормативам определяются механизмом учета социально-экономических факторов, предполагающем использование в качестве инструментов анализа состояния рынка и анализа состояния социума (континуума) на участке территории региона. Формирование в составе документов развития территории проектно-управленческих решений посредством указанных механизмов предусматривает обязательность наличия разделов организационно-правового и ресурсного обеспечения.

Регулирующие механизмы — это определенные государственными программными документами инновационного развития стимулирующая и ограничивающая направленность градостроительной деятельности по отношению к ее действующим участникам. В практической реализации используемые механизмы получили следующие названия — регулирующие отношения участников градостроительной деятельности и регулирующие собственно градостроительную деятельность. С наибольшей эффективностью могут быть использованы инвестиционные инструменты (комплекс инвестиционных условий, инвестиционные потоки, сроки и этапы реализации проектов) и финансовые инструменты (условия привлечения финансов с рынка ценных бумаг, финансового рынка и рынка недвижимости), задающие в составе документов развития территории структуру и содержание разделов инвестиционного и финансового обеспечения проектно-управленческого решения. Главным инструментом регулирования градостроительной деятельности является зонирование территории по общности условий, требований и параметров градостроительного использования участков территории региона.

Механизмы мониторинга реализации градостроительных процессов формируются органами государственного управления в соответствии с задачами оценки, анализа и контроля реализации документов развития территории. Разделы информационного обеспечения указанных документов формируют решения о создании в качестве инструментов управления информационных систем (информационно-управляющих систем, геоинформационных систем, интерактивных систем).

Апробация авторской методики разработки инновационных градостроительных проектно-управленческих решений в условиях конкретного региона осуществлялась в 2008—2012 гг. в рамках хозяйственных и контрактных работ в ВолгГАСУ в форме разработки градостроительной документации разных видов (документов территориального планирования, градостроительного зонирования и планировки территории) и концептуальных предложений новых градостроительных образований для муниципальных образований Волгоградской области (Новоаннинского, Среднеахтубинского, Городищенского, Дубовского муниципальных районов).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.
2. Концепция совершенствования региональной политики в Российской Федерации», 2009—2010.
3. Юшкова Н. Г. Пространственные методы решения стратегических задач развития региона // Фундаментальные проблемы пространственного развития Юга России: междисциплинарный синтез. Всеросс. науч. конф. 28—29 сентября 2010 г. — Ростов н/Д, 2010. — С. 193—200.
4. Юшкова Н. Г. Градостроительное планирование и стратегии инновационного развития регионов / Вестник ВолгГАСУ. Сер. «Строительство и архитектура». 2011. Вып. 25 (44). — С. 196—202.
5. Юшкова Н. Г. Концепция формирования социально-экономического пространства субъекта федерации : адаптация государственной политики инновационного развития / Н. Г. Юшкова, Ю. А. Долотова, М. А. Павелко, М. Ю. Рыжкова, С. С. Кострикина, О. И. Чашкина // Сборник работ победителей отборочного тура Всероссийского смотра-конкурса научно-исследовательских работ молодых ученых. 2011. — С. 382—387.
6. Системный анализ и проблемы развития городов / Ю. С. Попков и др. — М., 1983.
7. Владимиров В. В. Проблемы развития теории расселения в России / В. В. Владимиров, Н. И. Наймарк. — М., 2002.
8. Малоян Г. А. Регулирование развития крупного города в системе расселения. — М., 1989.
9. Мерлен П. Новые города. — М., 1977.
10. Фрезинская Н. Р. Пути формирования технополисов (зарубежный опыт) / Н. Р. Фрезинская // БИНТИ. 2011. № 4 (56). — С. 19—21.
11. Селф П. Города выходят из своих границ. Проблема роста городов Великобритании. — М., 1962.
12. Бочаров Ю. П. Планировочная структура современного города / Ю. П. Бочаров, О. К. Кудрявцев. — М., 1972.
13. Бочаров Ю. П. Производство и пространственная организация городов / Ю. П. Бочаров, Г. И. Фильваров. — М., 1987.
14. Основы теории градостроительства / З. Н. Яргина, Я. В. Косицкий, В. В. Владимиров и др. — М., 1986.
15. Основы советского градостроительства. Т. 1—4 / ЦНИИП градостроительства — М., 1966—1969.
16. Смоляр И. М. Новые города. Планировочная структура. — М., 1972.
17. Фрезинская Н. Р. О размещении научных учреждений в пределах населенного места / Н. Р. Фрезинская, Л. Базарова, Л. Петлялина, Е. Чернявская // Проблемы пространственной организации научно-исследовательских учреждений. ГИПРОНИИ АН СССР, 1974. — С. 26—36.
18. Фрезинская Н. Р. Территориальное развитие прогрессивных отраслей хозяйства / Н. Р. Фрезинская // Вестник АН СССР. 1991. № 12. — С. 29—39.
19. Фрезинская Н. Р. Технополисы — городам / Н. Р. Фрезинская // Вестник Российской академии наук. 1998. Т. 68. № 7. — С. 620—628.
20. Концепция Стратегии социально-экономического развития регионов Российской Федерации Министерство регионального развития Российской Федерации. 2005.
21. Юшкова Н. Г. Градостроительное развитие территории: проблемы пространственной политики и государственное регулирование / Н. Г. Юшкова // Вестник ВолгГАСУ. Сер. «Строительство и архитектура». 2009. Вып. 14 (33). — С. 196—202.
22. Юшкова Н. Г. Градостроительная структура социально-экономического пространства региона / Вестник ВолгГАСУ. Сер. «Строительство и архитектура». 2011. Вып. 24 (43). — С. 120—138.
1. Kontsepsiya dolgosrochnogo sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda. Uverzhdena rasporyazheniem Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 17 noyabrya 2008 g. № 1662-r.
2. Kontsepsiya sovershenstvovaniya regionalnoy politiki v Rossiyskoy Federatsii». 2009—2010.
3. Yushkova N. G. Prostranstvennye metody resheniya strategicheskikh zadach razvitiya regiona // Fundamentalnye problemy prostranstvennogo razvitiya Yuga Rossii: mezhdistsiplinarnyy sintez. Vseross. nauch. konf. 28—29 sentyabrya 2010 g. — Rostov n/D, 2010. — S. 193—200.

4. Yushkova N. G. Gradostroitel'noe planirovanie i strategii innovatsionnogo razvitiya regionov / Vestnik VolgGASU. Ser. «Stroitel'stvo i arkhitektura». 2011. Vyp. 25 (44). — S. 196—202.
5. Yushkova N. G. Kontseptsiya formirovaniya sotsialno-ekonomicheskogo prostranstva subekta federatsii : adaptatsiya gosudarstvennoy politiki innovatsionnogo razvitiya / N. G. Yushkova, Yu. A. Dolotova, M. A. Pavelko, M. Yu. Ryzhkova, S. S. Kostrikina, O. I. Chashkina // Sbornik rabot pobediteley otboroch'nogo tura Vserossiyskogo smotra-konkursa nauchno-issledovatel'skikh rabot molodykh uchenykh. 2011. — S. 382—387.
6. Sistemnyy analiz i problemy razvitiya gorodov / Yu. S. Popkov i dr. — M., 1983.
7. Vladimirov V. V. Problemy razvitiya teorii rasseleniya v Rossii / V. V. Vladimirov, N. I. Naymark. — M., 2002.
8. Maloyan G. A. Regulirovaniye razvitiya krupnogo goroda v sisteme rasseleniya. — M., 1989.
9. Merlen P. Novye goroda. — M., 1977.
10. Frezinskaya N. R. Puti formirovaniya tekhnopolisov (zarubezhnyy opyt) / N. R. Frezinskaya // BINTI. 2011. № 4 (56). — S. 19—21.
11. Self P. Goroda vykhodyat iz svoikh granits. Problema rosta gorodov Velikobritanii. — M., 1962.
12. Bocharov Yu. P. Planirovochnaya struktura sovremennogo goroda / Yu. P. Bocharov, O. K. Kudryavtsev. — M., 1972.
13. Bocharov Yu. P. Proizvodstvo i prostranstvennaya organizatsiya gorodov / Yu. P. Bocharov, G. I. Filvarov. — M., 1987.
14. Osnovy teorii gradostroitel'stva / Z. N. Yargina, Ya. V. Kositskiy, V. V. Vladimirov i dr. — M., 1986.
15. Osnovy sovetskogo gradostroitel'stva. T. 1—4 / TsNIIP gradostroitel'stva. — M., 1966—1969.
16. Smolyar I. M. Novye goroda. Planirovochnaya struktura. — M., 1972.
17. Frezinskaya N. R. O razmeshchenii nauchnykh uchrezhdeniy v predelakh naselennogo mesta / N. Frezinskaya, L. Bazarova, L. Petlyalina, E. Chernyavskaya // Problemy prostranstvennoy organizatsii nauchno-issledovatel'skikh uchrezhdeniy. GIPRONII AN SSSR, 1974. — S. 26—36.
18. Frezinskaya N. R. Territorialnoe razvitiye progressivnykh otrasley khozyaystva / N. R. Frezinskaya // Vestnik AN SSSR. 1991. № 12. — S. 29—39.
19. Frezinskaya N. R. Tekhnopolisy — gorodam / N. R. Frezinskaya // Vestnik Rossiyskoy akademii nauk. 1998. T. 68. № 7. — S. 620—628.
20. Kontseptsiya Strategii sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya regionov Rossiyskoy Federatsii Ministerstvo regionalnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii. 2005.
21. Yushkova N. G. Gradostroitel'noe razvitiye territorii: problemy prostranstvennoy politiki i gosudarstvennoe regulirovanie / N. G. Yushkova // Vestnik VolgGASU. Ser. «Stroitel'stvo i arkhitektura». 2009. Vyp. 14 (33). — S. 196—202.
22. Yushkova N. G. Gradostroitel'naya struktura sotsialno-ekonomicheskogo prostranstva regiona / Vestnik VolgGASU. Ser. «Stroitel'stvo i arkhitektura». 2011. Vyp. 24 (43). — S. 120—138.

© Юшкова Н. Г., 2012

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Юшкова Н. Г. Градостроительные аспекты моделирования процессов инновационного развития в регионе // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 277—291.

УДК 711.03

А. В. Антюфеев, Г. А. Птичникова

ПРИОРИТЕТЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ГЕНЕРАЛЬНЫХ ПЛАНОВ (НА ПРИМЕРЕ СТАЛИНГРАДА — ВОЛГОГРАДА)

Посвящена выявлению этапов и особенностей градостроительного развития Сталинграда — Волгограда на протяжении последней половины XX века. Сопоставляются различные градостроительные концепции развития города, а также анализируются положения генеральных планов с результатами их реализации.

К л ю ч е в ы е с л о в а: генеральный план, город, промышленно-селитебные районы, Сталинград, Волгоград, линейно-групповое развитие, линейный город.

The article is devoted to identification of stages and peculiar features of the urban development of Stalingrad — Volgograd over the last half of the XX century. The authors compare various urban development concepts and analyze Master Plans with the results of their implementation.

K e y w o r d s: master plan, city, industrial and residential areas, Stalingrad, Volgograd, linear-group development, linear city.

Сталинград — Волгоград — один из крупнейших городов-центров на Юге России — вошел во все мировые издания, посвященные вопросам развития линейных планировочных структур. Первоначальными предпосылками для линейного развития Царицына — Сталинграда — Волгограда стали природные факторы: большая река и окружающая город степь, не способствовавшая его глубинному развитию. Советский период времени стал основополагающим в градостроительной судьбе города. Вместе с другими индустриальными центрами страны, он стал своеобразным полигоном для архитектурно-градостроительных экспериментов архитекторов русского авангарда. В генеральных планах 1931—1933 гг. (рук. В. Н. Семенов, Гипрогор), 1939 г. (рук. Н. А. Солофненико, Ленинградское отделение Гипрогор), 1943—1945 гг. (рук. К. А. Алабян, Академия архитектуры СССР), 1951 гг. (рук. В. Н. Симбирцев) и других линейное развитие города было определяющим. В результате была создана уникальная в мировой градостроительной практике линейная планировочная структура, растянувшаяся почти на сто километров вдоль Волги, и сформирован ряд целостных архитектурных ансамблей линейного общественного центра.

В статье проводится оценка сложных и противоречивых по характеру градостроительных процессов, происходивших в Сталинграде — Волгограде, сопоставляются теоретические концепции и представления о городе нового типа с их реализацией на практике. Актуальность исследования связана с активностью настоящего этапа развития Сталинграда — Волгограда и конфликтов интересов между задачами сохранения культурного наследия и целями коммерческого строительства. Кроме того, актуально изучение всего круга архитектурно-градостроительных проблем, связанных с советским этапом в развитии городов страны и задачами ценностного отношения к советскому зодчеству.

Первый послевоенный Генеральный план Сталинграда разрабатывался в 1943—1944 гг. и был утвержден постановлением СНК РСФСР от 16 апреля 1945 г. № 244 «О генеральном плане г. Сталинграда». За основу был принят

проект восстановления, разработанный Академией архитектуры, руководителем которого стал академик, вице-президент Академии архитектуры СССР К. С. Алабян, и другие архитекторы Н. Х. Поляков, Д. М. Соболев, А. А. Дзержкович, А. Е. Пожарский при участии А. В. Щусева (рис. 1).



Рис. 1. Вариант проекта центральной части Сталинграда 1944 г. Руководитель К. Алабян

В содержании документов, относящихся к разработке генплана, ощущается борьба двух направлений, одно из которых хотело раскрыть прибрежные территории для селитьбы, а другое требовало оставить их за производством [1]. Идея раскрытия города к реке — главное, что определяло построение Генерального плана Академии архитектуры. С другой стороны, под напором ведомств, лучшие прибрежные территории отдавались промышленным предприятиям. В описании генеральной схемы планировки Сталинграда читаем: «Мощные промпредприятия, расположенные по фронту города, выходящему на Волгу, которые и впредь будут определять значение Сталинграда, восстанавливаются. За полосой зеленых насаждений, создающей санитарный разрыв промышленности, расположатся жилые районы, вытянувшиеся параллельно берегу Волги» [2]. Линейно-расчлененная планировочная структура города была попыткой выйти из создавшейся сложной ситуации. Единственным местом, где на берег реки выходила селитебная застройка, стала территория центрального района. Именно здесь и сконцентрировались усилия архитекторов. Разработка и реализация детального проекта планировки центра города в 1946 г. стала одним из лучших достижений советского градостроительства.

Следующий этап развития города был связан с поисками вариантов оптимального территориального роста города. Несмотря на корректировку генплана 1951—1952 гг. уже в 1954 г. стал вопрос о разработке нового плана. Главным архитектором Сталинграда В. Н. Симбирцевым были разработаны основные положения к разработке генплана [3]. Симбирцев смотрел далеко вперед, так как еще в середине XX века закладывал градостроительные идеи, которые находят свою реализацию только сегодня. Среди его предложений были следующие: строительство третьей Продольной магистрали, рокадная

дорога вдоль Волги от плотины ГЭС до завода им. Куйбышева, мост через Волгу для связи с левобережьем; архитектурное оформление главных въездов в город: вдоль железнодорожных магистралей Москва — Сталинград и Тихорецкая — Сталинград, из гражданского аэропорта в Гумраке и со стороны Сталинградской ГЭС и Воропоново; система озеленения города и другие.

Новый генплан должен был определить один из вариантов дальнейшего территориального развития города, которые были разработаны к 1954 г. Первый вариант — на основе сложившегося Сталинграда на площади 370 кв. км; второй — с расширением территории в Заволжье, к Сарепте и к поселку Волжский; третий — предусматривал сокращение территории города, отделение Красноармейска, и должен был охватывать два центральных района города и северную часть [4]. Проект был готов к 1958 г. Вместе с тем быстрое развитие Сталинграда требовало внесения изменений в разработанный проект, что происходило вплоть до 1962 года, когда проект генплана был утвержден.

Проект ограничивал дальнейший рост численности населения. Численность населения в Волгограде определялась на перспективу 800 тыс. чел. Волгоград¹ по-новому генплану занимал обширную территорию 39,2 тыс. га, в т. ч.: селитебная территория — 7,389 га, в т. ч. жилая застройка занимала 4,309 га, промышленно-складские территории, полосы ж. д. и линии электропередач — 8,358 га, земли Гослесфонда, СХИ и ВНИАЛМИ — 10,000 га и пр.

Главным направлением в развитии города оставался рост промышленности. Планировочная структура продолжала растягиваться вдоль Волги и достигла 60 км. Только к середине 1970-х гг. в связи с тем, что южное и северное направления территориального роста оказались исчерпанными, возник ряд районов в западной части города.

Промышленно-селитебные районы. Новый генплан заложил структурные изменения в соответствии с новыми требованиями советской градостроительной теории. Структурной единицей стали микрорайоны и укрупненные промышленно-селитебные районы. Как отмечал главный архитектор Волгограда В. Е. Масляев: «С целью правильного расселения по отношению к местам приложения труда город в генеральном плане решается не сплошной линией застройки, а в виде отдельных четырех больших городских комплексов, являющихся как бы созвездием небольших городов, расположенных в зеленых разрывах друг от друга. Тракторозаводский и Краснооктябрьский р-н составляет 1-й комплекс; Центральный и Советский р-н — 2-ой комплекс; Кировский — 3-й и Красноармейский — 4-й» [5]. Город трактовался как агломерация комплексных промышленно-селитебных районов с зелеными разрывами между собой. Каждый из районов должен был представлять собою вполне законченный городской организм, т. е. содержать в себе предприятия, где осуществляется труд, жилая застройка, отдых. Каждый из них должен был получить свой административный, культурный и торговый центр.

Население всего города к расчетному сроку должно было составить 800 тыс. чел., а население промышленно-селитебных комплексов — от 100 до 250 тыс. чел. В этот период в советской градостроительной теории популярной была тема поиска оптимальной величины города. Было определено, что наиболее удобным городом является город с численностью не более 250 тыс. чел.

¹ В 1961 г. Сталинград был переименован в Волгоград.

Основными предложениями генплана 1962 года (рис. 2), кроме уже названных, были следующие:

«развитие существующих и строительство новых предприятий строительной, легкой и пищевой промышленности;

создание между жилыми районами и промышленными предприятиями, а также вдоль железных дорог зеленых защитных зон;

новое массовое жилищное строительство 4—5-этажных домов на свободных территориях, а также на территориях, занятых малоценными одноэтажными домами;

организацию жилых районов и микрорайонов, создающих наиболее благоприятные санитарные и бытовые условия для проживания населения;

строительство учреждений культурно-бытового назначения из расчета обеспечения ими населения в соответствии с установленными нормами;

создание сети магистралей общегородского и районного значения;

доведение площади зеленых насаждений общего пользования (парков, скверов, садов и бульваров) до 1600 га, из расчета 20 м² на одного жителя;

развитие и завершение работ по созданию ветрозащитных государственных лесных полос и плодовых садов на городских землях за пределами застройки;

строительство набережной вдоль р. Волги во всех районах города;

развитие и реконструкция Волгоградского ж.-д. узла в соответствии с утвержденным проектом;

строительство сетей и сооружений водоснабжения, канализации, электроснабжения, теплоснабжения и газоснабжения в объеме, охватывающем всю многоэтажную и сохраняемую малоэтажную застройку города;

благоустройство оврагов и балок путем замыва, засыпки, террасирования и озеленения склонов, планировки и крепления откосов» [6].

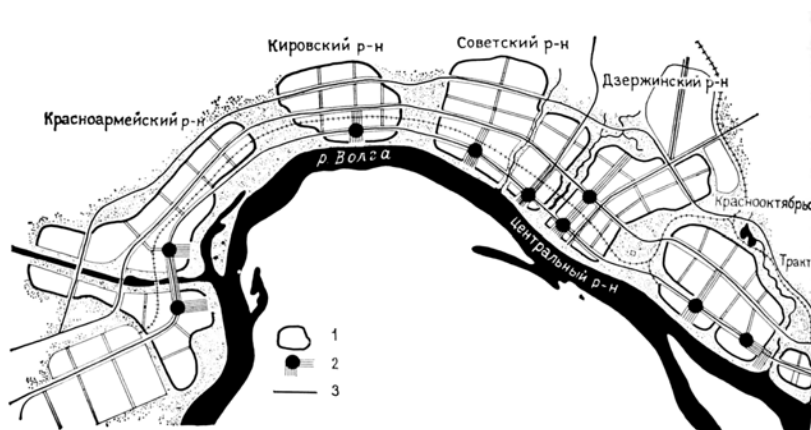


Рис. 2. Схема размещения жилищно-промышленных комплексов. По материалам генплана Волгограда 1959—1962 гг. [7]

Линейно-групповая система: генплан 1984 г. В 1980-е гг. Волгоград продолжал наращивать промышленные мощности. Численность населения приближалась к 1 млн жителей. Население города уже в 1971 г. составило 830 тыс. человек и превысило на 30 тыс. цифру генплана 1962 г., предусмотренную на 1980 г.

Все это время увеличивалась протяженность города. Генпланом 1962 г. были включены в городскую черту пригородные поселки, а также город Красноармейск.

Промышленное развитие города превысило заложенные в предыдущем генплане границы. Промышленность развивалась за счет сложившихся тяжелых отраслей промышленности, в которых занято 74 % всех кадров — машиностроение, металлургия, химия. В городе было размещено более 70 предприятий, непредусмотренных генпланом города, из них 11 Предприятий с кадрами более 1000 чел. (моторный завод буровой техники, Инструментальный завод, сажевый завод, заводы «Аврора», «Ахтуба» и др.). Разместилось также 14 новых проектных и научно-исследовательских института. Нерешенными остались следующие задачи: «не освобожден берег Волги от мелких предприятий; не полностью проводятся работы по охране природной среды; не завершен центральный ансамбль города» [8].

К 1978 г. был выполнен пятый генеральный план города. Этот документ, разработанный Гипрогором² (рис. 3), развивал преемственность идей по развитию города в виде линейно-групповой структуры, состоящей из комплексных селитебно-производственных образований, объединенных системой магистралей и инженерных коммуникаций. Предлагалось развитие города как ядра складывающейся Волгоградской агломерации, в состав которой входят Волжский, Дубовка, Краснослободск, Калач-на-Дону, Ленинск и др.



Рис. 3. Линейно-групповая система расселения Волгограда. По материалам генплана 1984 г. Гипрогор

² Авторы: архитектор М. Наумов, соавтор — архитектор Е. Мудрова, главный инженер проекта В. Любимов, инженеры-экономисты М. Николайчик, Т. Назьмова, инженеры по транспорту Ю. Шершевский, Р. Уланов, инженеры В. Еремеев, Т. Александровская, Р. Шмелева, консультант — заслуженный архитектор РСФСР А. Кузнецов.

Одной из задач этого генплана был поиск баланса между промышленным и социально-культурным развитием города. Интенсивно развивались отрасли, связанные с большой материалоемкостью, энерго- и водопотреблением.

При разработке генплана, учитывалось то обстоятельство, что особенности градостроительной ситуации определили особую структуру построения плана. Разработчики генплана положили в основу планировочного развития города гипотезу его развития как линейно-групповой системы расселения. Волгоград вытянулся в линейную систему протяженностью 65 км, состоящую из ярко выраженных промышленно-селитебных районов.

Одной из самых острых стала проблема истощения территориальных ресурсов развития города вдоль Волги в связи с возникновением промышленных зон со значительными санитарными разрывами. Дело в том, что достоинства линейного расположения города вдоль Волги имеют и свои теневые стороны. Это растянута коммуникаций, удаленность от центра и т. д. В генплане были сделаны попытки устранить эти недостатки и обеспечить городу определенную компактность. Территориальное развитие и расселение в генплане решалось в 9 вариантах, из которых три были разработаны в архитектурно-планировочном решении. Первый вариант предусматривал расселение на свободных от застройки территориях, западнее сложившейся селитебы, в виде нескольких, развивающихся перпендикулярно Волге, районов (Орловка, Алексеевка, Чапурники и др.). Второй вариант обосновывал идею перехода на левый берег Волги, создание на базе г. Краснослободска нового крупного селитебного района с научным и учебным центром и промышленностью, не дающей выбросов, загрязняющих окружающую среду. Третий вариант предусматривал полную реконструкцию сложившихся районов с малоценной застройкой, занимающей в городе значительные территории.

Сопоставление эксплуатационных затрат на освоение территории выявило их увеличение по сравнению с третьим вариантом. Учитывая необходимость решения первоочередных задач формирования Волгограда в основу генерального плана был принят третий вариант.

Новый генеральный план исходил из общей градостроительной концепции формирования Волгограда как единого, цельного города линейно-групповой структуры, состоящей из семи комплексных производственно-селитебных районов, объединенных системой магистралей и инженерных коммуникаций, зеленых насаждений и центров. Волгоград рассматривался как город, являющийся ядром складывающейся Волгоградской агломерации, в состав которой войдут города Волжский, Дубовка, Калач-на-Дону, Краснослободск, Ленинск, а также поселки Городище, Горьковский, Гумрак, Лог, Светлый Яр, Средняя Ахтуба и др. Предполагалось, что система этих городов, должна была обеспечить потребности развития промышленности самого Волгограда, в них будут размещаться новые предприятия в виде филиалов волгоградской индустрии. Принятая концепция генплана позволит действительно регулировать темпы роста Волгограда и включить в орбиту динамичного развития систему малых городов.

Проработка в ТЭО вариантов расселения дала возможность определить структуру генплана с учетом перспектив его развития за пределами расчетного срока и выхода селитебных резервов на левый берег, где находится город

Краснослободск с 20-тысячным населением и имеется значительное количество сельских населенных пунктов. Идея перехода на левый берег возникла еще в начале 1950-х гг. Однако значительное удорожание, связанное с инженерной подготовкой пойменной территории, не позволило принять положительного решения. Левобережный район, непосредственно примыкающий к городу, активно, но недостаточно организованно осваивался в качестве зоны отдыха. Освоение этого района сдерживается до сих пор особыми гидрологическими условиями поймы, а главное — отсутствием устойчивых транспортных связей. Поэтому в генплане было предусмотрено строительство двух мостов через Волгу в центральном и южном районах Волгограда. Намечены были и места легких мостовых переходов через Волгу в районы массового отдыха.

Особую роль в линейно-групповой структуре города, в которую преобразовывалась планировочная структура Волгограда, играл центр и вся система культурно-бытового обслуживания. Предполагалось дальнейшее развитие общегородского центра, создание в южной и северной частях дополнительных подцентров и центров районов. Общегородской центр должен был развиваться в глубину, по Историческому шоссе, но основное внимание уделялось продольному развитию его структуры и активному раскрытию центра на реку.

Система зеленых массивов по набережной и в разрывах между районами должна была стать основой организации экологического каркаса города. Общая площадь зеленых насаждений рассчитывалась на норматив в 24 м² на 1 жителя. Кроме городской системы озеленения дальнейшее развитие должно было получить зеленое кольцо на западной границе города, площадь определялась в 12 тыс. га.

Структура и композиционное построение комплексных промышленно-селитебных районов решалось по общей схеме: система продольных осей параллельно Волге с поперечным основным выходом к реке и дополнительными выходами к набережной. Этот общий характер в архитектурно-планировочных решениях районов выражен в индивидуальных приемах построения их структуры, системы зелени и т. д.

Генеральный план намечал широкую программу мероприятий по совершенствованию транспортной структуры Волгограда. Эта задача решалась параллельно с разработкой «Комплексной схемы развития всех видов транспорта» (руководитель работ инженер Ю. З. Шершевский). Предусматривает усиление продольных связей города с дифференцированием по характеру движения системы продольных магистралей. Линия железной дороги, проходящей через все районы, освобождалась от грузового движения и должна была стать трассой скоростного городского транспорта. Грузовые автомобильные потоки выводились из пределов селитебных зон на дублеры.

Готовый к 1980 году генплан в течение почти четырех лет рассматривался и согласовывался в тридцати министерствах и ведомствах. Он был утвержден только в 1984 г. (постановление СМ РСФСР от 19.10.84 № 442 «О генеральном плане г. Волгограда») (рис. 4). Однако реализация Генерального плана проходила с нарушениями его основных положений. Теоретическая схема развития селитебно-производственных районов с зелеными клиньями, разделяющими их и обеспечивающими экологический баланс, на практике не была реализована.



Рис. 4. Схема генплана Волгограда. Рук. М. Р. Наумов (Гипрогор), 1973—1984

Исследование эволюции архитектурно-пространственного развития Сталинграда-Волгограда и формирования уникальной планировочной структуры, представляющей пример реализации концепций линейного расселения и соц. городов, позволило сформулировать следующие выводы.

В схеме планировки Сталинграда — Волгограда были отражены многие современные тенденции развития города — агломеративный характер планировочной структуры, общий масштаб территориального роста города от тракторного завода на севере до Волго-Донского канала на юге, несколько продольных магистралей, объединяющих урбанистическую систему в единый организм, размещение общественных центров. План города в настоящее время приобрел общую линейно-расчлененную (линейно-групповую) форму и в отдельных участках полосовую, возникающую вследствие линейно-параллельного зонирования промышленности и жилья. При этом превалирующее значение приобретают продольные связи, требующие из-за большой протяженности применения скоростного транспорта. При линейно-групповой планировке основной композиционной осью плана города является продольная линия городского транспорта, проходящая вдоль территории всего города. В случае Волгограда таких связей в настоящий момент появилось три — Первая, Вторая и Третья Продольные магистрали. Положительным свойством линейной планировки города является то, что он может развиваться без коренной реконструкции уже сложившихся районов. Существенный же недостаток города-линии — фактическое расчленение его на ряд районов, в значительной степени обособленных друг от друга. Кроме того, качество жизни ухудшается за счет малой доступности для окраинных районов центра города, который так и не приобрел потенциала, соответственного размерам города и по населению, и по территории.

Таким образом, если говорить о конкретном городе, то в настоящее время необходимы новые решения по развитию планировочной структуры Волгограда. С другой стороны, углубленные исследования особенностей его фактического функционирования в качестве урбанизированного линейного образования позволят продолжить развитие теории, связанной с линейными структурами, и уточнить многие положения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Птичникова Г. А.* Особенности архитектуры послевоенного периода в Сталинграде // *Архитектура сталинской эпохи: Опыт исторического осмысления* / сост. и отв. ред. Ю. Л. Косенкова. — М. : Комкнига, 2010. — С. 237—250.
 2. Характеристика главного архитектора г. Сталинграда генеральной схемы планировки города. Сталинград. 29 июля 1943 г. ГАВО. Ф. 71. Оп. 1. Д. 638. — Л. — С. 99.
 3. Основные положения главного архитектора В. Н. Симбирцева к разработке проекта планировки и застройки г. Сталинграда. 3 апреля 1954 г. ГАВО. Ф. 71. Оп. 1. Д. 1459. — Л. — С. 57.
 4. Замечания к вопросу «Основные положения генерального плана гор. Сталинграда» 3 апреля 1954 г. ГАВО. Ф. 71. Оп. 1. Д. 1459. Л. 73—77.
 5. Из доклада главного архитектора В. Е. Масляева на заседании горсовета X сессии VIII созыва по проекту планировки г. Волгограда. — Волгоград, 24 декабря 1962 г. ГАВО. Ф. 71. Оп. 4. Д. 70. — С. 68.
 6. Решение X сессии VIII созыва Волгоградского горсовета «О проекте планировки гор. Волгограда» г. Волгоград, 24 декабря 1962 г. ГАВО. Ф. 71. Оп. 4. Д. 70. — С. 93—96.
 7. *Атопов В. И., Масляев В. Е., Липявкин А. Ф.* Волгоград. — М. : Стройиздат, 1985. — С. 64.
 8. Справка о реализации генерального плана 1962 г. по состоянию на 1 октября 1984 г. ГАВО. Ф. 2115. Оп. 11. Д. 2561. — С. 63—64.
-
1. *Ptichnikova G. A.* Osobennosti arkhitektury poslevoennogo perioda v Stalingrade // *Arkhitectura stalinskoy epokhi: Opyt istoricheskogo osmysleniya* / sost. i otv. red. Yu. L. Kosenkova. — M. : Komkniga, 2010. — S. 237—250.
 2. Kharakteristika glavnogo arkhitektora g. Stalingrada generalnoy skhemy planirovki goroda. Stalingrad. 29 iyulya 1943 g. GAVO. F. 71. Op. 1. D. 638. — L. — S. 99.
 3. Osnovnye polozheniya glavnogo arkhitektora V. N. Simbirtseva k razrabotke proekta planirovki i zastroyki g. Stalingrada. 3 aprelya 1954 g. GAVO. F. 71. Op. 1. D. 1459. — L. — S. 57.
 4. Zamechaniya k voprosu «Osnovnye polozheniya generalnogo plana gor. Stalingrada» 3 aprelya 1954 g. GAVO. F. 71. Op. 1. D. 1459. — L. — S. 73—77.
 5. Iz doklada glavnogo arkhitektora V. E. Maslyayeva na zasedanii gorsoвета X sessii VIII sozyva po projektu planirovki g. Volgograda. — Volgograd, 24 dekabrya 1962 g. GAVO. F. 71. Op. 4. D. 70. — S. 68.
 6. Reshenie X sessii VIII sozyva Volgogradskogo gorsoвета «O proekte planirovki gor. Volgograda» g. Volgograd, 24 dekabrya 1962 g. GAVO. F. 71. Op. 4. D. 70. — S. 93—96.
 7. *Atopov V. I., Maslyayev V. E., Lipyavkin A. F.* Volgograd. — M. : Stroyizdat, 1985. — S. 64.
 8. Spravka o realizatsii generalnogo plana 1962 g. po sostoyaniyu na 1 oktyabrya 1984 g. GAVO. F. 2115. Op. 11. D. 2561. — S. 63—64.

© Антюфеев А. В., Птичникова Г. А., 2012

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Антюфеев А. В., Птичникова Г. А. Приоритеты градостроительного развития города через призму генеральных планов (на примере Сталинграда — Волгограда) // *Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит.* 2012. Вып. 28(47). С. 292—300.

УДК 712.4:551.584.5

В. В. Прокопенко, Э. С. Косицына

СИСТЕМА КОМПОНЕНТОВ ГОРОДСКОГО ЛАНДШАФТА

Рассмотрен процесс урбанизации городов: переход системы города от природного ландшафта к антропогенному, выявлены компоненты природного ландшафта и установлены понятия природного и антропогенного ландшафта.

К л ю ч е в ы е с л о в а: природный ландшафт, антропогенный ландшафт, элементы городского ландшафта.

The author considers the urbanization of cities: transfer of city systems from landscape to anthropogenic, the nature landscape components were identified and notions of nature and anthropogenic landscape were determined.

К e y w o r d s: nature landscape, anthropogenic landscape, elements of city landscape.

По-настоящему красивый и удобный для жизни город возможен только в единстве с природой. На протяжении всей истории городские ансамбли объединяли в себе камень и дерево, улицы и сады, плотно застроенные кварталы и водные пространства. Трудно себе представить город без садов и парков, озелененных улиц и дворов. Зеленые насаждения, открытые пространства не только улучшают микроклимат на застроенных территориях, но и являются необходимыми эстетическими элементами городской среды. Формирование городских парков, озеленение жилых районов — сложная градостроительная задача, решение которой нередко сталкивается с необходимостью осваивать неудобные территории, восстанавливать нарушенные ландшафты и воссоздать новые, наиболее соответствующие современным требованиям градостроительства.

Существует принципиальное отличие современного города от городов прошлого. Если раньше сады, парки, набережные были желательными элементами, то крупный город наших дней просто не может существовать без открытых и озелененных пространств. От них зависят качество окружающей жизненной среды в целом, состав воздуха, которым мы дышим, возможности повседневного досуга, активного отдыха, эстетические впечатления, наше физическое и душевное благополучие. Природный ландшафт не только территория, на которой развивается город. Он играет главную роль в градостроительстве. Определив роль и значение естественных ландшафтов нужно рассмотреть вопросы охраны и преобразования элементов природного ландшафта в городских условиях.

Ландшафт природный, в географическом понимании — это однородный участок суши, окаймленный естественными границами, в пределах которых природные компоненты образуют взаимосвязанное и взаимообусловленное единство. Факторами, определяющими специфику природного ландшафта, являются климат, структура рельефа, вода и растительность. Элементы природного ландшафта это основа и важнейшая составляющая городских структур. Они выполняют в городе многообразную роль, что определяет градостроительные подходы к их учету, оценке, охране и преобра-

зованию. Уместно говорить о четырех таких подходах: функциональном, санитарно-гигиеническом, эстетическом, природоохранном и соответственно о четырех группах компонентов городского ландшафта.

Функциональные критерии определяют роль ландшафтных компонентов, и, прежде всего, зеленых насаждений и акваторий, в организации городских функций жилища, отдыха и спорта. При этом принимаются во внимание те качества природных компонентов, которые могут рассматриваться как ресурсы, обеспечивающие разнообразие видов отдыха и полноту охвата отдыхом всех групп населения города.

Санитарно-гигиенические критерии позволяют выявить роль природных элементов городской среды в улучшении микроклимата городов.

Эстетические критерии определяют подход к природному ландшафту как фактору гармонизации городской среды. С этой целью рассматриваются характеристики облика городского и природного ландшафта.

Город оказывает постоянное воздействие на природные компоненты ландшафта, деформируя и приспособлявая их к своим нуждам. Поэтому важнейшие аспекты градостроительного подхода к ландшафту включают исследования его состояния в городской среде и оценку с учетом необходимых инженерно-планировочных критериев охраны и технического благоустройства. Только при успешном решении этой задачи природные компоненты ландшафта города будут способны выполнить свои функциональные, санитарные и эстетические функции.

В процессе хозяйственной деятельности человек изменяет некоторые природные компоненты, в первую очередь, растительность, почву, водный режим, фауну. Подобные изменения нарушают сложившиеся в ландшафте связи и взаимодействия между природными компонентами. Необходимость освоения территории и проникновения человека в природу вызывает изменение ландшафта — большие пространства земли покрываются сетью дорог и линий электропередач, возникают заводы, поселки, города. Такие изменения природного ландшафта можно назвать переходом к антропогенному ландшафту.

Антропогенный ландшафт состоит из взаимодействующих природных и антропогенных компонентов и формируется под влиянием деятельности человека и природных процессов. Вследствие взаимодействия можно проследить за факторами, изменяющими природный ландшафт. В природном ландшафте преобладают крупные членения — лесные массивы, степи или водные пространства. Освоение человеком территорий вызывает дробление ландшафта на части. Появляются новые факторы, влияющие на облик ландшафта: во-первых включение в него элементов, изменяющих поверхность земли: сельскохозяйственных площадей, водоемов, автомобильных и железных дорог, отвалов пустой породы, заброшенных карьеров и прочих неудобных земель; во-вторых, элементов, изменяющих объемно-пространственную структуру ландшафта: населенных пунктов, промышленных сооружений, сети электропередач и прочие сооружения. Эти элементы сильно изменяют природный ландшафт.

Человек оказывает отрицательное влияние на природный ландшафт, путем взаимодействия культурного и технического прорыва, создавая антропогенный ландшафт, который, в свою очередь, образует «систему город». В данной системе антропогенного ландшафта выделяется рекреационная территория города,

которая становится центром соединения человека с природой. Но в связи с ускоренными темпами развития общества, застройкой свободных территорий, влияние новых факторов, которые не только негативно влияют на человека, но и разрушают ослабевшую рекреационную территорию, которая могла бы стать защитой города от его же влияния на самого себя. В настоящее время трудно судить о реальном взаимодействии природных и антропогенных компонентов, которое могло бы сбалансировать влияния «Города» на рекреационную территорию.

В пределах города, где процессы преобразования природных ландшафтов протекают в целом активнее, чем вне его, сосуществуют три типичных ландшафта:

естественный ландшафт в течение некоторого времени сохраняется и используется в новом городе или его новых районах;

естественный ландшафт деградирует как природная данность и приобретает антропогенные черты, иногда неблагоприятные для человека;

в районах города формируются полностью преобразованные «искусственные» ландшафты, среди которых есть и застроенные территории, и озелененные пространства.

Все сказанное позволяет характеризовать городские ландшафты как культурные или антропогенные, подчиняющиеся общим закономерностям эволюции природы. Противопоставление городских ландшафтов природным в функциональном отношении неизбежно. Но для целей научных исследований и экологического планирования более плодотворен комплексный подход, при котором главное внимание исследователя сосредотачивается на том общем, что объединяет те и другие ландшафты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вергунов А. П.* Архитектурно-ландшафтная организация крупного города. — Л. : Стройиздат, 1982. — 134 с.: илл.
2. *Владимиров В. В., Микулина Е. М., Яргина З. Н.* Город и ландшафт. — М. : Мысль, 1986. — 238 с.: илл.

1. *Vergunov A. P.* Arkhitekturno-landshaftnaya organizatsiya krupnogo goroda. — L. : Stroyizdat, 1982. — 134 s.: ill.
2. *Vladimirov V. V., Mikulina E. M., Yargina Z. N.* Gorod i landshaft. — M. : Mysl, 1986. — 238 s.: ill.

© Прокопенко В. В., Косицына Э. С., 2012

Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Прокопенко В. В., Косицына Э. С. Система компонентов городского ландшафта // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 301—303.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 624.131.1

**А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, О. В. Киселева,
С. А. Чарыкова, И. Ю. Кузьменко**

ПРОГНОЗ ПОДТОПЛЕНИЯ ЛЕССОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ

На примере территории г. Кишинева охарактеризованы основные закономерности обводнения лессовых толщ. Предложена методика прогноза подтопления, основывающаяся на методах инженерно-геологических и вероятностных аналогий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: лессовые породы, просадочность, подтопление.

The main regularities of loess strata flooding are described in the example of Kishinev city. The method of prediction of flooding based on the methods of engineering-geological and probabilistic analogies is suggested in the article.

K e y w o r d s: loess solids, subsidence, flooding.

Проблема обводнения территорий промышленного и гражданского строительства стала привлекать к себе внимание в 1930-х годах. К этому времени относятся первые сведения о деформациях зданий и сооружений, возведенных на просадочных породах, вызванных обводнением территорий [24].

Следует отметить, что исследователям 1930—1940-х годов была свойственна переоценка роли отдельных факторов в явлении подтопления и недооценка остальных. Так, Ю. М. Абелев [1] основной причиной увеличения влажности лессовых пород считал инфильтрацию производственных вод. Другие исследователи [23] выделяли снижение испаряемости на застроенных территориях, миграцию влаги из более прогретых грунтов незастроенных территорий и др.

Первые обобщения по данному вопросу были сделаны в 1950-х годах Н. Я. Денисовым [15] и А. К. Ларионовым [23]. На основании результатов их исследований среди причин обводнения лессовых пород была выделена совокупность факторов: фильтрация из водонесущих магистралей, отсутствие испарения на застроенной территории, миграция паров воды из более теплых незастроенных зон в более холодные, уничтожение естественных дренажей и др. Важным является вывод А. К. Ларионова [23] о том, что подъем уровня подземных вод может вызывать серьезные деформации зданий и сооружений.

Увеличение объемов строительства в 1960-х годах дало новый импульс развитию учения об обводнении территорий. Процесс подтопления стал широко развиваться в южных районах Украины, Северного Кавказа и др. [5, 6, 7, 9, 35]. В связи с этим значительный вклад в проблему внесла работа В. П. Ананьева и

Г. А. Дербиняна [4], отметивших решающее значение состава отложений, подстилающих лессовую толщу, на характер развития подтопления.

Наиболее остро вопрос подтопления территорий промышленного и гражданского строительства встал в 1970-х годах. Ф. В. Котлов, анализируя доклады на научно-техническом совещании в Баку в 1971 году, указал, что самоподтопление за последние 15—20 лет захватило 70—75 % территории городов Украины, приняло региональный характер и увеличивается из года в год [17, 30, 33, 36].

Анализу развития подтопления на территории г. Ростова-на-Дону посвящены работы ряда исследователей [6, 11, 26], что дало возможность разделить все факторы, вызывающие подтопление, на две группы [11]. К аналогичным выводам пришли и Д. Г. Господинова, Е. С. Дзецкер [14], разделившие все причины обводнения территории г. Новосибирска на объективные и субъективные.

В результате изучения характера развития подтопления на территории Северного Кавказа [37] и г. Тольятти [33] было отмечено, что подтопление в отдельных случаях может вести к образованию верховодки, уровень водоносного горизонта может подниматься независимо от состава пород, подстилающих лессовую толщу.

Широкое развитие подтопления на территориях городов является следствием включения его Ф. В. Котловым [18, 19, 20] в антропогенные геологические процессы и явления.

Таким образом, к концу 1970-х годов стало очевидным, что подтопление при наличии определенных условий — процесс неизбежный. Особенно опасен он для территорий, сложенных лессовыми просадочными породами, т. к. увлажнение последних часто приводит к просадочным деформациям. В. И. Крутов [21], анализируя результаты подъема уровня подземных вод в г. Никополе, отмечает, что степень неравномерности просадки территорий от собственного веса грунта в этом случае в десятки раз меньше, чем при замачивании сверху. Однако автор не отрицает, что неравномерность просадок с подъемом уровня подземных вод будет возрастать, что может привести к резкому ухудшению условий эксплуатации зданий, на что уже ранее указывал В. П. Ананьев [5, 7]. В своей более поздней статье В. И. Крутов [22] пишет, что подъем уровня подземных вод вызывает в одних случаях просадку провального типа, в других — замедленную. Интенсивность же развития просадок определяется просадочностью нижних слоев грунта и скоростью подъема уровня подземных вод и может достигать 60...100 мм в год.

Следует отметить существенный вклад в проблему С. К. Абрамова, В. Е. Анпилова, Е. С. Дзецкера, Б. М. Дегтярева [2, 3, 12, 16], которые выделяют три наиболее характерные случая замачивания лессовых пород: а) лессовые породы подстилаются водоупором; б) лессовые породы подстилаются хорошо фильтрующими неводонасыщенными породами; в) лессовые породы подстилаются хорошо фильтрующими водонасыщенными породами. В зависимости от этого имеет место либо «скрытое», либо «явное» подтопление.

Первые сведения о подтоплении г. Кишинева встречаются у В. С. Гончарова и Ю. И. Олянского [13, 27, 28] в 1981г. Анализ режима влажности лессовых пород и его изменение в результате хозяйственного освоения территории позволил авторам выделить в черте города участки явного и скрытого

подтопления. Отмечалось, что скорость подъема уровня подземных вод составляет 0,35...1,5 м/год. Дальнейшие исследования авторов [26, 27] были направлены на изучение условий обводнения лессовых толщ и подтопления территории города и роли в этом процессе природных факторов, таких как характер подстилающих пород, глубина залегания водоупора, мощность толщи подстилающих песков и др. Полученные данные позволяли прогнозировать данный процесс в других районах республики.

Вопросам подтопления территории г. Кишинева посвящена статья С. С. Орлова [29], в которой анализируются причины повышения уровня подземных вод, указывает, что главными из них является длительное раскрытие котлованов, недоуплотнение пород обратной засыпки в пазухи котлованов и траншей и др. Приводятся данные о подъеме уровня в наиболее старой части города, застройка которой завершилась около 100 лет назад. Отмечено, что подъем уровня здесь уже завершился, общая высота подъема достигает около 3 м.

Техногенное изменение влажности лессовых пород. Исследованиями ряда авторов [3, 4, 7, 10] установлено, что влажность лессовых пород и ее изменение в процессе застройки и эксплуатации территорий обусловлены определенными факторами, которые могут быть разделены на две группы [11]. Первые включают особенности геологического строения, рельефа, гидрогеологии, вторая — факторы, связанные с инфильтрацией воды и накоплением влаги в грунтах в условиях городской застройки. Факторы второй группы неизбежно сопутствуют застройке, однако характер обводнения проявляется по-разному и зависит от природных условий района.

Изменение влажности лессовых пород в процессе застройки территории изучался на примере лессовых толщ четырех участков города Кишинева.

Участок 1 IX микрорайон Н. Боюкан расположен на водоразделе р. Бык с Дурлештским ручьем и характеризуется наличием лессовой толщи мощностью 15...10 м, представленной легкими суглинками и супесями, подстилаемой сухими песками неогена мощностью до 20 м.

Участок 2 микрорайона Ботаника — между проспектом Мира и улицей Воссоединения. Является аналогом участка 1 по геоморфологическим условиям и литологическому строению, но полностью застроенный.

Участок 3 микрорайона Будешты расположен между Рыкшанской и Будештской балками, мощность лессовой толщи, представлен легкими и средними суглинками, достигает 20...25 м. Подстилающими породами являются глины и неогена. На время изучения территория была свободна от городской застройки.

Участок 4 микрорайона Рышкановка является аналогом участка 3 по литологическому строению; застройка территории продолжается уже более 20 лет.

В пределах лессовых толщ указанных участков рассчитаны средние значения влажности для двухметровых интервалов глубин. Анализ около 700 значений влажности и их изменений по глубине (рис. 1, а, б) показывает, что влажность лессовых пород участка 1 (незастроенного) с глубиной непрерывно уменьшается, является следствием хорошей дренированности их песчаной толщей. Отдельные колебания влажности обусловлены литологическим составом отложений и наличием горизонтов ископаемых почв. Изменение влажности с глубиной соответствует первому принципу [7].

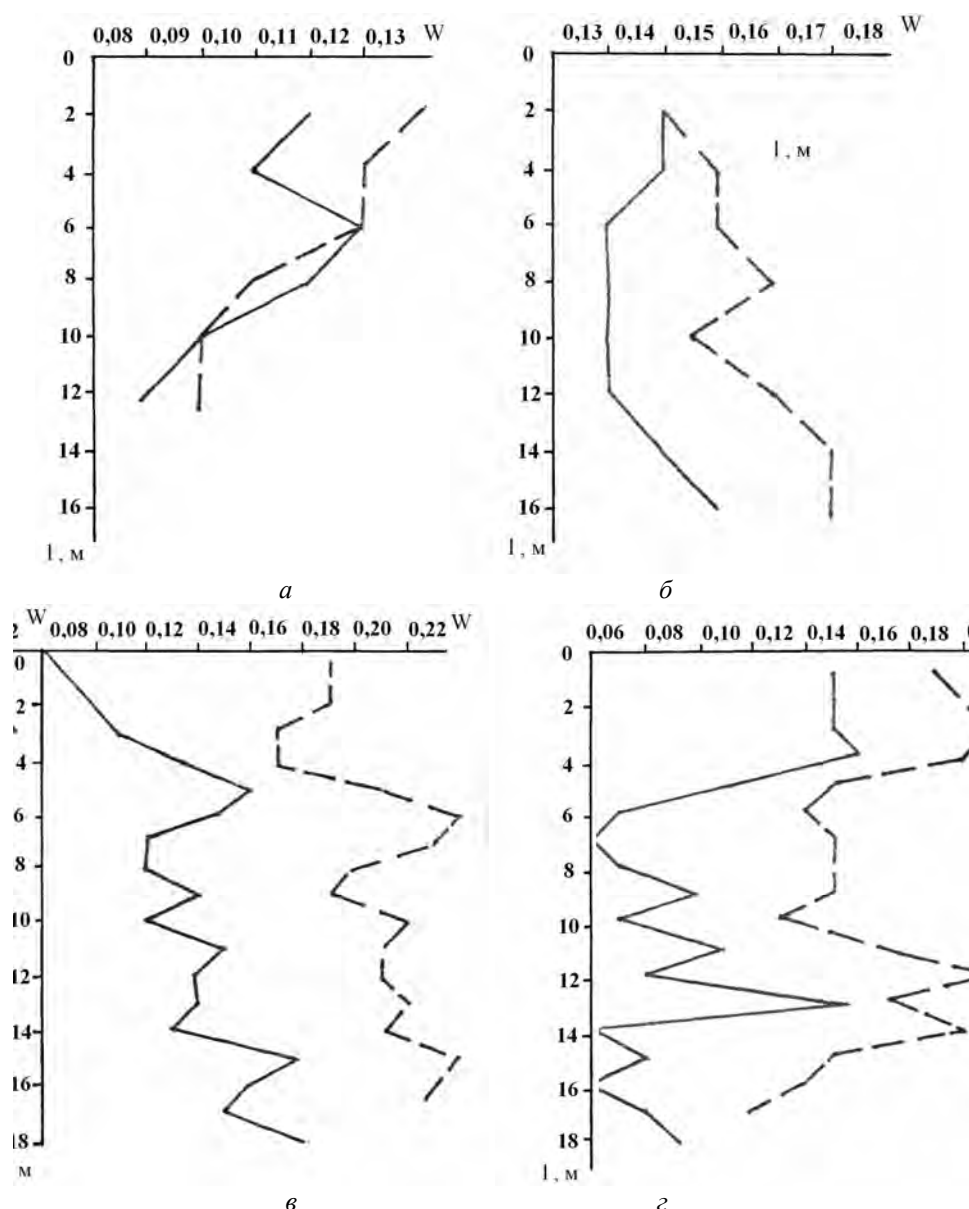


Рис. 1. Графики изменения влажности лессовых пород с глубиной: а — лессовые породы подстилаются песками; б — то же — глинами; в, г — изменение влажности лессовых пород; опытных котлованов №3 и №1; — — — — — влажность до застройки (замачивания); — — — — — влажность после застройки (замачивания)

Характер изменения влажности с глубиной для участка 2 (застроенного) аналогичен предыдущему, однако влажность верхней пятиметровой толщи на 1...2 % больше. Влажность средних и нижних горизонтов лессовой толщи практически не отличается от влажности пород на участке 1.

Обратная зависимость наблюдается для лессовых толщ участков 3 и 4, лежащих на глинах. На незастроенном участке 3 в изменении влажности с глубиной отчетливо наблюдаются три зоны: верхняя — до глубины 4...5 м,

влажность которой обусловлена сезонными колебаниями; средняя — «мертвая» зона — до 11...12 м; нижняя — повышенной влажности и капиллярного водонасыщения.

Застройка аналогичного по геологическому строению участка 4 повлекла за собой повышение на 1...3 % и изменение характера распределения влажности лессовых пород с глубиной — она стала непрерывно повышаться. В нижних слоях толщи образовался водоносный горизонт, и происходит непрерывный подъем уровня подземных вод.

Примером влияния подстилающих лессовую толщу пород на характер изменения влажности лессовых пород являются также данные по опытному замачиванию котлованов (рис. 1, в, г). Изменение влажности лессовых пород котлованов 1 и 3 до замачивания и после аналогично изображенному на рис. 1 а, б. После окончания замачивания котлована 3 (р-н Будешты) на глубине 15 м образовался купол подземных вод, водоупором которому служат глины сармата. Продолжительное же замачивание котлована 1 (р-н Н. Боюкан) не привело к появлению водоносного горизонта, что является следствием отсутствия здесь в основании лессовой толщи водоупора. Несмотря на то, что влажность по разрезу толщи увеличилась на 2...13 %, характер ее изменения с глубиной остался прежним. Приведенные данные подтверждают выводы В. П. Ананьева и Г. А. Дербиняна [4, 7] о решающей роли подстилающих лессовую толщу отложений в характере постгенетических процессов.

Тем не менее, изучение характера обводнения лессовых толщ территории города показывает, что несмотря на решающую роль подстилающих отложений, они не являются единственными, определяющими и направляющими данный процесс. Развитие обводнения обуславливается также рядом природных факторов (при условии действия факторов второй группы [11]), таких как: рельеф, геолого-литологическое строение, наличие гидрографической сети. И только в результате взаимодействия всех факторов в пределах городской застройки формируется «техногенный» [34] режим влажности лессовых пород, происходит либо «скрытое», либо «явное» подтопление.

Анализ причин деформации зданий и сооружений, связанных с обводнением лессовых пород. В настоящее время строительство на просадочных лессовых породах республики в основном осуществляется успешно. Однако нужно отметить, что в ряде случаев наблюдались отдельные, иногда значительные деформации зданий и сооружений, анализ причин которых дает возможность правильно оценивать инженерно-геологическую обстановку района застройки во избежание нежелательных процессов и явлений в основаниях сооружений.

Анализ причин деформаций зданий и сооружений на просадочных породах за последние 10...15 лет свидетельствует о том, что сам по себе региональный подъем уровня подземных вод в условиях городской застройки до сих пор не является причиной серьезных деформаций. В отдельных случаях имела место длительная неравномерная осадка высотных зданий, однако по истечении некоторого периода (1,5...2 года) эти осадки стабилизировались и не препятствовали дальнейшей эксплуатации сооружений. Значительные деформации сооружений наблюдались при местном замачивании лессовых пород основания.

Анализ причин, вызвавших деформации зданий на территории региона, позволяет разделить их на три типа: деформации, связанные с отсутствием противопросадочных мероприятий; деформации, связанные с недостаточным комплексом противопросадочных мероприятий; деформации, связанные с некачественным выполнением противопросадочных мероприятий.

Деформации, связанные с отсутствием противопросадочных мероприятий. К деформациям данного типа следует отнести деформации одноэтажных жилых домов в с. Бычок Григорьевского района и деформации здания школы № 12 в г. Кишиневе. Ни в одном из этих случаев не выполнены никакие мероприятия по снижению просадочности пород основания и предохранению их от замачивания. В результате этого неравномерная осадка имела место как в грунтовых условиях I типа по просадочности (площадка школы № 12 в г. Кишиневе), так и в грунтовых условиях II типа (с. Бычок).

Школа № 12 расположена на склоне Дурлештского ручья. Основанием здания являются лессовые породы мощностью 10 м I типа просадочности, подстилаемые глиной сармата. В 1969 году на северо-западной стене внутреннего двора появились горизонтальные и наклонные трещины с раскрытием 2...3 см. Обследование пород показало, что причиной деформации является просадка фундаментов в результате повышения влажности пород основания в среднем на 10 %, в отдельных случаях это повышение составило 18 %. Замачивание произошло в результате аварийных утечек из сетей внутреннего двора.

Жилые дома в с. Бычок расположены в Южном Приднестровье, на поверхности нижнечетвертичной террасы. Лессовая толща мощностью до 26 м. представлена в основном легкими и средними суглинками, тип грунтовых условий по просадочности — II. Начало деформации приурочено к 1977 г. В 1979 г. раскрытие отдельных трещин в стенах домов и в грунте достигло нескольких миллиметров. Основными причинами деформаций являлись непрерывные утечки из водопровода и индивидуальных питательных ям. Влажность лессовых пород достигла 0,16...0,20 при первоначальной 0,13...0,15.

В первом случае (школа № 12) просадка произошла под действием дополнительной нагрузки от здания, превысившей начальное просадочное давление пород, т. к. дополнительная нагрузка от зданий невелика и не превышает начального просадочного давления.

Деформации, связанные с недостаточным комплексом противопросадочных мероприятий, обусловлены просадкой пород основания в результате выполнения неполного объема необходимых противопросадочных мероприятий, как это имело место на площадке 5-этажного жилого дома по ул. Димитрова, где выполнены только водозащитные мероприятия, а также на площадке 9-этажного жилого дома по Московскому проспекту в г. Кишиневе и 9-этажного жилого дома по ул. Ленинградской в г. Бендеры, где в основании зданий были сохранены просадочные свойства грунтов (по II типу).

5-этажный жилой дом по ул. Димитрова в г. Кишиневе возведен в начале 1960-х годов на ленточных фундаментах. Основанием служила лессовая толща мощностью до 18 м, подстилаемая глинами неогена, тип грунтовых условий по просадочности — II. Единственным противопросадочным мероприятием, выполненным при сооружении дома, является создание вокруг него отмостки с целью предохранения грунтов основания от замачивания атмосферными водами. В 1982 г. в результате аварийных утечек из проходящих

вблизи дома инженерных сетей были замочены грунты основания, вследствие чего одно крыло здания осело. В средней части дома образовалась трещина с раскрытием до 15...20 см, дом пришел в аварийное состояние.

9-этажный жилой дом по Московскому проспекту в г. Кишиневе расположен на 17-метровой толще лессовых пород II типа по просадочности, подстилаемых глинами сармата. В результате аварийных утечек из проходящего рядом с домом водопровода уровень подземных вод поднялся на высоту около 7 м. Влажность лессовых пород в пределах замоченной зоны увеличилась на 6...10 %. Это вызвало неравномерную осадку здания, продолжавшуюся длительное время и надолго задержавшую передачу здания в эксплуатацию.

9-этажный жилой дом №16 по ул. Ленинградской в г. Бендеры расположен на среднечетвертичной террасе р. Днепр. Мощность лессовой толщи II типа по просадочности достигает 17...18 м. Жилой дом сооружен на ленточных фундаментах, в качестве противопросадочных мероприятий является создание водозащитного уплотненного экрана из лессовых пород мощностью 3,5 м. Начало деформации приурочено к июню 1979 г. Максимальная скорость осадки торцов здания составила 4 мм/нед. В отдельные периоды отношение скоростей осадки торцов достигало 7...8. Анализ состояния грунтов основания показал, что неравномерная осадка здания вызвана увлажнением, произошедшим в результате систематических утечек из проходящих рядом со зданием водонесущих магистралей. Грунты замочились на глубину до 15 метров. Уровня подземных вод не образовалось. Влажность лессовой толщи увеличилась на 2...7 %.

Деформации, связанные с некачественным выполнением противопросадочных мероприятий, обусловлены низким качеством работ по ликвидации просадочности пород и могут иметь место на лессовых толщах как I, так и II типа. Такие деформации зафиксированы только на грунтах I типа по просадочности. 9-этажный жилой дом по ул. Алешина в г. Кишиневе, даже при неполном промачивании толщи, дал значительный крен (180...200 мм). Как показало исследование, качество работ по созданию уплотненного экрана из местных лессовых пород оказалось низким. На отдельных участках толщина его составляла лишь 75 см (вместо 1,5 м), по краям отдельных секций грунт вообще не уплотнялся.

Таким образом, анализ опыта строительства на лессовых породах территории республики свидетельствует об актуальности назревшей проблемы. Особенностью проектирования и строительства зданий на просадочных породах республики в 1970-х годах и в начале 1980-х годов является преувеличение роли водозащитных мероприятий, в результате чего мощность уплотненной подушки (экрана) в ряде случаев увеличивается до 3,5 м. Однако низкое качество работ, часто имеющее место при подготовке лессовых оснований, и слабая эффективность мер по предотвращению повышения влажности грунтов основания требуют применения таких противопросадочных мероприятий, которые полностью бы исключили просадку грунтов под фундаментами. Подтверждаются выводы ряда исследователей о неэффективности водозащитных мероприятий, т. к. даже при условии хорошего их выполнения вода в основание здания может поступать со стороны окружающей их территории, как это имело место в ряде вышеописанных случаев.

Анализ факторов подтопления. Анализируя факторы, вызывающие подтопление территории г. Ростова-на-Дону, авторы [11] делят их на две группы. Сотрудники ПНИИИСа [31] предлагают близкую классификацию факторов: активные и пассивные.

Активные факторы неизбежно сопутствуют строительному освоению территории и должны вызывать подъем уровня подземных вод при любой застройке на участках с благоприятствующими этому процессу природными условиями. Однако на территории города есть участки, где процесс подтопления практически не наблюдается или проявляется с гораздо меньшей интенсивностью, что связано с действием природных (пассивных) факторов, таких как геологическое строение, геоморфология, гидрогеологические условия.

Первый, наиболее существенный фактор, предопределяющий возможность подтопления территории и характер этого процесса в лессовых породах, геологическое строение территории. При наличии в основании лессовой толщи хорошо дренирующих отложений уровень подземных вод не поднимается или его подъем незначителен по величине и непродолжителен по времени. Примером может служить участок в районе ул. Алешина (район Рышкановка), где, несмотря на интенсивное подтопление окружающей территории, в лессовых отложениях уровень подземных вод отсутствует. Причиной этому является трещиноватые рифовые известняки сормата, подстилающие лессовую толщу. Несмотря на то что территория находится в центре городской застройки, инфильтрацию в грунт большого количества воды в результате регулируемого замачивания деформированных жилых домов в течение 1979—1980 гг. здесь не образовался даже местный локальный купол подземных вод.

Еще одной территорией с хорошими условиями дренирования лессовой толщи является участок третьей террасы в районе ул. Тимирязева, где лессовая толща подстилается крупными песками и гравийно-галечными отложениями мощностью 10...12 м. Несмотря на то что участок расположен в зоне активного подтопления, здесь в пределах лессовой толщи отсутствует горизонт подземных вод, разгрузка его осуществляется на склоне Дурлештского ручья, где обнажаются гравийно-галечниковые породы.

Особенностью геологического строения территории г. Кишинева является широкое распространение мелких и пылеватых песков неогена (районы Ботаника, Боюканы) и среднечетвертичного возраста (центр), подстилающих лессовую толщу. Мощность этих отложений местами превышает 15 м. Сами по себе эти породы не исключают возможности обводнения вышележащих лессовых пород, но предопределяют характер этого процесса. В определенных условиях (когда пески подстилаются рифовыми известняками регионального дренирующего горизонта) они являются хорошим дренажем, подъема уровня не происходит, как это имеет место на поверхности второй террасы в центре города (площадки Госбанка, гостиницы «Турист», 2-й горбольницы, института «МолдГИИНТИЗ»). В остальных случаях они оказывают определенное влияние на характер обводнения.

В качестве примера рассмотрим развитие процесса на примере двух районов: Рышкановка и Ботаника.

Район Рышкановка расположен на северной окраине города и занимает территорию водораздела между двумя балками — Гульбочихи и Рышканской. Ширина водораздела в среднем 1,5 км. Лессовый покров имеет макси-

мальную мощность в средней части водораздела и достигает 20...25 м, по направлению склонов уменьшается и в нижней части он полностью отсутствует. В литологическом отношении это преимущественно легкие и средние суглинки. Лессовые породы почти повсеместно подстилаются глинами неогена, являющимися региональным водоупором.

По данным геологической съемки, выполненной в 1950 г., и материалам инженерно-геологических изысканий за 1960—1970 гг., подземные воды до застройки территории на кровле глин отсутствовали. Водоносный горизонт был расположен только в южной части территории, в толще аллювиальных песков второй террасы р. Бык на глубине 5...10 м. Застройка территории началась в конце 1960-х годов. В первую очередь был застроен восточный склон водораздела в южной части участка. В начале 1970-х годов строительство расширилось за счет западного склона водораздела.

Район Ботаника расположен в правобережной части города на склоне водораздела между р. Бык и Ишновец, ограничен балками Б. Малина и Бачойская.

Особенностью геологического строения района является наличие лессовой толщи переменной мощности. Максимальная ее мощность достигает 20...25 м и приурочена к верхней части склона в районе улицы Воссоединения. К северо-востоку (вниз по склону) и юго-западу (вверх по склону) мощность уменьшается до 5...10 м. Лессовые отложения представлены легкими суглинками и супесями, подстилаются мелкими и пылеватыми песками неогена, максимальная мощность которых в районе водораздела достигает 10...18 м и уменьшается вниз по склону до 4...6 м. На отдельных участках, примыкающих к ул. Старого, толща песков полностью выклинивается. Под песками залегают глины верхнего сармата, являющиеся региональным водоупором. Глубина залегания водоупора изменяется с юго-запада (водораздела) на северо-восток (нижняя часть склона) от 25...35 м и до 4...5 м. До начала застройки подземные воды в пределах лессовой толщи отсутствовали. В большинстве случаев водоносный горизонт располагался в глинах неогена.

В первом случае (район Рышкановка), когда лессовая толща подстилается глинами, застройка привела к образованию регионального купола подземных вод, причем максимальная высота подъема уровня приурочена к центру застроенной территории (рис. 4). Скорость подъема уровня достигает здесь 0,6...1,0 м/год. По направлению фильтрации подземных вод к областям их разгрузки высота и скорость подъема уровней уменьшается до 0. Кроме того, интенсивные утечки их водонесущих сетей и резервуаров вызывают образование в этом месте локального купола подземных вод, как это имело место в непосредственной близости от здания «Готовая одежда» на Московском проспекте, построенного в 1975 г. Здесь на протяжении около 8 лет из неисправного магистрального водопровода происходила фильтрация воды, в результате чего образовался локальный купол, высота подъема уровня составила около 14 м, средняя скорость подъема 1,7 м/год.

Другой район — Ботаника (лессовая толща подстилается песком). Застройка средней и верхней части склона также привела к образованию регионального купола, однако центральная часть купола оказалась смещенной вниз по склону по направлению падения слоя песков и даже вышла за границы застроенного участка (рис. 2). Средняя скорость подъема уровня подземных

вод в центре купола составила 0,5...0,6 м/год. Несмотря на то что в районе существует старый со значительными неисправностями водопровод, утечки из него не вызывают образования локальных куполов. Поднятие уровня подземных вод в нижней части склона существенно затруднило инфильтрацию воды к области разгрузки, что также послужило причиной более активного подтопления вышележащей по склону территории. Аналогичным образом подтопление осуществляется и в третьем районе — Боюканы, являющимся аналогом района Ботаника по геологическому строению, однако подтопление осложняется здесь подпором воды Комсомольского озера, уровень которого был поднят на 6...7 м (рис. 2). Максимальная высота подъема уровня подземных вод за период 1950-1981 гг. составила здесь 14...15 м. Образовавшийся региональный купол также смещен вниз по склону. Незатронута подтоплением только самая верхняя часть склона, где мощность подстилающих песков превышает 10...15 м.

Существенное влияние на подтопление оказывает *геоморфология*. Особенностью геоморфологического строения территории является наличие небольших плоских или овальной формы водоразделов с хорошими условиями поверхностного стока. Природными дренами являются многочисленные балки и овраги, способствующие, с одной стороны, сбору и отводу поверхностных вод с застроенных территорий, с другой — являющиеся природным дренажем подземных вод. Эти врезы оказывают значительное влияние на форму поверхности водных куполов, с приближением к области разгрузки поверхность водоносного горизонта принимает форму полого падающей кривой с крутизной, соответствующей фильтрационной способности пород и уклону водоупора.

В связи с этим сочетание геоморфологического строения с определенным литологическим составом пород зоны аэрации может либо полностью препятствовать подтоплению, либо ослабить его интенсивность. Примером этому являются участки, примыкающие к существующей эрозионной сети.

Территория водораздела между балкой Б. Малина и Дурлештским ручьем также является районом антропогенного обводнения. Здесь выделяется один большой купол, в центральной части которого лессовая толща прорезается балкой Б. Малина, в результате чего происходит разгрузка водоносного горизонта. По дну балки протекает ручей, которого здесь еще 15...20 лет назад не было. Однако центральная часть регионального купола смещена к юго-восточному склону водораздела вследствие того, что в этой части территории в основании лессовой толщи практически отсутствует дренирующая толща песков. Северо-западный склон водораздела является практически не подтопленным, что обуславливается хорошими условиями дренирования: наличием глубокого вреза долины Дурлештского ручья и мощной — до 10...15 м толщи песков.

Аналогичным примером может служить район Рышкановка. Несмотря на хорошие условия поверхностного стока и близость двух мощных природных дренажей, балок Гульбочиха и Рышканская, вся территория испытывает «техногенное» поднятие уровня подземных вод, однако интенсивность его уменьшается по направлению к склонам балок и только в области разгрузки составляет 0 м.

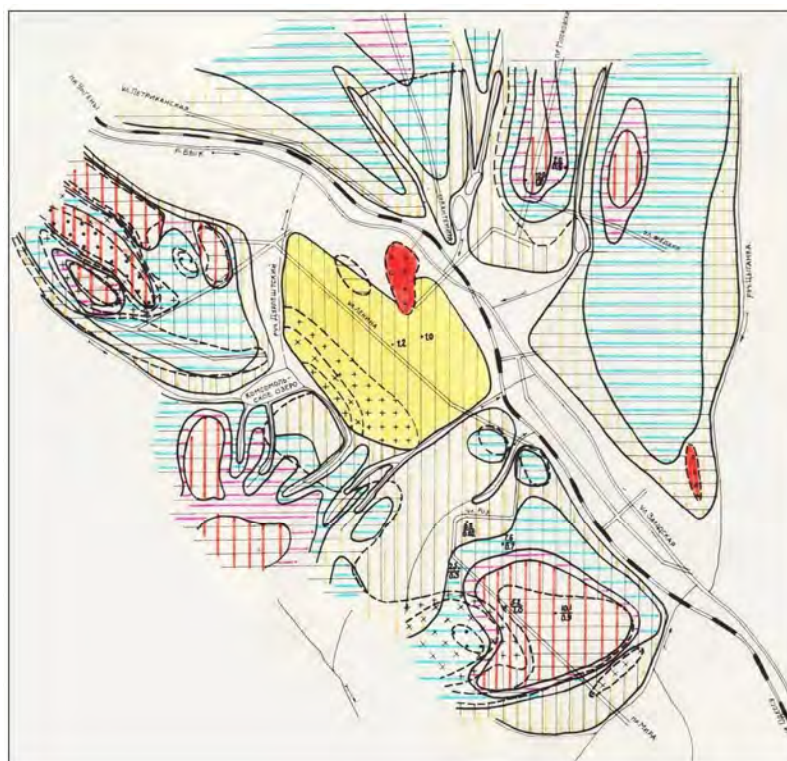
Подтверждением вышесказанному служат данные, приведенные в табл. 1, иллюстрирующие выявленную закономерность для района Ботаника. С увеличением расстояния до фронта разгрузки подземных вод с 0,5 до 2,6 км, высота подъема уровня увеличилась соответственно с 2,5 до 13,5 м.

Т а б л и ц а 1

*Интенсивность подтопления территории
в зависимости от расстояния до фронта разгрузки подземных вод*

№ п/п	Местоположение площадки	Расстояние до фронта разгрузки	Высота подъема уровня на 1980—1981 гг.	Средняя скорость подъема уровня, м/год	Мощность толщи подстилающих песков, м
1	Пр. Мира, № 8	0,5	2,5	0,3	3,0
2	Ул. Тимошенко, ПТУ	1,0	7,0	0,5	6,0
3	Ул. Винницкая, № 30	2,0	10,1	0,9	3,0
4	Пересечение улиц Ровенской и Закарпатской	1,7	12,5	1,0	6,0
5	Пересечение улиц Бельского и Белградской	2,6	13,9	1,1	0,5

**Схематическая прогнозная карта подтопления территорий
г. Кишинева, М 1:25 000**



Условные обозначения

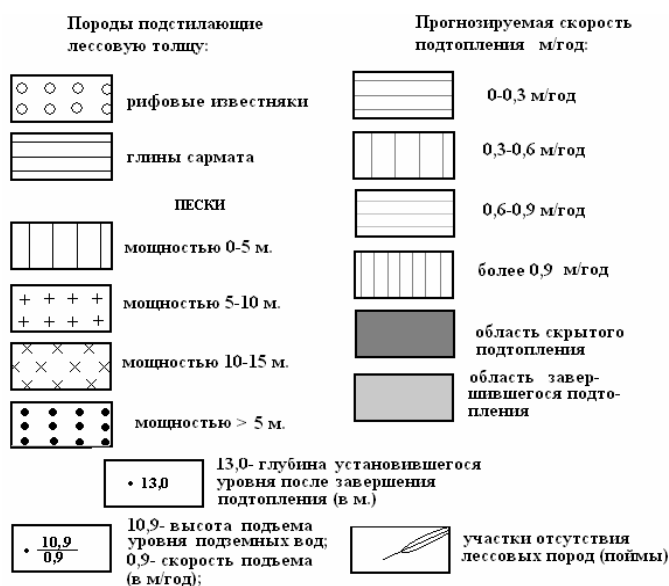


Рис. 2. Схематическая карта подтопления территории г. Кишинева

В связи с этим, интересным является соотношение между мощностью подстилающих лессовую толщу песков, расстоянием до фронта разгрузки водоносного горизонта и скорость подтопления. В примере из табл. 1 эта мощность не превышает 6,0 м, вследствие чего пески не обеспечивают в достаточной степени условия дренирования территории. При увеличении их мощности до 12...15 м условия дренирования улучшаются и скорость подтопления значительно понижается, как это имеет место на площадке жилого дома № 18 по ул. Роз в районе Ботаника. 12-метровая лессовая толща подстилается здесь мелкими песками мощностью около 12 м. Расстояние до области разгрузки — балки Б. Малина — около 0,5 км. В аналогичных условиях по длине пути фильтрации находится и площадка жилого дома № 8 по пр. Мира, но толща подстилающих песков составляет здесь 3 м, в соответствии с этим находится и скорость подтопления: в первом случае — около 0,05 м/год, во втором — 0,3 м/год.

Важным моментом в характере развития процессов подтопления является скорость подъема и глубина установившегося уровня после завершения подтопления.

В табл. 2 приведены сведения о скоростях подтопления территории в зависимости от глубины залегания уровня подземных вод на определенные периоды времени.

Приведенные данные подтверждают выводы некоторых авторов о том, что по мере подъема уровня подземных вод, вследствие увеличивающихся испарений, транспирации и разгрузки в дренажи, происходит снижение скорости подъема до относительной стабилизации уровня, изменение которого обуславливается только сезонными колебаниями. Если при глубине залегания уровня более 10 м скорость подъема на водоразделах достигает

1,0...1,5 м/год, то при меньших глубинах она не превышает 0,5...0,8 м/год, снижаясь по мере подъема до 0,2 м/год.

Анализ развития подтопления на территории г. Кишинева показывает, что глубина установившегося уровня после завершения подтопления находится в тесной связи с литологическим составом пород зоны аэрации, глубиной залегания водоупора и дренированностью территории, при глубине его залегания менее 5...8 м территория подтапливается до глубины 1...3 м, несмотря на близость дренажных систем, как это наблюдается в центральной части города и в районе Ботаники. Здесь, в средней части склона, грунтовый поток барражируется водоупорными глинами неогена, вследствие этого глубина до зеркала подземных вод составляет 1,2...2,0 м. При более глубоком залегании водоупора проявляется действие других факторов, таких как близость фронта разгрузки водоносного горизонта и литологический состав пород зоны аэрации.

Интересны в связи с этим *гидрогеологические условия* центральной части города с завершившимся подтоплением. Минимальная глубина установившегося уровня юго-западного склона купола составляет 8...18 м в центральной части, максимальная — на склонах, что является следствием хорошей дренированности лессовой толщи подстилающим песком мощностью 10...12 м и склонов Дурлештского ручья.

Т а б л и ц а 2

Скорость подтопления территорий г. Кишинева

№ пп	Местоположение площад- ки	Интервалы колебания уровней и скорость подъема			
		Интервал подъема, м	Скорость, м/год	Интервал подъема, м	Скорость, м/год
1	Пересечение улиц Бель- ского и Винницкой	13,5...5,5	1,0	5,5...3,4	0,8
2	Пересечение улиц Чер- нышевского и Энгельса	16,0...15,5	0,5	15,5...14,0	0,3
3	Пересечение улиц Бель- ского и Бельградской	18,5...7,0	1,6	7,0...4,6	0,5
4	Школа № 45 в районе Рышкановка	16,0...15,0	0,9	15,0...8,5	0,4
5	Ул. Панфилова, № 9-а	7,2...2,4	0,4	4,0...2,7	0,2
6	Пересечение улицы Ти- мошенко и пр. Мира	9,7...8,2	1,5	8,2...5,6	0,5

Таким образом, в начальный период развития подтопления минимальная глубина залегания уровня приурочена к вершине купола, с развитием подтопления и расширением купола происходит подтопление территории на его склонах, интенсивность которого обуславливается составом пород зоны аэрации и близостью области дренирования водоносного горизонта. Если в зоне аэрации развиты только лессовые породы, близость зоны дренирования не существенно сказывается на глубине установившегося уровня, она стремится к глубине залегания подземных вод в вершине купола. Если же в основании лессовой толщи лежат мелкие и пылеватые пески, то глубина установившегося уровня на склонах купола определяется мощностью толщи песка и

расстоянием до фронта разгрузки и, как правило, значительно отличается от глубины в центре купола.

Анализ природных факторов, вызывающих подтопление территории города и обуславливающих его характер, свидетельствует, что главными из них являются: мощность лессовой толщи, литологический состав подстилающих лессовую толщу отложений, мощность толщи подстилающих песков, расстояние до фронта разгрузки грунтового потока, уклон поверхности между подтапливаемой площадкой и ближайшим эрозионным врезом, дренирующим поверхностные воды. Для подтверждения полученных выводов и определения степени влияния этих показателей на прогнозируемый процесс все они разделены на три группы: геоморфологические, геолого-гидрогеологические и гидрогеологические.

В соответствии с первой теоремой физического подобия [32] у таких явлений безразмерные комплексы (комбинации) величин, отражающие связи между существенными характеристиками явления, соответственно равны. Принимая условие, что подтопление различных территорий города выражает подобные явления, можно определить весовые коэффициенты участия различных показателей природных характеристик в данном процессе. Каждой группе признаков соответствует определенный инженерно-геологический критерий.

Геоморфологический критерий, отражающий геоморфологическое строение района, принимается соответствующим среднему уклону поверхности между подтапливаемой площадкой и ближайшим эрозийным врезом, дренирующим поверхностные воды.

Геолого-гидрогеологический критерий, отражающий литологическое строение зоны аэрации и длину пути фильтрации подземных вод, принимается соответствующий выражению

$$\frac{N_{\text{л}} + N_{\text{п}}}{\ell_{\text{ф}}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{л}}$ — мощность лессовой толщи; $N_{\text{п}}$ — мощность толщи подстилающих песков; $\ell_{\text{ф}}$ — длина пути фильтрации подземных вод до фронта разгрузки.

Гидрогеологический критерий, определяющий высоту подъема ($h_{\text{п}}$) подтопленного уровня на определенный период и расстояние до фронта разгрузки подземных вод ($\ell_{\text{ф}}$), принимается соответствующий выражению

$$\frac{h_{\text{п}}}{\ell_{\text{ф}}}. \quad (2)$$

Результаты расчетов весовых коэффициентов, приведенные в табл. 3, показывают, что все указанные факторы оказывают влияние на подтопление, однако вклад их различен. Решающее значение имеют гидрогеологические факторы, доля вклада других факторов значительно меньше. Тем не менее, для получения объективных сведений о развитии процесса все они должны учитываться в равной степени.

Т а б л и ц а 3

Весовые коэффициенты влияния различных природных факторов на скорость подтопления территории г. Кишинева

Средняя скорость подъема уровня подземных вод (м/год)	Природные факторы		
	Геоморфологические	Геолого- гидрогеологические	Гидрогеологические
0,0...0,2	0,001	0,003	0,996
0,2...0,4	0,271	0,580	0,149
0,4...0,6	0,004	0,133	0,863
Более 0,6	0,107	0,146	0,747
Среднее	0,096	0,216	0,688

В заключение следует отметить, что в результате хозяйственного освоения территорий распространения лессовых пород в г. Кишинева повсеместно развивается подтопление. В одних районах это «скрытое» подтопление без подъема уровня подземных вод, в других — «явное» подтопление, активно происходящее в настоящее время или только начинающееся, в третьих — это уже завершившееся подтопление с установившимся режимом подземных вод. Таким образом, подтверждается вывод [8,10] о том, что по своей интенсивности и характеру проявления процесс подтопления может быть весьма разнообразен, но он всегда имеет место.

Прогноз подтопления лессовых толщ территории г. Кишинева. Существует несколько методов прогноза, таких как гидродинамический, математического моделирования на ЭВМ и метод инженерно-геологических аналогий.

Первые два метода, наряду с преимуществами, имеют ряд существенных недостатков, к которым следует отнести необходимость определения утечек производственно-хозяйственных вод и образование других источников обводнения, детальное изучение фильтрационных свойств пород и др. Эти работы требуют больших материальных затрат, что значительно сдерживает решение проблемы, особенно в городских условиях, когда территория застраивается зданиями и сооружениями различной ведомственной принадлежности.

В связи с вышесказанным, в настоящее время для решения вопроса прогноза подтопления широко используется метод инженерно-геологических аналогий, в основу которого положены глубокие знания природных условий застраиваемых территорий и изменение их под влиянием инженерной деятельности. Особое значение имеет прогнозирование подтопления на территориях г. Кишинева и республики, расположенных в шести-, восьмибалльной сейсмической зоне.

Прогноз подтопления лессовых территорий заключается в решении трех задач:

1. Определение вида подтопления («скрытое» или «явное»);
2. Определение средней скорости подъема уровня подземных вод;
3. Определение глубины залегания подтопленного уровня.

Решающим фактором при определении вида подтопления имеет место. «Скрытое» подтопление имеет место на участке с очень хорошими условиями дренирования, когда в основании лессовой толщи лежит региональный

дренирующий горизонт (для территории г. Кишинева это известняки среднего сармата), либо гравийно-галечниковые породы и крупные пески, обеспечивающие хорошие условия фильтрации подземных вод областям разгрузки. Во всех остальных случаях застройка территории и неизбежное проявление активных факторов вызывает явное подтопление — подъем уровня подземных вод, скорость и высота которого обусловлены геолого-геоморфологическими и гидрогеологическими условиями.

Определение возможной средней скорости подъема уровня подземных вод может производиться с использованием вероятностно-математического метода, в основе которого лежит теорема Байеса, заключающаяся в следующем. Пусть $A_1, A_2, \dots, A_J$ — попарно несовместимые события, хотя бы одно из которых обязательно наступает, B_i — некоторые события. Тогда вероятность реализации события A_J при условии, что наступит событие B_i , выражается формулой

$$P(A_J/B_i) = \frac{P(A_J) \prod_{i=1}^n P(B_i/A_J)}{\sum_{J=1}^m P(A_J) \prod_{i=1}^n P(B_i/A_J)}, \quad (3)$$

где $P(A_J/B_i)$ — условная вероятность события A_J при фактическом наступлении события B_i ; $P(B_i/A_J)$ — вероятность реализации события B_i при данном A_J ; $P(A_J)$ — априорная вероятность наступления события A_J .

В качестве основных признаков используются следующие: мощность лессовой толщи и подстилающих песков, средний уклон поверхности между площадкой прогнозируемого подтопления и областью дренирования поверхности вод, расстояние до области разгрузки грунтового потока.

По интенсивности возможного подтопления участки делятся на 4 вида: слабоподтопляемые — средняя скорость подъема уровня подземных вод 0...0,3 м/год; среднеподтопляемые — 0,3...0,6 м/год; сильно подтопляемые — 0,6...0,9 м/год; очень сильно подтопляемые > 0,9 м/год. Эмпирические оценки вероятностей факторов для участков различной степени подтопления приведены в табл. 4.

Определение глубины подтопленного уровня — одна из сложнейших задач прогнозирования. Ввиду того, что на территории города известен только один сравнительно небольшой участок с завершившимся процессом подтопления, использование вероятностно-статистического метода для решения этой задачи не представляется возможным. При определении этой величины можно руководствоваться следующими положениями, основанными на глубоком и всестороннем изучении характера развития процесса на территории города:

для участков, в пределах которых в зоне аэрации распространены только лессовые породы или лессовые толщи подстилаются пылеватым песком мощностью не менее 6...8 м, подтопление центральной части территории осуществляется до глубины 1...2 м, в области же разгрузки грунтового потока глубина залегания подтопленного уровня находится в соответствии с отметкой в области дренирования;

для участков, в пределах которых лессовые породы подстилаются мелкими и пылеватыми песками мощностью более 15 м, глубина подтопленного уровня не превышает отметки кровли песков;

для участков с мощностью толщи подстилающих песков 8...15 м глубина установившегося уровня находится в зависимости от геоморфологических условий и близости области разгрузки грунтового потока и, как правило, превышает глубину 3...4 м.

Указанная методика прогнозирования использована для составления «Схематической прогнозной карты подтопления территории г. Кишинева» в масштабе 1:25000 (рис. 2).

Т а б л и ц а 4

Эмпирические оценки вероятностей прогнозных факторов

Прогнозные факторы	Степень подтопления			
	Слабо подтопляемые	Средне подтопляемые	Сильно подтопляемые	Очень сильно подтопляемые
Уклоны поверхности				
0...0,03	0,068	0,034	0	0
0,03...0,06	0,173	0,208	0,034	0,103
0,06...0,09	0,035	0,070	0,034	0,139
более 0,09	0,068	0	0	0,034
Расстояние до области разгрузки подземных вод, км				
0...0,5	0,312	0,172	0	0
0,5...1,0	0,034	0,070	0,068	0
1,0...1,5	0	0,069	0,034	0,173
более 1,5	0	0	0	0,068
Мощность лессовой толщи, м				
0...5	0,034	0,034	0	0
5...10	0,103	0,069	0	0,069
10...15	0,174	0,070	0,069	0,069
15...20	0,034	0,069	0	0,108
более 20	0	0,069	0	0,069
Литологический состав подстилающих пород:				
глина и песок мощностью, м	0,069	0,103	0,172	0,138
0...5	0,034	0,107	0	0,034
5...10	0,108	0,034	0	0
10...15	0,312	0,172	0	0

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абелев Ю. М.* Основы проектирования и строительства на макропористых грунтах. — М. : Стройиздат, 1948. — 203 с.
2. *Абрамов С. К., Дегтярев Б. М.* Дренажи в системе инженерного оборудования городов и их эффективность // Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы градостроительства. — М. : Московский отдел гидрометеороиздата, 1974. — С. 187—190.
3. *Абрамов С. К., Дегтярев Б. М., Дзецкер Е. С., Донской Г. В., Муфташев А. Ж.* Прогноз и предотвращение подтопления грунтовыми водами при строительстве. — М. : Стройиздат, 1978. — С. 4—19.

4. *Ананьев В. П., Дербинян Г. А.* О влиянии подстилающего слоя на свойства лессовых пород // Проблемы инженерной геологии Северного Кавказа. Вып. 2. — Ставрополь, 1969. С. 50—55.
5. *Ананьев В. П., Журнаджи В. А.* О влиянии режима увлажнения на просадочные свойства оснований зданий и сооружений // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1963. № 8. — С. 148—152.
6. *Ананьев В. П.* Грунтовая вода в лессовой толще г. Ростова-на-Дону // Материалы к совещанию по изучению условий самоподтопления застроенных территорий. — Киев, 1970.
7. *Ананьев В. П.* Режим влажности и прочность лессовых грунтов в основаниях зданий и сооружений // Известия высших учебных заведений. Серия «Геология и разведка». 1969. № 10. — С. 123—126.
8. *Ананьев В. П.* К вопросу подтопления застраиваемых территорий: Пректирование и строительство зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах. Т. 1. Лессовые породы и методы их исследования: тезисы докладов к республиканской науч.-практич. конф. — Барнаул, 1980. — С. 9—13.
9. *Ананьев В. П.* Минералогический состав и свойства лессовых пород. — Ростов н/Д : Изд. РГУ, 1964. — 143 с.
10. *Ананьев В. П.* Самоподтопление территории городов, расположенных на лессовых грунтах // Инженерно-геологические проблемы градостроительства. — М., 1971. — С. 105—106.
11. *Ананьев В. П., Воляник Н. В., Передельский Л. В., Тиханова З. И.* Обводнение лессовых толщ в процессе промышленного и гражданского строительства // Материалы Всесоюзной конференции «Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды». — Л., 1976. — С. 75—79.
12. *Антилов В. Е.* Формирование и прогноз режима грунтовых вод на застраиваемых территориях. — М. : Недра, 1976. — 180 с.
13. *Гончаров В. С.* К вопросу прочности грунтов лессовых оснований в связи с явлениями подтопления в Кишиневе // Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на просадочных грунтах: тезисы докладов республиканского совещания 26—27 мая 1981 г. — Кишинев, 1981. — С. 12—14.
14. *Господинов Д. Г., Дзецкер Е. С.* Процесс подтопления городской застройки грунтовыми водами и его неблагоприятные последствия // Проектирование и строительство зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах: тезисы докладов к республиканской научно-практической конференции. — Барнаул, 1980. — С. 90—98.
15. *Денисов Н. Я.* Строительные свойства лесса и лессовидных суглинков. — М. : Гослиттехиздат по стр. и арх., 1953. — 154 с.
16. *Дзецкер Е. С.* Особенности формирования режима питания грунтовых вод на застроенных территориях // Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы градостроительства: доклады к Всесоюзной межведомственной конференции. — М. : Моск. отд. Гидрометеоиздата, 1974. — С. 60—65.
17. *Додин В. В., Мунтян Г. Н.* Процессы образования водоносного горизонта в лессовых грунтах в районах городской застройки // Инженерно-геологические проблемы градостроительства: материалы науч.-техн. совещания в г. Баку. — М. : Изд. МГУ, 1971. С. 112—114.
18. *Котлов Ф. В.* Антропогенные геологические процессы и явления на территории города. — М. : Наука, 1977. — 171 с.
19. *Котлов Ф. В.* Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. — М. : Недра, 1976. — 263 с.
20. *Котлов Ф. В.* Инженерно-геологическое обоснование строительства в городах // Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы градостроительства: доклады на Всесоюзной межведомственной конференции. — М. : Моск. отд. гидрометеоиздата, 1974. — С. 13—35.
21. *Крутов В. И.* Влияние подъема уровня грунтовых вод на просадку городских территорий // Инженерно-геологические проблемы градостроительства: материалы научно-технического совещания в Баку. — М. : Изд. МГУ, 1971. — С. 105—106.
22. *Крутов В. И.* Особенности развития просадок лессовых грунтов при подъеме уровня грунтовых вод // Труды межвузовской конференции по строительству на лессовых грунтах: тезисы докладов. — М. : Изд. МГУ, 1973. — С. 59—60.
23. *Ларионов А. К., Приклонский В. А., Ананьев В. П.* Лессовые породы СССР и их строительные свойства. — М. : Госгеолтехиздат, 1959. — 367 с.

24. Мавлянов Г. А., Пулатов К. П. Методы изучения просадочности лессовых пород с целью ирригационного освоения целинных земель. Ташкент : Фан, 1975. — 79 с.
25. Меркулова К. А. Изменение гидрогеологических условий Ростова-на-Дону под влиянием хозяйственной деятельности человека // Вопросы исследования лессовых грунтов, оснований и фундаментов: межвузовский сборник. — Ростов н/Д : Изд-во РГУ, 1978. — С. 51—56.
26. Олянский Ю. И. К вопросу обновления лессовых грунтов территории междуречья Прут-Днестр // Вопросы исследования лессовых грунтов и методов возведения фундаментов на них. — Ростов н/Д: Изд. РИСИ, 1985. — С. 86—93.
27. Олянский Ю. И., Гончаров В. С. Влияние пассивных факторов подтопления на подъем уровня грунтовых вод на территории г. Кишинева: сб. ВИНТИ. 1983. №6.
28. Олянский Ю. И., Гончаров В. С. Техногенное изменение влажности в лессовых грунтах города Кишинева // Подготовка оснований зданий и сооружений, строящихся на просадочных грунтах: тезисы докладов республиканского совещания 26—27 мая 1981 в г. Кишинева. 1982. — С. 26—28.
29. Орлов С. С. Основные причины затопления территории Кишинева и способы борьбы с ним // Физико-географические особенности Молдавии. — Кишинев: Штиинца, 1982. — С. 65—70.
30. Резник Я. М. Анализ причин повышения уровня грунтовых вод на территории нового жилого района Одессы // Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: материалы УШ Всесоюзного совещания. — Киев : Будивельник, 1974. С. 74—75.
31. Рекомендации по прогнозам подтопления промышленных площадок грунтовыми водами. — М. : ВНИИ ВОДГЕО, 1976. — 325 с.
32. Розовский Л. Б., Зелинский И. П. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. — Одесса, 1975. — 115 с.
33. Рычагова М. А. Влияние урбанизации на режим влажности лессовых пород (на примере г. Тольятти) // Инженерная деятельность человека и геологическая среда: матер. Всесоюзной межведомственной конф. — М. : Изд. МГУ, 1976. С. 117—121.
34. Рященко Г. И., Смоляга В. К., Сидоренко В. И., Соловьев Л. О. Техногенные изменения влажности лессовых грунтов в г. Харьков // Инженерная деятельность человека и геологическая среда: материалы Всесоюзной межведомственной конференции. — М. : Изд. МГУ, 1976. — С. 117—121.
35. Сафарян А. И. Деформация зданий и сооружений на территории г. Тбилиси // Сборник трудов совещания по строительству на лессовых грунтах. — Днепропетровск — Киев, 1960. — С. 81—84.
36. Смирнов Р. А., Богданов В. И. Гидрогеологические проблемы жилищно-гражданского и промышленного строительства в связи с закреплением и уплотнением грунтов // Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: материалы VIII Всесоюзного совещания. — Киев : Будивельник, 1974. — С. 68—73.
37. Штильберг Ю. И. О формировании верховодки в лессовых породах при орешении // Проблемы инженерной геологии Северного Кавказа. Вып. 2. — Ставрополь, 1969. — С. 125—128.
1. Abelev Yu. M. Osnovy proyektirovaniya i stroitelstva na makroporistykh gruntakh. — М. : Stroyizdat, 1948. — 203 s.
2. Abramov S. K., Degtyarev B. M. Drenazhi v sisteme inzhenernogo oborudovaniya gorodov i ikh effektivnost // Inzhenerno-geologicheskiye i gidrogeologicheskiye problemy gradostroitelstva. — М. : Moskovskiy otдел gidrometeoizdata, 1974. — С. 187—190.
3. Abramov S. K., Degtyaryov B. M., Dzetsker E. S., Donskoy G. V., Muftashev A. Zh. Prognoz i predotvrashcheniye podtopleniya gruntovymi vodami pri stroitelstve. — М. : Stroyizdat, 1978. — С. 4—19.
4. Ananov V. P., Derbinyan G. A. O vliyani podstilayushchego sloya na svoystvakh lessovykh porod // Problemy inzhenernoy geologii Severnogo Kavkaza. Vyp. 2. — Stavropol, 1969. — С. 50—55.
5. Ananov V. P., Zurnadzh V. A. O vliyaniyakh rezhima uvlazhneniya na prosadochnye svoystva osnovaniy zdaniy i sooruzheniy // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo i arkhitektura. 1963. № 8. — С. 148—152.
6. Ananov V. P. Gruntovaya voda v lessovoy tolshche g. Rostova-na-Donu // Materialy k soveshchaniyu po izucheniyu usloviy samopodtopleniya zastroennykh territoriy. — Kiev, 1970.

7. *Anan'ev V. P.* Rezhim vlazhnosti i prochnost lessovykh gruntov v osnovaniyakh zdaniy i sooruzheniy // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya «Geologiya i razvedka»*. 1969. № 10. — S. 123—126.
8. *Anan'ev V. P.* K voprosu podtopleniya zastraivaemykh territorii: Prektirovaniye i stroitelstvo zdaniy i sooruzheniy na lessovykh prosadochnykh gruntakh. T. 1. Lessovye porody i metody ikh issledovaniya: tezisy dokladov k respublikanskoj nauch.-praktich. konf. — Barnaul, 1980. — S. 9—13.
9. *Anan'ev V. P.* Mineralogicheskij sostav i svoystva lessovykh porod. — Rostov n/D : Izd. RGU, 1964. — 143 s.
10. *Anan'ev V. P.* Samopodtopleniye territorii gorodov, raspolozhennykh na lessovykh gruntakh // *Inzhenerno-geologicheskiye problemy gradostroitelstva*. — M., 1971. — S. 105—106.
11. *Anan'ev V. P., Volynik N. V., Peredelskiy L. V., Tikhonova Z. I.* Obvodneniye lessovykh tolshch v protsesse promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva // *Materialy Vsesoyuznoy konferentsii «Problemy inzhenernoi geologii v svyazi s ratsionalnym ispolzovaniyem geologicheskoi sredy»*. — L., 1976. — S. 75—79.
12. *Anpilov V. E.* Formirovaniye i prognoz rezhima gruntovykh vod na zastraivaemykh territoriyakh. — M. : Nedra, 1976. — 180 s.
13. *Goncharov V. S.* K voprosu prochnosti gruntov lessovykh osnovaniy v svyazi s yavleniyami podtopleniya v Kishineve // *Podgotovka osnovaniy zdaniy i sooruzheniy, stroyashchikhsya na prosadochnykh gruntakh: tezisy dokladov respublikanskogo soveshchaniya 26—27 maya 1981 g.* — Kishinev, 1981. — S. 12—14.
14. *Gospodinov D. G., Dzetsker E. S.* Protess podtopleniya gorodskoy zastroyki gruntovymi vodami i ego neblagopriyatnye posledstviya // *Proektirovanie i stroitelstvo zdaniy i sooruzheniy na lessovykh prosadochnykh gruntakh: tezisy dokladov k respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii*. — Barnaul, 1980. — S. 90—98.
15. *Denisov N. Ya.* Stroitelnye svoystva lessa i lessovidnykh suglinkov. — M. : Goslittekhizdat po str. i arkh., 1953. — 154 s.
16. *Dzetsker E. S.* Osobennosti formirovaniya rezhima pitaniya gruntovykh vod na zastroyennykh territoriyakh // *Inzhenerno-geologicheskiye i gidrogeologicheskiye problemy gradostroitelstva: doklady k Vsesoyuznoy mezhdvumstvennoy konferentsii*. — M. : Mosk. otd. Gidrometeoizdata, 1974. — S. 60—65.
17. *Dodin V. V., Muntyan G. N.* Protssy obrazovaniya vodonosnogo gorizonta v lessovykh gruntakh v rayonakh gorodskoy zastroyki // *Inzhenerno-geologicheskiye problemy gradostroitelstva: materialy nauch.-tekhn. soveshchaniya v g. Baku*. — M. : Izd. MGU, 1971. S. 112—114.
18. *Kotlov F. V.* Antropogennyye geologicheskiye protssy i yavleniya na territorii goroda. — M. : Nauka, 1977. — 171 s.
19. *Kotlov F. V.* Izmenenie geologicheskoi sredy pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka. — M. : Nedra, 1976. — 263 s.
20. *Kotlov F. V.* Inzhenerno-geologicheskoe obosnovanie stroitelstva v gorodakh // *Inzhenerno-geologicheskiye i gidrogeologicheskiye problemy gradostroitelstva: doklady na Vsesoyuznoy mezhdvumstvennoy konferentsii*. — M. : Mosk. otd. gidrometeoizdata, 1974. — S. 13—35.
21. *Krutov V. I.* Vliyaniye podyoma urovnya gruntovykh vod na prosadku gorodskikh territoriy // *Inzhenerno-geologicheskiye problemy gradostroitelstva: materialy nauchno-tekhnicheskogo soveshchaniya v Baku*. — M. : Izd. MGU, 1971. — S. 105—106.
22. *Krutov V. I.* Osobennosti razvitiya prosadok lessovykh gruntov pri podyome urovnya gruntovykh vod // *Trudy mezhvuzovskoy konferentsii po stroitelstvu na lessovykh gruntakh: tezisy dokladov*. — M. : Izd. MGU, 1973. — S. 59—60.
23. *Larionov A. K., Priklonskiy V. A., Anan'ev V. P.* Lessovye porody SSSR i ikh stroitelnye svoystva. — M. : Gosgeoltekhizdat, 1959. — 367 s.
24. *Mavlyanov G. A., Pulatov K. P.* Metody izucheniya prosadochnosti lessovykh porod s tsel'yu irrigatsionnogo osvoeniya tselinnykh zemel. Tashkent : Fan, 1975. — 79 s.
25. *Merkulova K. A.* Izmenenie gidrogeologicheskikh usloviy Rostova-na-Donu pod vliyaniem khozyaystvennoy deyatel'nosti cheloveka // *Voprosy issledovaniya lessovykh gruntov, osnovanii i fundamentov: mezhvuzovskii sbornik*. — Rostov n/D: Izd-vo. RGU, 1978. — S. 51—56.
26. *Olyanskiy Yu. I.* K voprosu obnovleniya lessovykh gruntov territorii mezhdurechya Prut-Dnestr // *Voprosy issledovaniya lessovykh gruntov i metodov vozvedeniya fundamentov na nikh*. — Rostov n/D : Izd. RISI, 1985. — S. 86—93.
27. *Olyanskiy Yu. I., Goncharov V. S.* Vliyaniye passivnykh faktorov podtopleniya na podyom urovnya gruntovykh vod na territorii g. Kishineva: sb. VINITI. 1983. №6.

28. Olyanskiy Yu. I., Gonsharov V. S. Tekhnogennoe izmeneniye vlazhnosti v lessovykh gruntakh goroda Kishineva // Podgotovka osnovaniy zdaniy i sooruzheniy, stroyashchikhsya na prosadochnykh gruntakh: tezisy dokladov respublikanskogo soveshchaniya 26—27 maya 1981 v g. Kishineve. 1982. — S. 26—28.
29. Orlov S. S. Osnovnye prichiny zatopleniya territorii Kishineva i sposoby borby s nim // Fiziko-geograficheskiye osobennosti Moldavii. — Kishinev : Izd. Shtiintsa, 1982. — S. 65—70.
30. Reznik Ya. M. Analiz prichin povysheniya urovnya gruntovykh vod na territorii novogo zhilogo rayona Odessy // Zakrepleniye i uplotneniye gruntov v stroitelstve: materialy USH Vsesoyuznogo soveshchaniya. — Kiev : Budivelnik, 1974. — S. 74—75.
31. Rekomendatsii po prognozam podtopleniya promyshlennykh ploshchadok gruntovymi vodami. — M. : VNII VODGEO, 1976. — 325 s.
32. Rozovskiy L. B., Zelinskiy I. P. Inzhenerno-geologicheskiye prognozy i modelirovaniye. — Odessa, 1975. — 115 s.
33. Rychagova M. A. Vliyanie urbanizatsii na rezhim vlazhnosti lessovykh porod (na primere g. Tolyatti) // Inzhenernaya deyatel'nost cheloveka i geologicheskaya sreda: mater. Vsesoyuznoy mezhvedomstvennoy konf. — M. : Izd. MGU, 1976. S. 117—121.
34. Ryashchenko G. I., Smolyaga V. K., Sidorenko V. I., Solovyov L. O. Tekhnogennoye izmeneniye vlazhnosti lessovykh gruntov v g. Kharkov // Inzhenernaya deyatel'nost cheloveka i geologicheskaya sreda: materialy Vsesoyuznoy mezhvedomstvennoy konferentsii. — M. : Izd. MGU, 1976. — S. 117—121.
35. Safaryan A. I. Deformatsiya zdaniy i sooruzheniy na territorii g. Tbilisi // Sbornik trudov soveshchaniya po stroitelstvu na lessovykh gruntakh. — Dnepropetrovsk-Kiev, 1960. — S. 81—84.
36. Smirnov R. A., Bogdanov V. I. Gidrogeologicheskiye problemy zhilishchno-grazhdanskogo i promyshlennogo stroitelstva v svyazi s zakrepleniem i uplotneniem gruntov // Zakrepleniye i uplotneniye gruntov v stroitelstve: materialy VIII Vsesoyuznogo soveshchaniya. — Kiev : Izd. Budivelnik, 1974. S. 68—73.
37. Shpilberg Yu. I. O formirovanii verkhovodki v lessovykh porodakh pri oreshenii // Problemy inzhenernoy geologii Severnogo Kavkaza. Vyp. 2. — Stavropol, 1969. — S. 125—128.

© Богомолов А. Н., Олянский Ю. И., Киселева О. В.,
Чарыкова С. А., Кузьменко И. Ю., 2012

Поступила в редакцию
в мае 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Прогноз подтопления лессовых территорий / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, О. В. Киселева, С. А. Чарыкова, И. Ю. Кузьменко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 304—324.

УДК 504.064.45 : 502.36

**А. В. Карпов, О. А. Макаров, Г. К. Лобачева,
В. Ф. Желтобрюхов, В. М. Осипов, Н. В. Колодницкая**

ПРЕВЕНТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ, ОСНОВАННАЯ НА ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТЕШЛАМОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ИНЕРТНОГО ГРУНТА

Посвящена актуальной экологической проблеме — переработке нефтешламов в инертный грунт, применяемый в строительной отрасли. Исследованы существующие способы утилизации нефтесодержащих шламов, разработана перспективная технология их переработки, позволяющая предотвратить загрязнение городских территорий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: инертный грунт, нефтешлам, искусственный барьер, нарушенные почвы, шламонакопитель, благоустройство территорий города.

This article is devoted to current ecological problem — recycling of oil-slime to the passive soil used in construction. Methods of utilization of oil-contained slimes were researched and perspective recycling technology for oil-sludge, which allows to prevent urban areas pollution were worked out.

К е у w o r d s: passive soil, oil-slime, artificial barrier, destroyed soil, oil-buffer, planning of urban areas.

Аварийный амбар, шламонакопитель, предназначенные для хранения нефтешламов, занимают значительные площади земельных участков, т. к. проблема ликвидации их на ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка» до сих пор не решалась. Это приводит не только к нерациональному природопользованию, дополнительным капиталовложениям, но и постоянному загрязнению почвенного покрова, грунтовых вод, атмосферного воздуха.

Основными отходами нефтеперерабатывающих заводов являются эмульгированная нефть и нефтепродукты, уловленные в нефтеотделителях систем оборотного водоснабжения, нефтеловушках и сооружениях механической очистки стоков; нефтешламы, представляющие собой донные осадки всех сооружений механической очистки стоков; продукты зачистки резервуаров от нефтепродуктов; флотоконцентрат установок сепарации и флотации.

Часть нефтешламов в количестве до 0,7 % от перерабатываемого сырья постоянно образуется в производственном процессе. Кроме того, на предприятиях за многие годы эксплуатации накопилось и хранится большое количество застаревших нефтешламов в открытых емкостях-шламонакопителях. Нефтешламы содержат значительную долю механических примесей: продукты коррозии оборудования и трубопроводов; загрязнения, вносимые или получаемые в самих технологических процессах; механические примеси, попадающие извне через неплотности; загрязнения, поступающие из окружающей атмосферы с осадками или в виде пыли.

В среднем принято, что нефтешламы содержат 20...25 % тяжелых нефтепродуктов, 65...75 % воды и 5...10 % механических примесей. По мере хранения и отстоя содержание воды в шламах существенно снижается, но значительная ее часть остается «внутри» нефтешламов в мелкодиспергированном виде, распределяясь относительно равномерно в массе нефтепродуктов (чаще всего относящихся к высшим парафинам).

По физическому состоянию нефтешламы представляют собой полидисперсную систему с частицами крупностью более десятых долей мм, суспензии и эмульсии с частицами размером от 0,1 мкм до десятых долей мм и коллоидные — с частицами в интервале от 0,001 до 0,1 мкм.

Удаление и транспортировку нефтешлама из очистных сооружений осуществляют иногда гидроэлеваторами, что приводит к разбавлению его водой, иногда землеройной техникой (экскаваторы) с соблюдением требований техники безопасности.

При длительном хранении шламов физико-химические процессы, характерные для дисперсных систем, привели к их разделению на слои:

верхний слой — трудноразделимая «множественная» эмульсия нефтепродуктов, стабилизированная механическими примесями коллоидных размеров;

донный осадок с относительно постоянным содержанием нефтепродуктов и увеличением доли механических примесей с глубиной.

Шламонакопители являются потенциальными источниками загрязнения почвенного покрова, грунтовых вод и атмосферы. Кроме того, с поверхности накопителей, особенно при начальном заполнении, происходит испарение легколетучих фракций нефтепродуктов (оцениваемое величиной до 50 кг/м² в год площади поверхности шламонакопителя). Другим фактором, оказывающим отрицательное влияние на окружающую среду, является наличие в них тяжелых металлов.

Предмет и методы исследования. Расчистке подлежат: шламонакопитель с объемом нефтешлама 92,0 тыс. м³; аварийный амбар с объемом нефтешлама 41,9 тыс. м³.

Кроме того, зачищаются чаши всех накопителей и внутренние откосы дамбы на глубину 0,5 м. Этот объем составляет по шламонакопителю — 17,9 тыс. м³, по аварийному амбару — 9,7 тыс. м³. Таким образом, общий объем нефтешлама, подлежащего переработке, — 161,5 тыс. м³.

Характеристика нефтешламов в сооружениях, подлежащих расчистке, приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Нефтешлам в шламонакопителе и амбаре [1]

Наименование вещества химическое	Нефтешлам	
	В шламонакопителе	В амбаре
Состав:	Процентное содержание, %	Процентное содержание, %
Нефтепродукты	4,38	2,71
Содержание воды	65,20	60,70
Содержание механических примесей	19,35	21,34
Общие данные:		
Температура застывания, °С:	–2...0	
Плотность при 20 °С, кг/м ³	960...1150	
Температура вспышки в открытом тигле, °С,	135...165	
Данные о токсической опасности	4-й класс опасности	
ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	300	
Коррозионное воздействие	Определяется содержанием серы; высокосернистые корродируют сталь углеродистую	

Основные методы утилизации нефтешламов до второй половины прошлого века были следующие:

сжигание плавающих в амбарах нефтепродуктов с дополнительной технической рекультивацией амбаров;

естественное биохимическое разложение «разбрасыванием» нефтешламов на поверхности почвы или откачкой на поля орошения;

захоронение в самих амбарах на промышленных и бытовых свалках;

компостирование (перемешивание нефтешламов с разными наполнителями: торфом, щепой, почвой — для ускорения биохимической деструкции).

Способы переработки нефтесодержащих отходов, используемые в мировой практике в настоящее время, следующие.

1. Термический метод: сжигание в открытых амбарах; сжигание в печах различного типа и конструкций; сушка в сушилках различных конструкций; пиролиз; способ AOSTRA TASIUK, заключающийся в сочетании процессов термической сепарации, пиролиза и сжигания.

2. Химический метод: затвердевание путем диспергирования с гидрофобными реагентами на основе негашеной извести или других материалов.

3. Биологический метод: биоразложение путем внесения (смешения) нефтесодержащих отходов в пахотный слой земли; биоразложение с применением специальных штаммов бактерий, биогенных добавок и подачи воздуха.

4. Физический метод: гравитационное отстаивание; разделение в центробежном поле; разделение фильтрованием; экстракция.

5. Физико-химический метод: применение специально подобранных поверхностно-активных веществ (деэмульгаторов, диспергаторов, смачивателей и т. д.), вспомогательных веществ, влияющих на изменение состояния и коллоидно-дисперсной структуры взвешенных частиц в нефтяной и водной фазах.

Для переработки нефтешлама разработана технология, основанная на применении химического метода путем термического гашения нефтесодержащих отходов негашеной известью.

Указанный метод переработки разработан и запатентован ООО «КОМПАНИЯ Чистые технологии» (регистрационный № 2004107737/15) «Способ переработки нефтесодержащего шлама и устройство для его реализации» [1].

Химический метод термического гашения позволяет обезвреживать нефтесодержащие отходы и дает возможность практического использования отходов. Достоинства принятого метода следующие:

дешевизна и доступность основных реагентов (оксид кальция, супесчаный грунт);

простота применения технологического процесса используемого оборудования без разработки специальных аппаратов сложной конструкции;

возможность быстрого монтажа и демонтажа применяемого оборудования;

низкая энергоемкость,

подтвержденное результатами санитарно-эпидемиологических исследований заключение о снижении класса опасности нефтешлама при получении порошкообразного продукта с водоотталкивающими свойствами.

Для переработки нефтешлама принят метод термического гашения известью и перемешивания с грунтом в пропорциях 1:0,4:3, где 1 — нефтешлам, 0,4 — негашеная известь, 3 — супесь (песок, загрязненный глиной).

Проектом предусматривается расчистка шламонакопителя и аварийного амбара, расположенных на очистных сооружениях управления водоснабжения, канализации и очистки стоков (УВК и ОС) ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка».

Весь объем нефтешлама подлежит переработке, конечной целью которой является его обезвреживание с получением экологически малоопасного конечного продукта.

Проектируемое производство по обезвреживанию и утилизации нефтесодержащих отходов включает в себя следующие сооружения: площадку насосного агрегата; земляную емкость (2 шт.); площадку хранения инертного грунта; площадку хранения супесчаного грунта.

Накопители, подлежащие расчистке, располагаются на площадке очистных сооружений УВК и ОС.

Узел переработки нефтешлама располагается на специально отведенном участке площадью 1 га с восточной стороны аварийного амбара. На данном участке предусмотрено расположение следующих сооружений: земляные емкости (2 шт.); площадка хранения инертного грунта; площадка хранения супесчаного грунта.

Предусматривается устройство двух земляных емкостей. Глубина емкости составляет 1,0 м. Размеры емкости в $43,64 \times 11$ м. По дну земляной емкости предполагается выполнение противофильтрационного экрана из глины толщиной 0,50 м с высокой степенью уплотнения. Коэффициент фильтрации экрана составляет $K_f < 10$ см/с.

Площадка хранения инертного грунта предназначена для кратковременного хранения конечного продукта и выполнена размерами 21×20 м.

Площадка хранения супесчаного грунта предназначена для непродолжительного хранения грунта и выполнена размерами 16×15 м.

Площадки для хранения инертного и супесчаного грунта выполнены из дорожных плит 2П30.20—10. Под плитами предусмотрено устройство песчаного основания.

Забор жидкого нефтесодержащего шлама из шламонакопителя и подача его в земляную емкость осуществляется дизельным винтовым насосным агрегатом фирмы «NENZSCH». Насос устанавливается на площадке. Площадка выполнена из дорожных плит 2П30.20—10. Под плитами предусмотрено устройство песчаного основания, рис. 1.

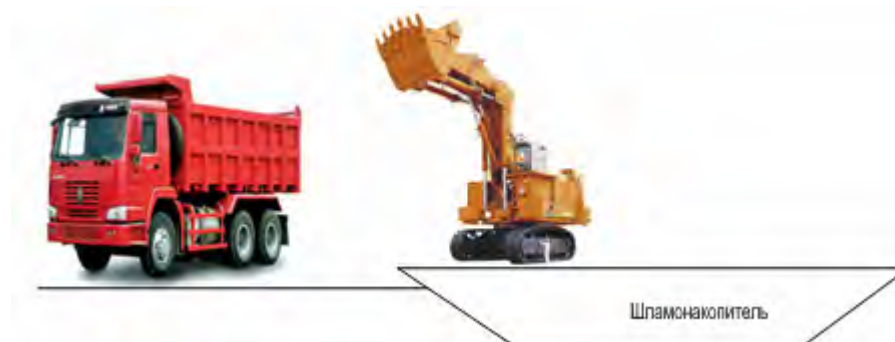


Рис. 1. Расчистка накопителей [1]

Переработка нефтешлама начинается с аварийного амбара. Для последовательной организации работ по выемке нефтешлама на аварийном амбаре и шламонакопителе предусматривается устройство пионерных дамб с разделением его на секторы.

Согласно п. 15. 2. ПБ 03—438—02 «Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов», утвержденных Постановлением ГГТН РФ от 28.01.02 г. № 6, забор нефтешлама следует осуществлять только с твердого грунта или после отсыпки «пионерной» песчаной дамбы [2].

Дамбы устраиваются поперек накопителей для прохождения экскаватора во время производства работ по расчистке нефтешламов. Ширина дамб по гребню — 8 м, заложение откосов — 1:1,5, длина (средняя) — 99,0 м расстояние в осях дамб — 22,0 м (по максимальному радиусу копания экскаватора — 11,1 м). Пионерные дамбы выполняются из супесчаного грунта. Дамбы отсыпаются с тщательным послойным уплотнением.

Жидкий нефтешлам насосным агрегатом по трубопроводу подается в земляные емкости. Оставшаяся твердая (консолидированная) фаза донного нефтесодержащего шлама разрабатывается экскаватором с погрузкой в автосамосвал и транспортировкой его в земляные емкости. Кроме того, зачищаются чаши накопителей и внутренние откосы дамбы на глубину 0,5 м. Автосамосвал имеет герметично закрывающийся кузов во избежание загрязнения почвы, дорог и воздуха.

После подачи жидкого нефтешлама в земляные емкости и усреднения его с фазой донного нефтесодержащего шлама вместе с грунтом поверхности чаши, пропитанной нефтью, туда же подается негашенная известь, которая на площадку доставляется цементовозом и подается под слой нефтешлама для предотвращения пыления извести насосом цементовоза. Все перемешивается равномерно экскаватором в течение 1,5 часа. После этого в земляную емкость подается супесчаный грунт автосамосвалом и все перемешивается экскаватором в течение 1,5 часа и выдерживается до утра. На следующий день конечный продукт экскаватором выгружается в машину и доставляется на площадку хранения инертного грунта, который затем используется для засыпки освобожденных от нефтешлама карт (рис. 2).

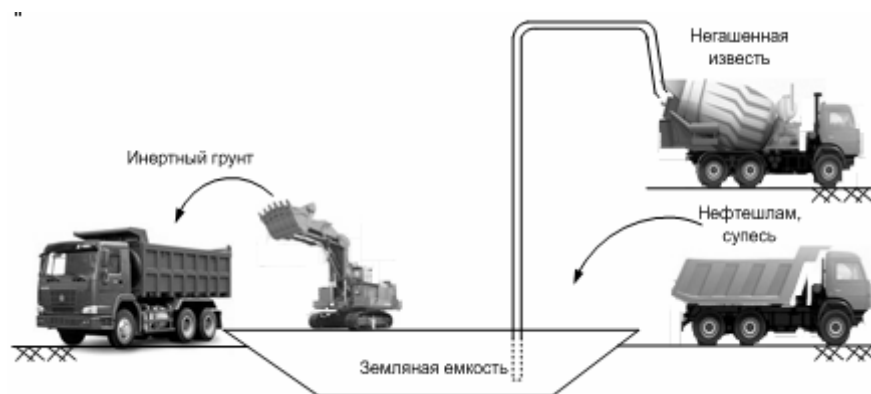
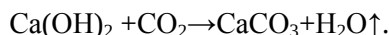
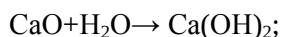


Рис. 2. Переработка нефтешлама [1]

При перемешивании происходит химическая реакция с поглощением воды из нефтесодержащего отхода для гашения извести с выделением большого количества тепла.

За счет экзотермической реакции гидратации происходит испарение дополнительного количества воды и образуется гидроксид кальция, который в дальнейшем за счет реакции с углекислым газом воздуха переходит в карбонат кальция:



В результате химической реакции нефтешлам обезвреживается, его гранулы заключаются в известковые оболочки, равномерно распределяются в общей массе конечного продукта.

Конечный продукт (инертный грунт) приобретает вид коричневого порошка. Данный продукт инертен к воде и почве, так как частицы органической массы нефтесодержащего отхода оказываются заключенными в известковые оболочки-капсулы, являющиеся водонепроницаемыми и достаточно плотными.

Характеристика инертного грунта приведена в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Инертный грунт [1]

Наименование параметра	Параметр
Наименование вещества химическое	Инертный грунт
Формула эмпирическая структурная	Продукт переработки отходов нефтеперерабатывающего производства с добавлением супесчаного грунта в соотношении: 10 частей нефтешлама, 4 части негашеной извести, 30 частей супесчаного грунта
Внешний вид, размер	Мелкозернистый сыпучий материал желтовато-серого цвета
Запах	Свойственный нефтепродуктам
Показатель активности водородных ионов (рН водной вытяжки), не более	9,0
Содержание нефтепродуктов, г/кг, сухого вещества, не более	25
Содержание свободного кальция, %, не более	15
ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	6
Реакционная способность	Инертный грунт не подвергается воздействию атмосферных осадков, перепаду температур

Освободившаяся территория после переработки нефтешламов может быть использована как для сооружения дополнительных установок природоохранного назначения, так и для размещения цехов или установок объектов основной или вспомогательной инфраструктуры.

ЛУКОЙЛ планомерно инвестирует средства в мероприятия по утилизации отходов, реализуя принцип ответственности производителя за весь жизненный цикл продукции, а также внедряя наилучшие доступные технологии (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Рекультивация загрязненных нефтепродуктами земель [3]

Годы	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Площадь рекультивированных земель, га	232	2890	3471	2696	2838	2600	2764
В том числе загрязненных нефтепродуктами, га	287	192	130	97	67	62	59
Ликвидация шламовых амбаров собственными силами, шт.	17	91	70	83	51	109	86

Инертный грунт можно использовать как грунт для подсыпки площадок строительства, в дорожном строительстве, для посыпки льда и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Переработка нефтешламов ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка» методом термического гашения в Красноармейском районе г. Волгограда. — Волгоград : ООО «Веста», 2010. — 485 с.
2. Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов. Постановление ГТН РФ от 28.01.02 г. № 6.
3. ЛУКОЙЛ: экологическая политика // Вестник экологического образования в России. Академия МНЭПУ, 2011. — С. 33.
1. Pererabotka nefteshlamov ООО "LUKOIL-Volgogradneftepererabotka" metodom termicheskogo gasheniya v Krasnoarmeiskom raione g. Volgograda. — Volgograd: ООО "Vesta", 2010. — 485 s.
2. Pravila bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheni nakopitelei zhidkikh promyshlennykh otkhodov. Postanovlenye GGTN RF ot 28. 01.02 g. № 6.
3. LUKOIL: ekologicheskaya politika // Vestnik ekologicheskogo obrazovaniya v Rossii. Akademiya MNEPU, 2011. — S. 33.

© Карпов А. В., Макаров О. А., Лобачева Г. К.,
Желтобрюхов В. Ф., Осипов В. М., Колодницкая Н. В., 2012

Поступила в редакцию
в мае 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Превентивная технология загрязнения земель, основанная на переработке нефтешламов с получением инертного грунта / А. В. Карпов, О. А. Макаров, Г. К. Лобачева, В. Ф. Желтобрюхов, В. М. Осипов, Н. В. Колодницкая // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 325—331.

УДК 625.71.8:504.17

Т. О. Петросян, В. Ф. Сидоренко

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Экономические и социальные перемены в России свидетельствуют о необходимости ускоренного развития дорожно-транспортной инфраструктуры, которая включает в себя автомобильные дороги, сооружения на них и транспортные средства. На окружающую среду негативно воздействует каждая составляющая, однако в целом влияние инфраструктуры носит не только локальный, но и глобальный характер.

К л ю ч е в ы е с л о в а : экологическая безопасность дороги, окружающая среда, шумовое загрязнение.

Economic and social changes in Russia show the necessity of the accelerated development of a road and transport infrastructure which includes highways, constructions on them and vehicles. Environment is influenced negatively by each component, however as a whole the influence of an infrastructure carries not only local, but also global character.

K e y w o r d s : ecological safety of highways, environment, noise pollution.

Экологическая безопасность дороги включает в себя соблюдение санитарных норм загрязнения воздуха, воды, почвы; предупреждение необратимых изменений природных систем; ограничение безопасными пределами технологических воздействий строительства и ремонтов [1].

Экологическая безопасность автомобильных дорог достигается путем разработки и применения технических решений на всех стадиях их жизненного цикла, начиная с разработки предпроектных мероприятий, проектной документации на строительство, реконструкцию, ремонт и эксплуатацию. Применение научно обоснованных разработок кардинальным образом могут снизить негативные воздействия на все геосферные оболочки: литосферу, гидросферу и атмосферу. В процессе реализации проектной документации должны выполняться установленные правила природопользования и охраны окружающей среды.

Совершенно справедливо экологическая безопасность рассматривается одним из основных показателей эффективности инвестиций в развитие автомобильных дорог. Показатели экологической безопасности должны рассматриваться в комплексе с характеристиками экономической эффективности проекта [4].

Влияние автодорог на окружающую природную среду в России еще недостаточно изучено и оценено. Например в Западной Европе и Америке, загрязнение природы от автотранспорта составляет от 25 до 85 %. Автомобили выбрасывают в атмосферу более 200 химических веществ. Значительная часть вредных компонентов топлива накапливается на полотне дороги и прилегающих территориях. Радиус их влияния для свинца составляет 100...200, а для азотных соединений — 50 м. Другая часть загрязнителей (например, тяжелых металлов) через кюветную и дренажные системы с поверхностным и подземным стоком поступает в речную сеть, озера и водохранилища, ухудшая качество воды и донных отложений.

Автомобильная дорога, как и любое линейно-протяженное инженерное сооружение, нарушает природный ландшафт, изменяет режим стока поверхностных и грунтовых вод. При пересечении речных долин на подходах к искусственным

сооружениям (железные дороги, каналы и т. д.) нарушается средняя скорость преобладающих ветров, что приводит к изменению микроклимата и взаимосвязанных с ним явлений во флоре и фауне. Дорога может нарушить традиционные сезонные пути миграции животных и насекомых. Стремление дорожников к снижению затрат за счет применения в строительстве конструктивных слоев из местных некондиционных материалов и отходов промышленного производства не всегда оправдано, так как пиритовые огарки, ртутьсодержащие отходы, каменноугольные дегти, смолы и пески, кумароновые смолы, радиоактивные породы, разнообразные шламы цветной металлургии способны загрязнять придорожную полосу токсичными веществами [1].

В вышеуказанной работе приводится схема взаимодействия дорожно-транспортной инфраструктуры с окружающей средой (рис.1.), которая может быть отправной точкой для дальнейших исследований. Данная схема не дает полную картину взаимодействия стадии строительства, реконструкции и капитального ремонта, как этапа жизненного цикла автомобильных дорог, на природно-техногенную систему.

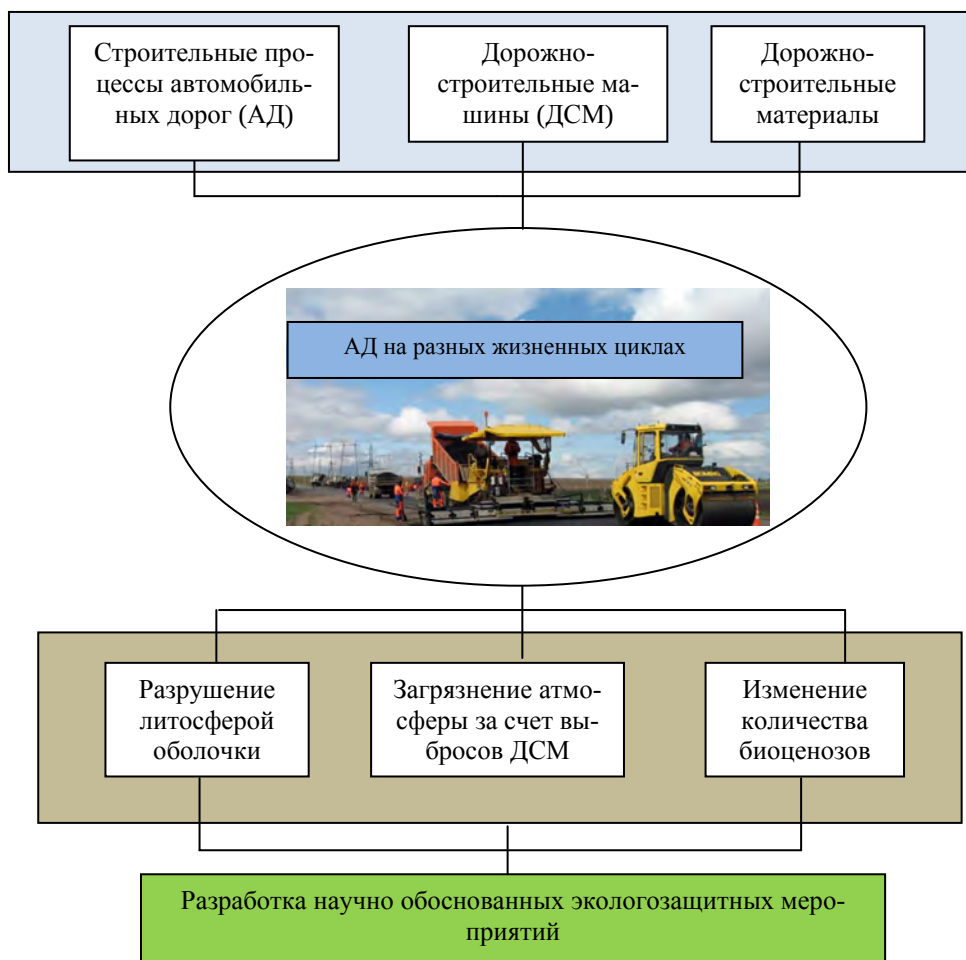


Рис. 1. Схема взаимодействия автомобильной дороги с окружающей средой

Следует отметить шумовые воздействия на окружающую среду. Экологический шум — одна из форм загрязнения окружающей среды. Увеличение уровня шума выше природного отрицательно действует на человека: повышается утомляемость, снижается умственная активность, возникают неврозы. Бактериолог Роберт Кох (1843—1910) почти сто лет назад предсказал, что «когда-нибудь человеку придется ради своего существования столь же упорно бороться с шумом, как он борется сейчас с холерой и чумой». Еще в древнем Риме существовали законы, положения, регулирующие уровень шума, создаваемого транспортными средствами того времени.

Пофакторный анализ на примере округов Москвы (рис. 2), выполненный ГУП «Мосэкомониторингом», показал, что основным источником шума в городе является автотранспорт (62,5 % всех случаев выявленных превышений).

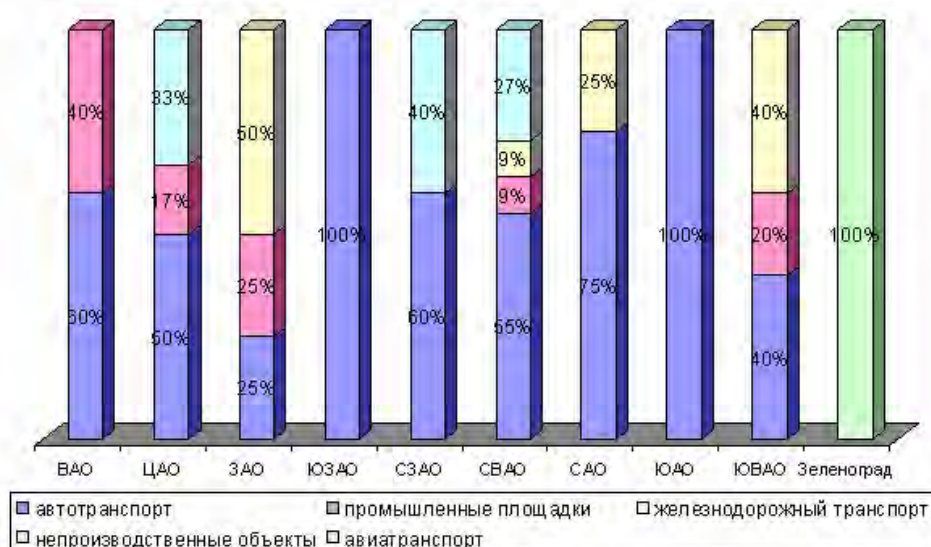


Рис. 2. Источники шумового воздействия [3]

Чтобы точно определить влияние строительной техники при строительстве автомобильных дорог, необходимы новые статистические данные, которые требуют новейшую измерительную технику. Подобные данные в научных исследованиях мало приводятся по двум причинам: из-за отсутствия дорогостоящего оборудования или же из-за конфиденциальности.

Отметим, что шумовое загрязнение быстро вызывает нарушение естественного баланса в экосистемах, приводит к нарушению ориентирования в пространстве, общения, поиска пищи и т. д. В связи с этим некоторые животные начинают издавать более громкие звуки, из-за чего они сами будут становиться в роли вторичных звуковых загрязнителей, еще сильнее нарушая равновесие в экосистеме. В настоящее время разработано много методик, позволяющих уменьшить или устранить некоторые шумы. Шумовое загрязнение от какого-либо объекта можно до некоторой степени уменьшить, если на этапе разработки проекта этого объекта смоделировать с учетом различных внешних условий (например, топология и погодные условия местности) характер шумов, которые будут возникать, а за-

тем найти пути их устранения или хотя бы уменьшения. В настоящее время этот способ стал гораздо проще и доступнее за счет развития электронновычислительной техники. Это наиболее дешевый и рациональный способ снижения шумов, использующийся, например, при строительстве железных дорог в городских районах. Например проблему шумового загрязнения жилых помещений, можно значительно уменьшить за счет их звукоизоляции (установка специальных окон и т. п.). В Российской Федерации действуют ГОСТы и санитарные нормы, регулирующие предельно допустимый уровень шума для рабочих мест, жилых помещений, общественных зданий и территорий жилой застройки. Для ночного времени суток ПДУ шума от автомобилей на городских автодорогах составляет 40 дБ, в то время как на многих автомагистралях Москвы и в других крупных городах России уровень шума составляет не менее 70 дБ [2].

В настоящее время основными направлениями усиления экологической безопасности являются:

прекращение загрязнения водной и воздушной среды веществами, вредными или неблагоприятными для жизнедеятельности человека, путем разработки и внедрения соответствующей технологии и строгого контроля над применением веществ, вызывающих глубокие нарушения природных процессов. На промышленных предприятиях необходимо повысить ответственность за выбросы в атмосферу, сбросы в водоемы и поступление загрязняющих веществ в почву, внедрить систему современных эффективных очистных установок;

рациональное использование всех видов природных ресурсов;

сохранение всего естественного генофонда живой природы;

создание благоприятных условий для жизни населения путем ведения системы научно обоснованного градостроительства и районной планировки, устраняющих все отрицательные последствия современной урбанизации;

привлечение внимания мировой общественности к экологическим проблемам.

Конструктивное решение этих проблем во многом определит условия и качество жизни настоящего и будущих поколений людей, обеспечит экологически безвредное технологическое развитие производственных отраслей экономики.

Комплексный подход решения экологических проблем автомобильного строительства позволит сохранить экологический баланс природной среды в том числе биогеоценозов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автотранспортное загрязнение придорожных территорий / В. П. Подольский, В. Г. Артюхов, В. С. Турбин, А. Н. Канищев. — Воронеж : изд-во Воронежского гос. ун-та, 1999. — 261 с.
2. Руководство по оценке воздействия на окружающую среду при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов дорожного хозяйства. Электронный ресурс. URL: // <http://www.ecom-info.spb.ru> (дата обращения: 31.10.2011 г).
3. Государственное природоохранное учреждение «Мосэкомониторинг». Электронный ресурс. URL: // <http://www.mosecom.ru/> (дата обращения: 30.10.2011 г).
4. Википедия. Электронный ресурс. URL: // <http://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 30.10.2011 г).

1. Avtotransportnoe zagryazneniye pridorozhnykh territoriy / V. P. Podolskiy, V. G. Artyukhov, V. S. Turbin, A. N. Kanishchev. — Voronezh : Izd-vo Voronezhskogo gos. un-ta, 1999. — 261 s.
2. Rukovodstvo po otsenke vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu pri proektirovanii, stroitelstve, rekonstruktsii i ekspluatatsii obektov dorozhnogo khozyaystva. Elektronnyy resurs. URL: // <http://www.ecom-info.spb.ru> (data obrashcheniya: 31.10.2011 g).
3. Gosudarstvennoe prirodookhrannoe uchrezhdenie «Mosekomonitoring». Elektronnyy resurs URL: // <http://www.mosecom.ru/> (data obrashcheniya: 30.10.2011 g).
4. Vikipediya. Elektronnyy resurs. URL: // <http://ru.wikipedia.org> (data obrashcheniya: 30.10.2011 g).

© Петросян Т. О., Сидоренко В. Ф., 2012

*Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.*

Ссылка для цитирования:

Петросян Т. О., Сидоренко В. Ф. Экологическая безопасность автомобильных дорог // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 332—336.

УДК 712.25+ 711.4 (470.44)

И. А. Кагайкин

ТИПОЛОГИЯ ПРИРОДНЫХ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Представлена архитектурно-ландшафтная организация современных городских территорий региона Нижнего Поволжья. Предложена типология природных и урбанизированных ландшафтов городов Нижнего Поволжья.

К л ю ч е в ы е с л о в а: архитектура, ландшафт, комплекс, типология.

The article is devoted to the architectural landscape of modern urban territories of the Lower Volga region. Typology of natural and urban landscapes of cities in the Lower Volga region is suggested.

К e y w o r d s: architecture, landscape, complex, typology.

На земле осталось очень мало ландшафтов, не тронутых человеком. В процессе хозяйственной деятельности он изменяет некоторые природные компоненты, в первую очередь растительность, почву, рельеф, гидросистему и фауну. Ландшафты, возникшие в результате человеческой деятельности, носят общее название антропогенных или культурных ландшафтов. Антропогенный ландшафт — географический ландшафт, созданный в результате целенаправленной деятельности человека или возникший в ходе непреднамеренного изменения природного ландшафта. К антропогенным ландшафтам относятся природно-производственные комплексы, городские поселения и т. д. В настоящее время антропогенные ландшафты занимают около половины территории суши.

Антропогенные ландшафты можно разделить на следующие подтипы: 1) городской или урбанизированный ландшафт — ландшафт, сочетающий природные факторы (формы рельефа, водоемы, растительность) с городской застройкой (зданиями, дорогами, магистралями, инженерными сооружениями); 2) агроландшафт — ландшафт, на участке которого растительность заменена агроценозами; 3) культурный ландшафт — природный ландшафт, измененный в результате хозяйственной деятельности человека. Культурный ландшафт — целенаправленно созданный антропогенный ландшафт, обладающий целесообразными для человеческого общества структурой и функциональными свойствами; 4) ландшафт акультурный — возникающий в результате нерациональной деятельности человека или неблагоприятных воздействий соседних ландшафтов; 5) деградированный ландшафт — испорченный нерациональной хозяйственной деятельностью человека (вырубкой лесов, разработкой полезных ископаемых и отвалами отходов производства, естественным оврагообразованием, карстовыми провалами и т. п. Деградированный ландшафт требует рекультивации.

В современных городах Нижнего Поволжья остается актуальной проблема взаимодействия природного и урбанизированного ландшафта. Протекание естественных природных процессов на обширных городских территориях оказалось

нарушенным. Деградация территорий, отданных под застройку, бессистемность и отсутствие взаимодействия с развивающейся планировочной структурой городов и игнорирование ландшафтных особенностей привело к нарушению баланса между застроенными участками городской среды и естественными компонентами природного ландшафта.

К основным типам природного ландшафта урбанизированных территорий Нижнего Поволжья можно отнести следующие ландшафты: 1) равнинный (средний показатель соотношения типа природного ландшафта к площади города составляет 66 %); 2) приречный (средний показатель соотношения типа природного ландшафта к площади города составляет 9 %); 3) овражный (средний показатель соотношения типа природного ландшафта к площади города составляет 4 %); 4) трассированный (средний показатель соотношения типа природного ландшафта к площади города составляет 16 %); 5) холмистый (средний показатель соотношения типа природного ландшафта к площади города составляет 5 %). Преобладающим типом природного ландшафта является равнинный. Важное значение для городов Нижнего Поволжья имеет трассированный тип ландшафта, являющийся промежуточным звеном между равнинными территориями, овражно-балочной сетью и водной системой.

Т а б л и ц а 1

Анализ природных ландшафтов городов Нижнего Поволжья

Тип природного ландшафта	Процентное соотношение типа природного ландшафта к общей площади городской территории				
	Волгоград	Саратов	Астрахань	Волжский	Камышин
Равнинный	63 %	75 %	67 %	74 %	54 %
Приречный	4 %	2 %	15 %	17 %	5 %
Овражный	5 %	6 %	—	1 %	8 %
Трассированный	20 %	17 %	14 %	8 %	19 %
Холмистый	8 %	—	4 %	—	14 %

Исследованием городских территорий Нижнего Поволжья определены следующие типы урбанизированного ландшафта: 1) селитебный (средний показатель соотношения типа урбанизированного ландшафта к площади города составляет 30 %); 2) промышленный (средний показатель соотношения типа урбанизированного ландшафта к площади города составляет 12 %); 3) транспортно-коммуникационный (средний показатель соотношения типа урбанизированного ландшафта к площади города составляет 9 %); 4) садово-парковый (средний показатель соотношения типа урбанизированного ландшафта к площади города составляет 21 %); 5) акультурный (средний показатель соотношения типа урбанизированного ландшафта к площади города составляет 3 %); 6) неосвоенный (средний показатель соотношения типа урбанизированного ландшафта к площади города составляет 25 %).

Селитебный ландшафт — ландшафт, преобразованный под территории, застроенные жилой застройкой. Выделяются территории селитебной застройки высокой, средней и низкой плотности. Высокоплотная застройка занимает обширные городские пространства и, обычно, удалена от основных транспортных магистралей и водных территорий. К такой застройке относятся как территории "частного сектора", расположенного в центре городских пространств, так и современные катеджные поселки, удаленные от центральной части города и имеющие непосредственный контакт с природными комплексами. Селитебная застройка средней плотности, сформированная трех- и десятиэтажными зданиями и сооружениями, формирует основную массу жилой застройки. Данный тип застройки сформирован еще в советский период и практически не претерпевает изменений. В современных условиях развития урбанизированных пространств Нижнего Поволжья территории низкоплотной застройки (точечная застройка) занимают как наиболее ценные приречные территории, так и внутриквартальные территории сложившейся застройки, тем самым уплотняя ее.

В целом селитебный ландшафт городов Нижнего Поволжья характеризуется: обширными площадями городских территорий;

исторически сложившейся небольшой площадью выхода на прибрежные территории;

выраженной линейностью — застройка урбанизированных территорий идет полосами, разделяясь транспортной сетью;

высокоплотная застройка занимает неудобные территории между сетью оврагов и балок;

отсутствием разнообразия застройки;

низким уровнем образной выразительности.

Промышленный ландшафт — ландшафт, преобразованный человеком для нужд промышленного производства. Промышленные ландшафты занимают обширные внутригородские территории и, в силу исторически сложившегося размещения, препятствующие свободному выходу к водным пространствам.

Промышленные ландшафты негативно влияют не только на состояние природных ландшафтов, но и ухудшают экологию городских территорий. Промышленность воздействует на все элементы окружающей среды — почву, растительность, воду, воздух. Особенно сильно страдает рельеф территории — плодородный слой уничтожается, рельеф видоизменяется, исходя из нужд производства.

Изначально города Нижнего Поволжья создавались как индустриальные центры. Становление промышленности в значительной мере определило развитие как планировочной структуры города, так и ландшафта территории. Характерной особенностью городских территорий Нижнего Поволжья является значительный протяженный фронт (Волгоград — 58 % берегового фронта), соприкосновения промышленной и селитебной застроек, прерывающийся предзаводскими стыковыми зонами. Промышленные территории имеют непосредственный выход к водным пространствам, во многом формируя речной силуэт городов.

Так, в Волгограде северная часть города отделена от прибрежных территорий промышленными предприятиями, находящимися на протяжении двадцати лет в заброшенном состоянии. Сформированный десятилетиями промышленный ландшафт городов региона отличается большой разрушенностью его элементов: зданий и сооружений, рельефа, флоры и т. д.

Характерными чертами промышленных ландшафтов городов Нижнего Поволжья являются:

- большая площадь занимаемых территорий;
- неэффективное использование территорий промышленных комплексов;
- значительная протяженность, закрывающая выход к береговой линии;
- нарушение естественных компонентов ландшафта территории.

Транспортно-коммуникационный ландшафт, сформированный в результате развития транспортно-пешеходной сети города. К таким ландшафтам можно отнести улично-дорожную сеть, транспортные узлы, железнодорожные и речные пути, площади, мостовые переходы, пешеходные пространства, озелененные пешеходные связи — аллеи, скверы, бульвары и т. д. Формирование транспортно-коммуникационных ландшафтов и узлов приводит к значительным изменениям природного ландшафта. Практически во всех городах Нижнего Поволжья крупные транспортные развязки в центральной части города представляют собой «зоны отчуждения» — нарушены пешеходные коммуникации, отсутствует благоустройство, инженерная подготовка и обслуживание территорий.

Транспортно-коммуникационный ландшафт городов Нижнего Поволжья не отличается разнообразием. Практически отсутствуют пешеходно-коммуникационные связи (улицы-пассажи, зеленые связки), объединяющие различные части городских территорий, выявляющие социальные и культурные функции, обеспечивающие комфортность среды.

Характерными чертами таких ландшафтов в регионе являются:

- значительная протяженность и вытянутость;
- структурная неразвитость;
- отсутствие разнообразия структурных элементов ландшафта.

Садово-парковый ландшафт — это сохраненный природный ландшафт либо ландшафт, преобразованный человеком под территории «зеленых» насаждений. К таким ландшафтам относятся: лесозащитные полосы, лесопарки, общегородские парки, районные парки, сады микрорайонов, дворы жилых групп, придомовые участки. Данные пространства объединяются озелененными транспортными и пешеходными связями, образуя единую систему. Характерным примером такой «зеленой» структуры является г. Волжский. При создании города за основу был принят принцип экологичности — городские пространства представляют собой систему парковых комплексов объединенных озелененными пешеходными связями. В балансе городских территорий заметно выделяется площадь зеленых насаждений, принятая из расчета 23 м² на жителя, что соответствует основному требованию городского строительства в условиях Нижнего Поволжья — всемерному расширению зеленых насаждений.

Садово-парковые ландшафты являются основным элементом гипотетической модели «каркаса аэрации». Основу модели, характерной для приречных городов, составляет совокупность аэрационных коридоров, взаимосвязанных с природными и планировочными элементами, выделение бестранспортных, регулирование характера и эстетических качеств озеленения. Наиболее удачно применение данной модели к городам Нижнего Поволжья. Аэрационные коридоры уже созданы природой. Это и развитая овражно-балочная сеть, и устья рек, и зеленые клинья санитарно-защитных зон промышленных предприятий, и перпендикулярные р. Волге транспортно-коммуникационные связи.

Садово-парковые ландшафты городов региона можно разделить на три зоны.

1. Прибрежная — формирующая береговой фасад города. К таким ландшафтным комплексам относят территории набережных, пляжей, выходов устьев рек и оврагов, первая «береговая» линия застройки.

2. Центральная зона — охватывает среднюю часть городской застройки с развитой системой садово-парковых ландшафтов.

3. Периферийная — территории на границе города, сформированные в основном из лесозащитных насаждений.

Характерным примером такого зонирования является Волгоград. Прибрежная зона представлена системой набережных, в центральной части расположена сеть парков, скверов, бульваров, а на границе города создано «зеленое кольцо» лесозащитного пояса, уберегающего город от степных ветров.

Садово-парковый ландшафт городов Нижнего Поволжья характеризуется зональностью расположения основных элементов, недостаточным количеством садово-парковых комплексов, бессистемностью распределения садово-парковых ландшафтов в городской структуре, отсутствием разнообразия применяемых элементов ландшафта, низким уровнем образной выразительности ландшафтов.

Акультурный ландшафт — территории в пределах городской черты, находящиеся в заброшенном либо в деградированном состоянии. К таким ландшафтам можно отнести: заброшенные промышленные территории — земли в границах промышленных зон; резервные территории — пустыри, разрывы между районами, санитарно-защитные полосы; примагистральные территории — зоны отчуждения автомобильных дорог, территории транспортных развязок; неиспользуемые территории на сложном рельефе — овраги, балки; прирельсовые территории — зоны отчуждения железных дорог; неиспользуемые территории набережных — земли вблизи рек, озер и других водоемов.

К характерным чертам акультурного ландшафта можно отнести: нарушение как отдельных элементов, так и ландшафта в целом, отсутствие функциональной, социально-экономической, культурной нагрузки на территорию.

Неосвоенный ландшафт — территории, неиспользуемые человеком в процессе своей хозяйственной деятельности. Это ландшафтные комплексы, сохранившие все компоненты природного ландшафта, не тронутые человеком в ходе освоения городских пространств. К таким ландшафтам можно отнести: территории со сложными природными особенностями — территории оврагов и балок, заболоченные территории; удаленные территории города с плохо развитой транспортно-пешеходной доступностью; территории, переданные в собственность или долгосрочную аренду, но не используемые по назначению.

Наиболее ярким примером неосвоенного ландшафта можно считать территории овражно-балочной сети городов Нижнего Поволжья. Из-за сложных рельефных особенностей, подтопляемости, больших единовременных денежных затрат на благоустройство данные пространства остаются невостребованными.

Выявленная номенклатура природных и урбанизированных ландшафтов городов Нижнего Поволжья позволяет сделать вывод о том, что основной планировочной особенностью архитектурно — ландшафтной организации на территории городов Нижнего Поволжья должно стать включение природного контекста в структуру города, максимально возможное использование компонентов окружающей среды, способствующих связи объемно-пространственных объектов с природным окружением внешней среды. Градостроительная структура городов

региона и архитектура объектов должна выявлять своеобразие уникальных природных ландшафтов. Из-за сложных рельефных особенностей ландшафта региона необходимо развитие не только горизонтальных, но и вертикальных связей между террасами.

Т а б л и ц а 2

Анализ урбанизированных ландшафтов городов Нижнего Поволжья

Тип урбанизированного ландшафта	Процентное соотношение типа природного ландшафта к общей площади городской территории				
	Волгоград	Саратов	Астрахань	Волжский	Камышин
Селитебный	21 %	22 %	25 %	27 %	50 %
Промышленный	14 %	13 %	9 %	21 %	2 %
Транспортно-коммуникационный	10 %	10 %	9 %	8 %	10 %
Садово-парковый	16 %	32 %	19 %	12 %	25 %
Неосвоенный	35 %	21 %	31 %	30 %	10 %
Акультурный	4 %	2 %	7 %	2 %	3 %

Формирование современной планировочной структуры должно быть основано на тщательном изучении и всестороннем использовании рельефа территории, существующей растительности, водоемов и других характерных особенностей ландшафта, их дополнении и обогащении. Это дает возможность создавать архитектурно-ландшафтные комплексы, включая в структуру города природный ландшафт, не подвергая его серьезным изменениям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Нефедов В. А.* Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. — СПб., 2002. — 295 с.: илл.
2. *Косицына Э. С., Птичникова Г. А., Иванова Н. В.* Архитектурно-ландшафтные основы проектирования городов : учебное пособие. — 2-е изд., испр. и доп. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2006. — 144 с.
3. *Антюфеев А. В., Птичникова Г. А., Чернявская Т. А.* Региональные основы ландшафтной архитектуры : учебное пособие. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2005. — 188 с.
1. *Nefedov V. A.* Landshaftnyy dizayn i ustoychivost sredy. — SPb., 2002. — 295 s.: ill.
2. *Kositsyna E. S., Ptichnikova G. A., Ivanova N. V.* Arkhitekturno-landshaftnye osnovy proektirovaniya gorodov : uchebnoe posobiye. — 2-e izd., ispr. i dop. — Volgograd : VolgGASU, 2006. — 144 s.
3. *Antyufeyev A. V., Ptichnikova G. A., Chernyavskaya T. A.* Regionalnye osnovy landshaftnoy arkhitektury : uchebnoe posobiye. — Volgograd : VolgGASU, 2005. — 188 s.

© Кагайкин И. А., 2012

Поступила в редакцию
в апреле 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Кагайкин И. А. Типология природных и урбанизированных ландшафтов крупнейших городов Нижнего Поволжья // Вестник Волггр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 337—342.

УДК 72:796.5 (470.45)

**И. И. Соколов, Г. В. Павлов, А. И. Соколов,
Е. И. Горюнова, И. И. Соколов**

ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Проанализированы пути развития видов рекреационной деятельности на территории Волгоградской области. На основе ландшафтной карты, суммы рекреационных функций и природно-ландшафтных характеристик разработана формула для оценки пригодности рекреационного потенциала местности под виды туризма.

К л ю ч е в ы е с л о в а: коэффициент пригодности, ландшафтный район, туризм.

Ways of development of kinds of recreational activity on the territory of Volgograd Oblast are analyzed in the article. On the basis of a landscape card, the sum of recreational functions and natural landscape characteristics the formula for an estimation of suitability of recreational potential for tourism was developed.

К е y w o r d s: suitability factor, landscape area, tourism.

Туристические возможности Волгограда и Волгоградской области разнообразны: от санаторно-курортного до экстремального отдыха [1].

На территории Волгоградской области выделяются восемь природно-территориальных комплексов (ПТК) (рис. 1) и несколько ландшафтов речных долин: 1) Калачский возвышенный; 2) Хоперско-Бузулукский равнинный; 3) Приволжский возвышенный; 4) Восточно-Донской возвышенный; 5) Нижне-Донской равнинный; 6) Заволжский равнинно-возвышенный (Сыртовый); 7) Ергенинский возвышенный; 8) Прикаспийский низменный [2].

Калачский возвышенный ПТК располагается западнее р. Хопер на территории одноименной возвышенности. Поверхность прорезает густая овражно-балочная сеть (до 2...4 км/км²). Нагорные леса приурочены к склонам верховьев балок и склонам речных долин. Преимущественно это дубравы с примесью вяза, ясеня, клена, липы, на переувлажненных участках растут осина, ольха. Естественные леса образуют здесь довольно крупные массивы, такие как Шемякинская дача площадью около 1000 тыс. га и Шакин лес, являющиеся заказниками.

Хоперско-Бузулукский равнинный ПТК занимает южную часть Окско-Донской равнины, протянувшейся от Рязани до Михайловки. Здесь выделяются два ландшафта: Хоперский и Бузулукский, границей является рубеж между обычными и южными черноземами, проходящий вдоль долин Бузулука и Терсы. В естественном растительном покрове преобладает «северное» луговое разнотравье. На южных черноземах в степи господствуют дерновинные злаки и засухоустойчивое разнотравье.

Центральную часть Волгоградской области занимает южное окончание Приволжской возвышенности. На всем протяжении она асимметрична. Хорошо заметен наклон возвышенности с севера на юг. Из-за значительной протяженности с севера на юг возвышенность располагается в пределах четырех ландшафтов: Медведицкие Яры, Гусельско-Тетеревятский кряж, Доно-Медведицкая гряда и Волго-Иловлинская возвышенность.

Ландшафт Медведицких Яров расположен на Правобережье р. Медведицы. Это холмистая асимметричная возвышенность высотой 200...250 м. Поверхность ее густо расчленена молодыми оврагами, за что и получила название «Яры». Западный склон Медведицких Яров полого понижается. Его прорезают длинные овраги, реже — балки. Восточный короткий склон круто спускается к долине р. Медведицы, покрыт множеством растущих глубоко врезаемых оврагов.

Ландшафт Гусельско-Тетеревятского кряжа находится на крайнем севере Волгоградской области на наиболее приподнятой части Приволжской возвышенности и всей возвышенности. Кряж почти весь покрыт лесами, чередующимися с луговыми степями. Центральная часть кряжа представляет собой обширную котловину. Днище ее лежит на 100...150 м ниже, чем окружающие ее гряды. На западе котловины из-за обилия родников в долине р. Сухой Ольховки образуют местами заболоченные луга.

Ландшафт Доно-Медведицкой гряды занимает междуречье Иловли и Медведицы. Рельеф его представляет собой приподнятую равнину с возвышающимися над окружающей местностью останцами. Восточный склон, короткий и крутой, прорезан густой сетью оврагов, балок и небольших рек (Казанкой, Ольховкой, Ширяем и др.).

Волго-Иловлинский возвышенный ландшафт располагается в пределах одноименного междуречья. Его южная граница проходит в Волгограде и выходит к Волге. Рельеф представлен волнистыми плато, где глубокие и довольно узкие долины рек и балок чередуются с плоскими ступенями водораздельных поверхностей. Южнее с. Нижняя Добринка находится Уракова гора. В 7 км севернее г. Камышина возвышаются на 40—60 м над окружающей их территорией «горы» Карпунинские (или Камышинские) Уши, Шишанка, Соколов Бугор. Все эти «горы» являются памятниками природы. Волжский склон имеет вид холмов и низких гор, чередующихся с глубокими (до 40—60 м) заросшими лесом «ущельями» и балками, создающими живописный пейзаж. Наиболее примечательны обрывы Столбичей у с. Щербаковки.

Восточно-Донской возвышенный ПТК расположен в Большой излучине Дона. С севера и востока его ограничивают долина р. Дон, а с юга — долина р. Чир. Восточно-Донская гряда резко асимметрична. Ступенчатые донские склоны гряды очень крутые, изрезаны густой овражно-балочной сетью. В составе Восточно-Донского возвышенного ПТК выделяются два ландшафта: ландшафт Восточно-Донской гряды и Чирский равнинно-возвышенный ландшафт.

Ландшафт Восточно-Донской гряды занимает северо-восточную наиболее приподнятую часть. Он отличается разнообразием растительности. На сравнительно небольшой территории встречаются нагорные дубравы и типчаково-ковыльные степи, пойменные леса и меловые «пустыни». Среди растений меловых и известняковых склонов встречается множество редких видов. У станции Кременской выделяют геосистемы «меловых» степей на известняках карбона с элементами карста в местах выхода коренных пород. Здесь встречаются карстовые пещерки, гроты, воронки, каньоны, меловые и известняковые «грибы» создают его необычный облик и живописные пейзажи.

Чирский равнинно-возвышенный ландшафт располагается на юго-западе области и имеет более равнинный рельеф.

Нижне-Донской равнинный ПТК расположен на Правобережье и Левобережье Цимлянского водохранилища, к югу от Волго-Донского канала. Восточная граница проходит по склону Ергеней. Рельеф равнинный, поверхность наклонена в сторону водохранилища. Цимлянское водохранилище оказывает влияние на расстояние до 3 км, повышая относительную влажность воздуха и снижая температуру весной и летом, а осенью повышая. Естественная растительность сохранилась, в основном, по склонам речных долин и балок и на цимлянских песках.

Заволжский равнинно-возвышенный (Сыртовый) ПТК занимает незначительную площадь на крайнем северо-востоке Волгоградской области. Рельеф представлен молодой холмистой равниной с водно-эрозионной сетью. Широкие, плоские водоразделы называют «сыртами», склоны их изредка прорезают молодые глубокие овраги и промоины.

Ергенинский возвышенный ПТК входит в состав подзоны северных полупустынь, располагается на юге Волгоградской области. Ергени — невысокое асимметричное плато высотой 120—180 м, орографически южное продолжение Приволжской возвышенности. Его поверхность сложена «ергенинскими» песками и суглинками. Ергени, располагаясь на западе зоны полупустыни, отличаются менее суровым климатом. Климатические особенности определяют характер почвенно-растительного покрова как полупустынного.

Прикаспийский низменный ПТК занимает восточную часть Волгоградской области. Расположен в зоне наиболее континентального в Европе климата и отличается малым количеством рек. На территории Прикаспийской низменности располагаются две природные зоны: степей и полупустынь. В состав провинции входит четыре ландшафта: Еруслано-Торгунский степной ландшафт, Сарпинский полупустынный ландшафт, ландшафт Приволжской песчаной гряды, Приэльтонский полупустынный солено-озерный район — ландшафт.

Еруслано-Торгунский степной ландшафт расположен на севере Прикаспийской низменности вдоль южного склона Низкого Сырта. Особенностью района является наличие довольно крупных рек, стекающих с сыртовой возвышенности (р. Еруслан, р. Торгун, р. Соленая Куба).

Сарпинский полупустынный ландшафт находится между долиной Волги и Ергенями. Климатические условия схожи с Ергенинским ПТК. Отличительной чертой являются Сарпинские озера.

Ландшафт Приволжской песчаной гряды протянулся вдоль левого берега Волги от Ерусланского залива до пос. Приморск и приподнят на 25—36 м над уровнем водохранилища. Холмистая поверхность гряды на востоке сливается с Прикаспийской низменностью, а в сторону Волги круто обрывается.

Приэльтонский полупустынный солено-озерный ландшафт занимает наиболее пониженную часть Прикаспийской низменности на юго-востоке Волгоградской области. Здесь находятся крупные соленые озера Эльтон, Боткуль, Горько-Соленое (Булухта).

Характерной чертой ландшафтов крупных долин является линейность. Протяженность некоторых долин в пределах Волгоградской области достигает сотен километров. Выделяются два интразональных ландшафта — Волжский и Донской.

Волжский ландшафт включает Волго-Ахтубинскую пойму, которая образована деятельностью рек Волги и Ахтубы. Пойма в пределах Волгоградской области имеет протяженность около 60 и ширину около 30 км. Волго-Ахтубинская долина врезана в поверхность Прикаспийской низменности, ее коренные берега представляют собой обрывы высотой 20 м.

Донской ландшафт охватывает долину Дона и его крупных притоков. На надпойменных террасах здесь отложились крупные массивы Голубинских и Цимлянских песков. Уникальные Арчедино-Донские пески представляют бугристую равнину на левобережье Дона между устьями Иловли и Медведицы.

На территории Волгоградской области располагаются уникальные природные достопримечательности: Волго-ахтубинская пойма, семь природных парков, озеро Эльтон, пещеры Уракова бугра и др [3].

Волго-ахтубинская пойма расположена в бассейне реки Волги на территории Среднеахтубинского, Ленинского и Светлоярского районов Волгоградской области. С одной стороны, Волго-Ахтубинскую пойму ограничивает река Волга, с другой — Ахтуба. И такой полосой шириной в несколько десятков километров тянется пойма, окруженная со всех сторон бескрайними степями. Ежегодно здесь наблюдается сильное половодье. Климат в Волго-ахтубинской пойме достаточно мягкий, влажный, более ровный, чем в степи, с меньшими колебаниями температур [4].

Природный парк «Цимлянские пески» организован в 2003 году с целью сохранения огромного массива Доно-Цимлянских песков, соответствующего возрасту Днепровского и Московского оледенения и отражающего все виды ландшафтов, характерных для почв легкого механического состава южной части России. Расположенный на границе с землями ростовского региона, прилегающий к Цимлянскому водохранилищу, песчаный массив представляет собой уникальное природное образование. Уникальный климат, целебный воздух, живописные места — все это создает в природном парке «Цимлянские пески» исключительно благоприятные условия для отдыха, рыбалки и охоты.

«Донской» — это территория, гармонично сочетающая разнообразие и контрастность природных условий с богатым наследием материальной и духовной культуры народов, издавна населявших эти земли. Располагаясь на стыке двух природных зон (степей и полупустынь), территория парка отличается чрезвычайным природным разнообразием, контрастностью и живописностью ландшафтов. Удивительное сочетание на сравнительно небольшой площади огромных меловых гор, прорезанных глубокими оврагами-каньонами, с обширными массивами мало нарушенных типчаково-ковыльных степей, заливных лугов, пойменных и нагорных лесов, а также низкая заселенность и хозяйственная освоенность территории придают ей особую природоохранную значимость [5].

Озеро Эльтон — один из самых интересных природных объектов на территории Волгоградской области. Это настоящее чудо природы, жемчужина приволжской степи, крупнейшее в Европе соленое озеро, раскинувшееся среди ровной степной местности на площади 152 кв. км. Среди опустыненной заволжской степи огромная чаша озера Эльтон с водой золотисто-розового оттенка окаймлена широкой полосой сверкающих на солнце белоснежных кристаллов соли.

Трудно найти место, которое могло бы сравниться с озером Эльтон по красоте и разнообразию ландшафтов: озерные мелководья, пляжи, солончаки, живописные дельты впадающих рек, балки, овраги, долины.

Таким образом, на территории Волгоградской области возможно развитие следующих видов туризма, классифицирующихся по виду использования природных ресурсов.

1. Группа видов научного туризма. Объединяет в себе виды биологического, палеонтологического, археологического, спелеологического научного туризма, для развития которых в Волгоградской области существуют необходимые природные и социально-культурные предпосылки.

2. Лицензированная рыбалка и охота. Развиваются на основе богатого биоресурсного потенциала исследуемой территории.

3. Лечебный туризм. В Волгоградской области может быть представлен бальнеологическим курортным туризмом, а также климатолечением (в перспективе — климатокумысолечением).

4. Экологический туризм. Для этого вида туризма характерно не только познание природы туристами, но и внесение ими вклада в сохранение экосистем исследуемой территории.

5. Познавательный туризм. Проявляется в посещении туристами природных и историко-культурных достопримечательностей исследуемой территории.

6. Купально-пляжный туризм. Предполагает отдых на песчаных и задержанных пляжах.

7. Группа видов водного туризма. Включает в себя теплоходные маршруты и экскурсии на судах на воздушной подушке, греблю и туризм на маломерных судах, парусный и водно-моторный спорт, катание на водных лыжах.

8. Группа видов спортивного туризма. В Волгоградской области существуют возможности для развития велотуризма, автототоспорта (подготовка к ралли), авиаспорта (на базе имеющихся аэродромов), а также осуществления общефизической подготовки для удлинения сезона спортсменам из северных регионов России по другим видам спорта (футбол, баскетбол).

9. Приключенческий туризм. Вид туризма, связанный с определенными физическими нагрузками, а иногда и с опасностью для жизни. На исследуемой территории может быть представлен походами, сплавом по рекам на плотках, подводными погружениями и т. д.

Таким образом, определены виды туристско-рекреационной деятельности, возможные в пределах ландшафтных зон и районов Волгоградской области, что, в свою очередь, позволяет определить коэффициент пригодности каждого ландшафта как рекреационной местности.

Исходным материалом для оценки рекреационной местности по коэффициенту пригодности является ландшафтная карта (рис. 2), природно-ландшафтная характеристика и сумма возможных рекреационных функций изучаемого ландшафта.

Коэффициент пригодности ($K_{пр}$) определяется по формуле:

$$K_{пр} = \frac{C_{фм}}{C_{фр}},$$

где $C_{фр}$ — сумма функций региона (Волгоградской области); $C_{фм}$ — сумма функций местности (ландшафтной зоны, района).

Число видов рекреационной деятельности, т. е. число функций, характеризуется с помощью количественных показателей, каждая функция равнозначна одному виду. Таким образом, все ландшафтные районы Волгоградской области пригодны для функционирования 12 видов туристско-рекреационной деятельности. Исходя из количества видов, определена сумма функций для этого региона $C_{фр}$: она также равна 12 видам.

Проведенная по данной методике оценка рекреационного потенциала ландшафтных районов Волгоградской области позволила получить коэффициенты пригодности ландшафтных районов.

Степные ландшафтные районы: Восточно-Калачский — ($K_{пр}$) = 0,41; Хоперско-Бузулукский — ($K_{пр}$) = 0,58; Примедведицкий — ($K_{пр}$) = 0,53; Восточно-Донской — ($K_{пр}$) = 0,21; Придонской — ($K_{пр}$) = 0,33; Александровский — ($K_{пр}$) = 0,25; Иловлинско-Медведицкий — ($K_{пр}$) = 0,37; Иловлинско-Волжский — ($K_{пр}$) = 0,45; Иловлинско-Медведицкий — ($K_{пр}$) = 0,47; Иловлинско-Волжский (полого-волнистый овражно-балочный) — ($K_{пр}$) = 0,36; Чирско-Донской — ($K_{пр}$) = 0,63; Приволжский — ($K_{пр}$) = 0,81; Иловатский — ($K_{пр}$) = 0,59; Сыртовский — ($K_{пр}$) = 0,45; Еруслано-Торгунский — ($K_{пр}$) = 0,73.

Ландшафтные районы полупустынный зоны: полого-волнистый овражно-балочный — ($K_{пр}$) = 0,39.

Пустынно-степные: Сарпинский ложбино — ($K_{пр}$) = 0,23; Приахтубинский — ($K_{пр}$) = 0,40; Боткульский — ($K_{пр}$) = 0,38; Эльтонский ложбино — ($K_{пр}$) = 0,53; За-волжский — ($K_{пр}$) = 0,44; Джаныбекский — ($K_{пр}$) = 0,32; Горьковско-Торгунский — ($K_{пр}$) = 0,58.

Ландшафтные районы речных долин: Волго-Ахтубинский — ($K_{пр}$) = 0,74; Средне-Донской — ($K_{пр}$) = 0,66; Цимлянский — ($K_{пр}$) = 0,85; Иловлинский — ($K_{пр}$) = 0,77; Голубинский — ($K_{пр}$) = 0,53; Арчедино-Донской — ($K_{пр}$) = 0,66; Медведицко-Терсинский — ($K_{пр}$) = 0,49; Бузулукский — ($K_{пр}$) = 0,58; Прихоперский — ($K_{пр}$) = 0,79.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что Волгоградская область обладает значительным туристско-рекреационным потенциалом, обуславливающим возможности для развития туризма на его основе, обеспечение устойчивых потоков туристов как из регионов Российской Федерации, так и международного туризма. Своеобразие климатических, территориальных, культурно-исторических особенностей Волгоградской области определяет необходимость нестандартных подходов к организации различных видов туризма, которые могут быть организованы только в данном регионе с его специфическими особенностями и возможностями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Антюфеев А. В.* Агломеративное развитие городов: архитектурно-градостроительные идеи и их реализация (на примере Волгограда) // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2009. Вып. 15(34). — С. 179—183.
2. *Птичкина Г. С.* Архитектура и потребитель: метаморфозы города под влиянием глобального туризма // Социология города. 2010. № 3. — С. 10—15.
3. *Дюжнев С. А., Соколов И. И.* Система как механизм воплощения топоформ деятельности расселения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2008. № 1(5). — С. 2.
4. *Соколов И. И., Соколов А. И.* Система рекреационных территорий — основа эко-системы города // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2009. № 15(34). — С. 234—239.

5. *Птичникова Г. А. Антюфеева О. А.* Спрятанные памятники (о малоизвестных объектах культурного наследия послевоенного Сталинграда) // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2009. № 2(9). — С. 2.

1. *Antyufeyev A. V.* Aglomerativnoye razvitiye gorodov: arkhitecturno-gradostroitelnye idei i ikh realizatsiya (na primere Volgograda) // Vestnik Volgogr. gos. arkhitec.-stroit. un-ta. Ser. : Str-vo i arkhitek. 2009. Vyp. 15 (34). — S. 179—183.

2. *Ptichikova G. S.* Arkhitektura i potrebitel: metamorfozy goroda pod vliyuniem globalnogo turizma // Sotsiologiyu goroda. 2010. № 3. — S. 10—15.

3. *Dyuzhev S. A., Sokolov I. I.* Sistema kak mekhanizm voploshcheniya topoform deystvitelnosti rasseleniya // Vestnik Volgogr. gos. arkhitec.-stroit. un-ta. Ser. : Str-vo i arkhitek. 2008. №1 (5). — S. 2.

4. *Sokolov I. I., Sokolov I. I.* Sistema rekreatsionnykh territoriy — osnova ekosistemy goroda // Vestnik Volgogr. gos. arkhitec.-stroit. un-ta. Ser. : Str-vo i arkhitek. 2009. № 15 (34). — S. 234—239.

5. *Ptichnikova G. A., Antyufeyeva O. A.* Spryatavshiesya pamyatniki (o maloizvestnykh obek-takh klytynogo naslediya poslevoennogo Stalingrada) // Vestnik Volgogr. gos. arkhitec.-stroit. un-ta. Ser. : Str-vo and arkhitek. 2009. № 15 (9). — S. 2.

© Соколов И. И., Павлов Г. В., Соколов А. И.,
Горюнова Е. И., Соколов И. И., 2012

Поступила в редакцию
в мае 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Оценка рекреационного потенциала Волгоградской области / И. И. Соколов, Г. В. Павлов, А. И. Соколов, Е. И. Горюнова, И. И. Соколов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 28(47). С. 343—349.

НАШИ АВТОРЫ

Азаров Денис Валерьевич
Azarov Denis Valerevich

канд. техн. наук, доц. кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ
Candidate of Technical Science, Docent of Life Safety in Technosphere, VSUACE

Алпатов Вадим Юрьевич
Alpatov Vadim Yurevich

канд. техн. наук, доц., заместитель первого проректора, Самарский государственный архитектурно-строительный университет, avu75@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Docent, Deputy first vice-rector, Samara State University of Architecture and Civil Engineering

Антюфеев Алексей Владимирович
Antyufeev Aleksei Vladimirovich

канд. арх., проф., член-кор. Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), зав. кафедрой градостроительства, ВолгГАСУ, (8442)96-98-10, antyufeev_a@mail.ru
Candidate of Architecture, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS), Head of the Urban Development Department, VSUACE

Аржанухина Софья Петровна
Arzhanukhina Sofiya Petrovna

канд. техн. наук, эксперт, Поволжское отделение Российской академии транспорта, ФГУП «РосдорНИИ», soni.81@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Expert, Povolzhsk branch of the Russian Academy of Transport, "Rosdord R&D", FSUE

Арынов Калдыбай Канаевич
Arynov Kaldybay Kanaevich

д-р арх., проф., проф. кафедры архитектуры, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымухана, 13, 8(7172)7014602430

Бабаханов Борис Станиславович
Babakhanov Boris Stanislavovich

Doctor of Architecture, Professor, Professor of Architecture Department, Eurasian National University named after L.M. Gumilev
соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Degree-seeking student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Балашов Вячеслав Александрович
Balashov Vyacheslav Alexandrovich

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
Candidate of Technical Science, Docent, Docent of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU)

Бальзаников Михаил Иванович
Balzannikov Michail Ivanovich

д-р техн. наук, проф., ректор, Самарский государственный архитектурно-строительный университет, rector@samgasu.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, Rector, Samara State University of Architecture and Civil Engineering

Бартоломей Игорь Леонидович
Bartolomey Igor Leonidovich

аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Бегляров Андрей Эдуардович
Beglyarov Andrey Eduardovich

канд. техн. наук, ассистент, Московский государственный строительный университет (МГСУ), Bealandrey007@yandex.ru
Candidate of Engineering Science, Assistant, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)

Береговой Александр Маркович
Beregovoy Alexandr Markovich

д-р техн. наук, проф., проф. кафедры городского строительства и архитектуры, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, amberg@rambler.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of City Construction and Architecture Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering

Береговой Виталий Александрович
Beregovoy Vitaliy Alexandrovich

доц., канд. техн. наук, зав. кафедрой строительных материалов, Пензенский государственный институт архитектуры и строительства, yabereg@rambler.ru

Богомолов Александр Николаевич
Bogomolov Alexandr Nikolayevich

Docent, Candidate of Engineering Science, Head of Constructional Materials Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering

Богомолова Оксана Александровна
Bogomolova Oxana Alexandrovna

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, проректор по научной работе ВолгГАСУ, (8442)96-99-54, banzaritcyn@mail.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, Department Chairman of Hydraulic and Earthwork Structures, Vice-Rector for Scientific Research, VSUACE

Боровик Виталий Сергеевич
Borovik Vitaliy Sergeevich

канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ, (8442)96-99-45, bonzaritcyn@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Docent of Application Mathematics and Computer Science Department, VSUACE

Боровков Дмитрий Павлович
Borovkov Dmitry Pavlovich

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой экономики и управления дорожным хозяйством, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Economy and Administration of Public Roads Department, VSUACE

Бурлаченко Олег Васильевич
Burlachenko Oleg Vasilevich

канд. техн. наук, доц. кафедры пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, ВолгГАСУ, friggate@yandex.ru
Candidate of Technical Science, Docent of Fire Safety and Defence in case of Emergency Department, VSUACE, friggate@yandex.ru

Голованчиков Александр Борисович
Golovanchikov Alexandr Borisovich

д-р техн. наук, доц., проректор по учебно-воспитательной работе, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Docent, Vice-Rector for studies and educational work, VSUACE

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)
Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU)

Горюнова Екатерина Игоревна Goryunova Ekaterina Igorevna	аспирант, ВолгГАСУ, 8-915-380-35-74 Postgraduate student, VSUACE
Грачева Юлия Вячеславовна Gracheva Yuliya Vyacheslavovna	канд. техн. наук, доц. кафедры оснований и фундаментов, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 440028, г. Пенза, ул. им. Г. Титова, 28, gracheva_iv@mail.ru Candidate of Engineering Science, Docent of Bases and Foundations Department, Penza State University of Architecture and Construction
Грига Анатолий Данилович Griga Anatoly Danilovich	д-р техн. наук, проф., преподаватель, филиал Московского энергетического института в г. Волжском, (8442)39-03-97 Doctor of Engineering Science, Professor, Lecturer, Affiliate Institute of Moscow Power Engineering Institute in Volzhsky
Грига Степан Анатольевич Griga Stepan Anatolevich	канд. техн. наук, начальник ПТО, Волгоградская генерация ОАО «ЮГК-ТЭК-8», (8442)25-28-65, GrigaSA@ge-v.ru Candidate of Engineering Science, Head of Technical Engineering Department, Volgograd generation "YuGK-TGK-8", OJSC.
Гуреева Наталья Анатольевна Gureeva Natalya Anatolevna	канд. техн. наук, доц., доц. кафедры высшей математики, Волгоградский государственный аграрный университет (ВолГАУ), natalya-gureeva@vandex.ru Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Higher Mathematics Department, Volgograd State Agricultural University (VSAU)
Давиденко Анна Юрьевна Davidenko Anna Yurevna	старший преподаватель кафедры технологии и организации строительного производства, Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Самара, ул. Молодогвардейская, 194, sgasu.tosp@vandex.ru , 8(846)2421418 Senior Lecturer of Technology and Organization of Construction Production Department, Samara State University of Architecture and Civil Engineering
Диденко Василий Григорьевич Didenko Vasily Grigorevich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, ВолгГАСУ Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Fire Security and Defence in case of Emergency Department, VSUACE
Думанов Куанч Хасанбиевич Dumanov Kuanch Khasanbievich	аспирант, Научно-исследовательский институт бетона и железобетона, 8-928-076-22-174 Postgraduate student, Scientific Research Institute of Concrete and Steel Concrete
Еремеев Павел Дмитриевич Eremeev Pavel Dmitrievich	аспирант ВолгГАСУ, 8-9178302500, epd23@mail.ru Postgraduate student, VSUACE
Жабин Дмитрий Владимирович Zhabin Dmitriy Vladimirovich	аспирант кафедры строительных материалов, Московский государственный строительный университет (МГСУ), dimanuga-rus@mail.ru Postgraduate student of Construction Materials Department, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)
Желтобрюхов Владимир Федорович Zheltoybryukhov Vladimir Fedorovich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), z_vl_f@mail.ru Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Industrial Ecology and Life Safety Department, Volgograd State Technical University (VSTU)
Землянущнов Дмитрий Юрьевич Zemlyanushnov Dmitriy Yurevich	аспирант кафедры строительных материалов, Московский государственный строительный университет (МГСУ), gwetrus@mail.ru Postgraduate student of Construction Materials Department, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)
Золина Татьяна Владимировна Zolina Tatyana Vladimirovna	канд. техн. наук, доцент Candidate of Engineering Science, Docent
Иваницкий Максим Сергеевич Ivanitskiy Maxim Sergeevich	преподаватель, филиал Московского энергетического института в г. Волжском, mseiv@vandex.ru Lecturer, Affiliate Institute of Moscow Power Engineering Institute in Volzhsky
Иванов Александр Сергеевич Ivanov Alexandr Sergeevich	аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE
Иванов Игорь Викторович Ivanov Igor Viktorovich	доц. кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ Docent of Applied Mathematics and Computer Science Department, VSUACE
Кагайкин Илья Александрович Kagaykin Ilya Alexandrovich	архитектор, ООО «Росстройпроект», vvtol@mail.ru Architect, "Rosstroiproekt", Ltd.
Каганов Григорий Зосимович Kaganov Grigory Zosimovich	д-р искусствоведения, ведущий сотрудник, НИИ теории и истории архитектуры и градостроительства Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИТИАГ РААСН), grikagan@gmail.com Doctor of Art, senior member of staff, R&D of theory and history of architecture and city development of the Russian Academy of Architecture and Construction Science (R&D THACD RAACS)
Калашников Владимир Иванович Kalashnikov Vladimir Ivanovich	д-р техн. наук, проф., проф. кафедры технологии бетонов, керамики и вяжущих, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 440028, г. Пенза, ул. им. Г. Титова, 28, techbeton@pquas.ru Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Concrete, Ceramics and Binding Materials Department, Penza State University of Architecture and Construction
Калягин Юрий Александрович Kalyagin Yuriy Alexandrovich	д-р техн. наук, проф., проф. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), kalyaginua@vstu.edu.ru Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Heat and Gas Supply and Ventilation System Department, Volgograd State Technical University (VSTU)
Карпов Андрей Викторович Karpov Andrey Viktorovich	начальник отдела экологии, ООО «ЛУКОЙЛ Волгограднефтепереработка», kav1975@mail.ru Head of the Ecological Department, "Volgogradneftepererabotka", Ltd.

Карпов Денис Федорович Karpov Denis Fedorovich	старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), karpov.denis.85@mail.ru Senior lecturer of Heat and Gas Supply and Ventilation System Department, Volgograd State Technical University (VSTU)
Кимов Умар Заурбекович Kimov Umar Zaurbekovich	аспирант кафедры строительного производства, Кабардино-Балкарский госуниверситет им. Х.М. Бербекова, 8(8662)42-02-93 Postgraduate student of Construction Department, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov
Киреева Т.В. Kireeva T.V. Киселева Ольга Витальевна Kiseleva Olga Vitalevna Киселева Румия Зайдуллаевна Kiseleva Rumiya Zaidullaevna	инженер кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ Engineer of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE канд. техн. наук, доц. кафедры водохозяйственного строительства, Волгоградский государственный аграрный университет (ВолГАУ), 8-902-386-44-41 Candidate of Engineering Science, Docent of Water Facilities Construction Department, Volgograd State Agricultural University (VSAU)
Клименко Владимир Иванович Klimenko Vladimir Ivanovich	ассистент кафедры сопротивления материалов, ВолгГАСУ, vasa_klim@mail.ru Assistant of Resistance of Materials Department, VSUACE
Ковалев Кирилл Максимович Kovalev Kirill Maksimovich Кокодеева Наталия Евсегнеевна Kokodeeva Nataliya Evsegneevna	младший научный сотрудник, ВНИИ «Нефть», г. Москва Associate office, "Nefit" ARR&D канд. техн. наук, доц., Саратовский государственный технический университет, 8-937-245-80-89 Candidate of Engineering Science, Docent, Saratov State Technical University
Колодницкая Наталья Владимировна Kolodnitskaya Natalya Vladimirovna	аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), knv-volg@mail.ru Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU)
Корниенко Сергей Валерьевич Korniyenko Sergey Valerevich Королев Евгений Валерьевич Korolev Evgeniy Valerevich	канд. техн. наук, доц., ВолгГАСУ, svKorn2009@yandex.ru Candidate of Engineering Science, Docent, VSUACE д-р техн. наук, проф., Московский государственный строительный университет (МГСУ), KorolevEv@mgsu.ru Doctor of Engineering Science, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)
Косицына Эльвира Сергеевна Kositsyna Elvira Sergeyevna	канд. техн. наук, проф. кафедры экологического строительства и городского хозяйства, ВолгГАСУ Candidate of Engineering Science, Professor of Environmental Engineering and Urban Economy Department, VSUACE
Кочетков Андрей Викторович Kochetkov Andrey Viktorovich	д-р техн. наук, проф., Пермский национальный исследовательский университет, soni.81@mail.ru Doctor of Engineering Science, Professor, Perm National Research Polytechnic University
Кузьменко Ирина Юрьевна Kuzmenko Irina Yurevna	аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ, 8-904-404-888-4 Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE
Кукса Лев Владимирович Kuksa Lev Vladimirovich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой сопротивления материалов, ВолгГАСУ, (8442)96-98-60 Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Resistance of Materials Department, VSUACE
Ланько Сергей Владимирович Lanko Sergey Vladimirovich	аспирант кафедры геотехники, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ), 191005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 8(812)316-03-41, sergeylan-ko@gmail.com Postgraduate student of Geotechnics Department, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Леонтьева Виктория Викторовна Leonteva Viktoriya Viktorovna	ассистент кафедры водохозяйственного строительства, Волгоградский государственный аграрный университет (ВолГАУ), vv11984@yandex.ru Assistant of Water Facilities Construction Department, Volgograd State Agricultural University (VSAU)
Лобачева Галина Константиновна Lobacheva Galina Konstantinovna	д-р хим. наук, проф., проф. кафедры экологии и природопользования, Волгоградский государственный университет (ВолГУ), (8442)38-82-97, lobachevagalina2009@mail.ru Doctor of Chemical Science, Professor, Professor of Ecology and Nature Management Department, Volgograd State University (VSU)
Ляпин Александр Александрович Lyapin Alexandr Alexandrovich	д-р физ.-мат. наук, проф., 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, dortransnii@mail.ru Doctor of Physical and Mathematical Science, Professor
Макаров Олег Александрович Makarov Oleg Alexandrovich	канд. техн. наук, директор филиала ЗАО «Индустриальный риск» в городе Волгограде, o.a.makarov@mail.ru Candidate of Engineering Science, Director of the Subsidiary "Industrialnyi Risk", CJSC in Volgograd
Мангушев Рашид Александрович Mangushev Rashid Alexandrovich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой геотехники, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ), 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 5, npk-cgt@yandex.ru Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Geotechnics Department, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Масляев Александр Викторович Maslyayev Alexandr Viktorovich	канд. техн. наук, эксперт ГУ РИНКЦЭ по сейсмологии и сейсмостойкому строительству, Научно-исследовательская сейсмологическая лаборатория, ВолгГАСУ Candidate of Engineering Science, Expert of GA RRSCCE on Seismology and Antiseismic Construction, Scientific Seismological Laboratory, VSUACE

Медведева Оксана Николаевна Medvedeva OXana Nikolaevna	канд. техн. наук, доц., Саратовский государственный технический университет, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, medvedeva-on@mail.ru Candidate of Engineering Science, Docent, Saratov State Technical University
Меренцов Николай Анатольевич Merentsov Nikolay Anatolevich	аспирант кафедры процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет, steeple@mail.ru Postgraduate student of Processes and Instruments of Chemical Productions Department, Volgograd State Technical University (VSTU)
Миненко Екатерина Юрьевна Minenko Ekaterina Yurevna	канд. техн. наук, доц., доц. кафедры оптимизации и безопасности движения, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 440028, г. Пенза, ул. им. Г. Титова, 28, cat.minenko@mail.ru Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Optimization and Traffic Safety Department, Penza State University of Architecture and Construction
Муравьева Людмила Викторовна Muraveva Lyudmila Viktorovna	канд. техн. наук, доц. кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, ВолгГАСУ Candidate of Engineering Science, Docent of Building Constructions, Basis and Reliability of Constructions Department, VSUACE
Нестеров Родион Сергеевич Nesterov Rodion Sergeyevich	аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE
Олянский Юрий Иванович Olyanskiy Yuriy Ivanovich	д-р геол.-минерал. наук, доц., проф. кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ, Olyanskii@mail.ru Doctor of Geological and Mineral Science, Docent, professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE
Осипов Василий Михайлович Osipov Vasily Mikhailovich	д-р техн. наук, зам. главного инженера по экологии, охране труда и технике безопасности, МУП "ДПСУ № 1", osipovvm@mail.ru Doctor of Engineering Science, Deputy Chief Engineer for Ecology, Occupational Safety and Safety Procedures, MUE "Maintenance depot № 1"
Павлинова Ирина Игоревна Pavlinova Irina Igorevna	д-р техн. наук, проф., МГФКХиС, 109029, Москва, ул. Средняя Калитниковская, 30, vodakipv@rambler.ru Doctor of Engineering Science, Professor, MSAMSC
Павлов Григорий Вадимович Pavlov Grigory Vadimovich	студент, ВолгГАСУ, g-pavlov@mail.ru Student, VSUACE
Павлов Михаил Васильевич Pavlov Mikhail Vasilevich	старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ) Senior lecturer of Heat and Gas Supply and Ventilation System Department, Volgograd State Technical University (VSTU)
Петросян Тигран Овинович Petrosyan Tigran Ovinovich	tigrstar@mail.ru
Пивоваров Виталий Владимирович Pivovarov Vitaliy Vladimirovich	аспирант кафедры пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, ВолгГАСУ, Vitaliy-Pivovarov@vandex.ru Postgraduate student of Fire Security and Defence in case of Emergency Department, VSUACE
Попов Валерий Петрович Popov Valery Petrovich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой технологии и организации строительного производства, Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Самара, ул. Молодогвардейская, 194, sqa-su.tosp@yandex.ru , 8(846)2421418 Doctor of Technical Science, Professor, Head of Technology and Organization of Construction Production Department, Samara State University of Architecture and Civil Engineering
Посвятенко Юлия Викторовна Posvyatenko Yuliya Viktorovna	канд. ист. наук, доц. кафедры истории и культурологии, Московский государственный строительный университет (МГСУ) Candidate of Historical Sciences, Docent of History and Culturology Department, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)
Прокопенко Вячеслав Валентинович Prokopenko Vyacheslav Valentinovich	аспирант, ВолгГАСУ, v.v.p._24@mail.ru Postgraduate student, VSUACE
Прокофьев Павел Сергеевич Prokofev Pavel Sergeevich	аспирант ВолгГАСУ, ведущий инженер ООО «НИЦ Инвент», ps.prokofiev@gmail.com Postgraduate student, VSUACE, Chief Engineer at «SEC Invent» Ltd.
Прокшиц Владимир Никифорович Prokshits Vladimir Nikiforovich	канд. техн. наук, проф., Волгоградский государственный социально-педагогический университет Candidate of Engineering Science, Professor, Volgograd State Social and Pedagogical University
Птичникова Галина Александровна Ptichnikova Galina Alexandrovna	д-р арх., проф., проф. кафедры градостроительства, ВолгГАСУ, ptichnikova_g@mail.ru , (8442)-96-98-10 Doctor of Architecture, Professor, Professor of Urban Development Department, VSUACE
Сидоренко Владимир Федорович Sidorenko Vladimir Fedorovich	д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой экологического строительства и городского хозяйства, ВолгГАСУ Doctor of Engineering Science, Professor, honoured science worker of RF, Department Chairman of Ecological Building and Municipal Facilities, VSUACE
Соков Виктор Николаевич Sokov Viktor Nikolayevich	д-р техн. наук, Московский государственный строительный университет (МГСУ), Sersok_07@mail.ru Doctor of Engineering Science, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)
Соколов Антон Иванович Sokolov Anton Ivanovich	канд. арх., архитектор, ООО «Полиграфсервис-99», 8-903-468-51-20 Candidate of Architecture, Architect, "Poligrafservis" Ltd.
Соколов Иван Иванович Sokolov Ivan Ivanovich	канд. арх., проф., проф. кафедры градостроительства, ВолгГАСУ, g-pavlov@mail.ru Candidate of Architecture, Professor, Professor of Urban Development Department, VSUACE
Соколов Иван Иванович Sokolov Ivan Ivanovich	канд. арх., архитектор, ООО «Полиграфсервис-99», 8-903-468-51-20 Candidate of Architecture, Architect, "Poligrafservis" Ltd.

Соловьев Александр Владимирович Solov'ev Alexandr Vladimirovich	канд. техн. наук, соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ Candidate of Engineering Science, Degree-seeking student of Hydraulic and Earthwork Structures Department
Старцев Юрий Александрович Startsev Yuriy Alexandrovich	соискатель кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ Degree-seeking student of Life Safety in Technosphere, VSUACE
Субботин Олег Степанович Subbotin Oleg Stepanovich	заслуженный архитектор Кубани, почетный архитектор России, канд. арх., проф. кафедры архитектуры, Кубанский государственный аграрный университет, 350044, Краснодар, ул. Калинина, 13 Honoured Architect of Kuban, Honoured Architect of Russia, Candidate of Architecture, Professor of Architecture Department, Kuban State Agricultural University
Талалай Виктор Вячеславович Talalay Viktor Vyacheslavovich	аспирант, Саратовский государственный технический университет, 8-925-58-54-581 Postgraduate student, Saratov State Technical University
Тиратурян Артем Николаевич Tiraturyan Artem Nikolaevich	магистр, Ростовский государственный строительный университет, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, dortransnii@mail.ru Master, Rostov State University of Civil Engineering
Торшин Дмитрий Дмитриевич Torshin Dmitriy Dmitrievich	канд. техн. наук, доц. кафедры материаловедения и механики, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ, 8-903-316-55-70 Candidate of Engineering Science, Docent of Material Engineering and Mechanics Department, Volzhsky Institute of Construction and Technology (affiliate) VSUACE
Торшин Дмитрий Петрович Torshin Dmitriy Petrovich	канд. техн. наук, зав. кафедрой высшей математики, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ, 8-905-336-70-90 Candidate of Engineering Science, Head of Higher Mathematics Department, Volzhsky Institute of Construction and Technology (affiliate) VSUACE
Углова Евгения Владимировна Uglova Evgeniya Vladimirovna	д-р техн. наук, проф., Ростовский государственный строительный университет, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, dortransnii@mail.ru Doctor of Engineering Science, Professor, Rostov State University of Civil Engineering
Фокин Владимир Михайлович Fokin Vladimir Mikhailovich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ Doctor of Engineering Science, Professor, Department Chairman of Power Service and Heat Engineer, VSUACE
Фомичев Валерий Тарасович Fomichev Valeriy Tarasovich	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой общей и прикладной химии, ВолгГАСУ, (8442)96-98-14 Doctor of Engineering Science, Professor, Head of General and Applied Chemistry Department, VSUACE
Хежев Толя Амирович Khezhev Tolya Amirovich	д-р техн. наук, проф. кафедры строительного производства, Кабардино-Балкарский госуниверситет им. Х.М. Бербекова, 8(8662)42-02-93, hejev_tolva@mail.ru Doctor of Engineering Science, Professor of Construction Department, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov
Хижняк Елена Михайловна Khizhnyak Elena Mikhaylovna	эксперт, Пovolzhское отделение Российской академии транспорта, 8-937-711-0859 Expert, Povolzhsk branch of the Russian Academy of Transport
Холопов Игорь Серафимович Kholopov Igor Serafimovich	д-р техн. наук, проф., Самарский государственный архитектурно-строительный университет, kholop@rambler.ru Doctor of Engineering Science, Professor, Samara State University of Architecture and Civil Engineering
Царев Артур Игоревич Tzarev Artur Igorevich	студент, Московский государственный строительный университет (МГСУ), history@mgsu.ru Student, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)
Чарыкова Светлана Анатольевна Charykova Svetlana Anatolevna	аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ Postgraduate student of Engineer of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE
Чесноков Андрей Владимирович Chesnokov Andrey Vladimirovich	канд. техн. наук, доц. кафедры строительного производства, Липецкий государственный технический университет, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, avchesnokov@lipetsk.ru Candidate of Technical Science, Docent of Construction Operations Department, Lipetsk State Technical University
Четвертнов Александр Владимирович Chetvertnov Alexandr Vladimirovich	техник, ВолгГАСУ, gradyslav@gmail.com Technician, VSUACE
Шиян Станислав Иванович Shiyan Stanislav Ivanovich	канд. техн. наук, докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ Candidate of Engineering Science, Doctoral student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE
Шлапакова Оксана Игоревна Shlapakova Oxana Igorevna	студентка, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 440028, г. Пенза, ул. им. Г. Титова, 28 Student, Penza State University of Architecture and Construction
Юдин Павел Викторович Yudin Pavel Viktorovich	аспирант, МГAKХиС, 109029, Москва, ул. Средняя Калитниковская, 30, pavel-yudin1988@mail.ru Postgraduate student, MSAMSC
Юшкова Наталия Геннадиевна Yushkova Nataliya Gennadiyevna	канд. арх., доц. кафедры архитектуры жилых и общественных зданий, ВолгГАСУ, (8442)96-98-59 Candidate of Architecture, Docent of Apartment and Public Buildings Architecture Department, VSUACE
Янковский Леонид Вацлавович Yankovskiy Leonid Vatslavovich	канд. техн. наук, доц., Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ), vanekperm@yandex.ru Candidate of Engineering Science, Docent, Perm National Research Polytechnic University

Примечание. С авторами статей — аспирантами, докторантами и сотрудниками ВолгГАСУ — можно связаться по e-mail: info@vqgasu.ru (в теме письма указать наименование структурного подразделения, фамилию и инициалы адресата).

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» со второго полугодия 2007 г. временно выходит в одной серии «Строительство и архитектура», по 4 выпуска ежегодно.

Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Библиографические сведения о публикациях в журнале и приставные списки литературы представлены в **Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)** на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных **Ulrich's Periodicals Directory** американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Серия включена в базу данных **DOAJ — Directory of Open Access Journals** (Директория журналов открытого доступа) научной библиотеки университета г. Лунд (Швеция), www.doaj.org, обеспечивающую открытый доступ к полнотекстовым материалам научных и академических журналов на различных языках, поддерживающих систему контроля качества публикуемых статей.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором *лицензионного договора* (2 экз.) (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/ld-blank.pdf>), *анкеты* согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу <http://www.vgasu.ru/attachments/pdsog.pdf>), *выписки из протокола* заседания кафедры и одной *рецензии*. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в оригинале.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: *индекс УДК*; на русском и английском языках: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи заверяется личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — от 0,7 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office (Word 2003)*; шрифт *основного текста* — Times New Roman (Сур) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата A4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисовочной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Сур) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные *библиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Сyr) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников.

Библиографический список приводится *дважды*. Во втором варианте все русскоязычные библиографические записи приводятся *на латинице*, записи на других языках просто повторяются.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, *в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав*. Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректурная авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).

ISSN 1815-4360. Серия «Строительство и архитектура»

Тематические рубрики

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градоостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГАСУ www.vgasu.ru, в разделе *Издательская деятельность / Научные журналы / Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета* (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. Редакция «Вестника ВолгГАСУ». Тел. (8442)-96-98-46. E-mail: info@vgasu.ru (для В.И. Воробьева).

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно по тел. (8442)-96-98-46 у ответственного секретаря редсовета журнала **Владимира Ивановича Воробьева**.

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariaapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!
«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» временно выходит в одной серии
«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» (4 выпуска в год).
Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343,
на Интернет-сайте агентства «Книга-Сервис» — E85343
(по электронному каталогу можно подписаться и на текущие номера).
По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала
обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-46 к отв. секретарю редсовета *В.И. Воробьеву*

Продолжается прием статей в очередные выпуски
серий «**Политематическая**» и «**Строительная информатика**»
электронного сетевого научно-технического журнала «**ИНТЕРНЕТ-ВЕСТНИК ВолгГАСУ**».
*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,*
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, перерегистрирован ФГУП НТЦ «Информрегистр», свидетельство № **594 от 20.10.11**, номер гос. рег. **0421200065** (на 2012 г.), включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).

Подобная информация на сайте журнала www.vestnik.vgasu.ru

«Интернет-вестник ВолгГАСУ» не является электронной версией печатного журнала.
Оба журнала содержат оригинальные публикации.

По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале
«**СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА**»
обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс **29507**
и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс **E 29507**.
*Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,*
утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № **ФС77-26286 от 17.11.06**, Международным центром ISSN, **ISSN 1994-0351**, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).
Подобная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: www.vgasu.ru
в разделе Издательство / Научные журналы.

Научное издание

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

**Серия: Строительство и архитектура
2012. Вып. 28 (47)**

Редактор *М.С. Лысенко*
Перевод на английский язык *О.Ю. Юшко*
Компьютерная правка и верстка *Н.А. Дерина*
Компьютерный дизайн обложки *О.Ю. Мелешин*
Информационно-библиографическое обслуживание выпуска *Е.В. Хромова*

Подписано в печать 30.09.2012. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Уч.-изд. л. 16,0. Усл. печ. л. 31,3. Тираж 500 экз. Заказ № 72

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
Отдел оперативной полиграфии
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1