

ISSN 1815-4360



ВЕСТНИК

ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

СЕРИЯ:

СТРОИТЕЛЬСТВО
И АРХИТЕКТУРА

ВЫПУСК 9 (28)
2008

УДК 69+72
ББК 38

Учредитель:

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

Журнал входит в утвержденный

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

Главный редактор журнала:

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

Заместитель главного редактора:

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

Редакционный совет журнала:

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

Редакционная коллегия серии:

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

Адрес редакции:

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



© Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-
строительный университет», 2008

Федеральное агентство по образованию

**ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Серия: Строительство и архитектура

**Выпуск
9(28)**

Научно-теоретический и производственно-практический
журнал

2008

Выходит 4 раза в год

Основан в 1999 г.

Волгоград

ВолгГАСУ

С о д е р ж а н и е

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

Калошина С.В., Пономарев А.Б., Богомолов А.А. Анализ существующих методов расчета осадок зданий и напряженно-деформированного состояния оснований	4
Олянский Ю.И., Щекочихина Е.В. Влияние физико-механических характеристик на сейс-моакустические свойства сарматских глин	7
Богомолов А.А., Богомолов А.Н., Нестратов М.Ю., Шиян С.И., Соловьев А.В. Неко-торые новые характеристики процесса развития областей пластических деформаций в одно-родном связном основании заглубленного фундамента	12
Ширяева М.П., Дыба В.П., Богомолов А.А. Моделирование процессов пластического де-формирования оснований ленточных фундаментов	17
Белоусов А.С. Оценка расчетных значений динамических коэффициентов при заданном уровне сейсмического риска	22
Субботин А.И. Экспериментальные исследования дилатансионных характеристик грунта в массиве основания при действии полубесконечных нагрузок	27
Субботин А.И. Использование решения для основания ограниченной распределительной способности при развитии упругопластических решений	33
Павлющук С.А., Дыба В.П. Оценка несущей способности фундаментов на откосах	37

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Клочков Ю.В., Проскурнова О.А. Расчет сочлененных оболочек вращения при упруго-пластическом состоянии материала на основе метода конечных элементов	42
Старов А.В. Пластическое деформирование круглых мембран при квазистатическом нагру-жении с учетом больших перемещений	47
Старов А.В. Динамика пластических круглых мембран при кратковременном нагружении нагрузками большой интенсивности	51

СТРОИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАТИКА

Бандурин Н.Г. Программа для решения существенно нелинейных обыкновенных интегро-дифференциальных уравнений (INTDIF1M)	58
--	----

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

Девятков М.М., Вилкова И.М. Мероприятия по модернизации участков и элементов улично-дорожной сети города с учетом функционального назначения дорог и улиц	64
Саруханян М.В. Анализ состояния остановочных пунктов общественного пассажирского транспорта г. Волгограда	71
Балакин В.В. Закономерности формирования концентраций отработавших газов автомобильного транспорта в каньонах городских улиц	76

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Панова О.И. Специфика организации производства строительных предприятий и их конкурентоспособность	83
Абрамян С.Г. Синергетическое управление реконструкцией и капитальным ремонтом магистральных трубопроводов	87

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Страчков К.М. Непрерывный способ производства асфальтовых смесей с дисперсным битумом	93
Чередниченко Т.Ф. О кинетике подрастания трещин и разрушении бетона	99
Заднепровский Р.П., Трохимчук М.В. Моделирование адгезионного взаимодействия частиц дисперсных материалов	105

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ. ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА. ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Фокин В.М., Панасов Б.В., Окунева Е.П., Самойлова О.Ю. Энергоэффективные проекты строительства гибридных технологических систем в Волгоградской области	110
Куш Л.Р., Злобин В.Н., Фокин В.М. Использование корпускулярного легирования для совершенствования горелочных устройств при сжигании газообразных топлив	116
Биркин С.М. Теоретические исследования коэффициента теплопередачи систем обогрева биогазовых установок	119

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Мягкая Т.М., Гридасова Л.И., Ерохина Д.А. Исследование качества воды после охлаждения теплообменного оборудования металлургического завода	125
---	-----

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Добряков А.В. Радиационная обстановка на территории Волгоградской области и факторы, влияющие на ее формирование	130
---	-----

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ. АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Заславская А.Ю. Роль оболочки в формировании новейших архитектурных объектов	134
Потокина-Курилкина Т.М. Роль цвета в архитектурном ансамбле. Часть 2. Цвет в архитектурной системе конструктивизма	141

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Чернявский Ю.В., Чернявская Т.А., Зубакова Н.Н. Туристско-рекреационный и бальнеологический потенциалы в современном социально-экономическом развитии Волгоградской области	149
Соколов А.И. Ландшафтно-архитектурная среда рекреационных территорий Нижнего Поволжья	154

НАШИ АВТОРЫ	157
-------------	-----

C o n t e n s

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. BASEMENTS, FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES

Kaloshina S.V., Ponomarev A.B., Bogomolov A.A. Investigation of the existing methods for building settlement analysis and the stress-strain state of foundation beds	4
Olyansky Yu.I., Shchekochikhina E.V. Influence of Physical-and-Mechanical characteristics on the seismo-acoustic properties of Sarbat clays	7
Bogomolov A.A., Bogomolov A.N., Nestratov M.Yu., Shiyan S.I., Solovyov A.V. Certain new characteristics of the process of the development of plastic deformations areas in uniform cohesive bed of buried foundation	12
Shiryaeva M.P., Dyba V.P., Bogomolov A.A. Modeling of the processes of the plastic deformation of strip foundations' beds	17
Belousov A.S. Evaluation of the design values of dynamic coefficients for a set level of seismic risk	22
Subbotin A.I. Experimental investigation of dilatancy characteristics of soil in bed's massive charged with semi-infinite loads	27

Subbotin A.I. Employment of the solution for a bed of limited distribution ability for developing elastic-plastic solutions	33
Pavlushchik S.A., Dyba V.P. Estimation of bearing capacity of the foundation on soil slopes	37
STRUCTURAL MECHANICS	
Klochkov Yu.V., Proskurnova O.A. Finite Element Method based analysis of articulated shells of revolution under the elastic-plastic state of material	42
Starov A.V. Plastic deformation of round membranes with quasi-static loading taking into consideration large displacements	47
Starov A.V. Dynamics of plastic round membranes charged with short-term highly-intensive loads	51
CIVIL ENGINEERING INFORMATICS	
Bandurin N.G. Program for the solution of essentially nonlinear ordinary Integro-differential equations (INTDIF1M)	58
DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF HIGHWAYS, SUBWAYS, AERODROMES, BRIDGES AND TRAFFIC TUNNELS	
Devyatov M.M., Vilkoval I.M. Measures aimed at modernization of segments and elements of city street road network taking into account the functional purpose of roads and streets	64
Sarukhanyan M.V. Analysis of the condition of public transport stops in Volgograd city	71
Balakin V.V. Regularities of the formation of automobiles' exhaust gases concentrations in the canyons of city streets	76
TECHNOLOGY AND CONTROL IN CONSTRUCTION	
Panova O.I. Specific character of organization of production at construction enterprises and their competitiveness	83
Abramyan S.G. Synergistic control over reconstruction and capital repair of main pipelines	87
BUILDING MATERIALS AND ARTICLES	
Strachkov K.M. Continuous method for production of asphalt mixtures with dispersive bitumen	93
Cherednichenko T.F. On the kinetics of cracks' growth and concrete destruction	99
Zadneprovsky R.P., Trokhimchuk M.V. Modeling of the adhesion interaction of dispersed materials' particles	105
HEAT SUPPLY. VENTILATION, AIR CONDITIONING. GAS SUPPLY AND ILLUMINATION. WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION	
Fokin V.M., Panasov B.V., Okyeva Ye.P., Samoylova O.Yu. Energy-efficient projects for construction of hybrid technological systems in the Volgograd region	110
Kushch L.R., Zlobin V.N., Fokin V.M. Employment of corpuscular alloying for improvement of burner devices while burning gaseous fuels	116
Birkin S.M. Theoretical study of the heat transfer coefficient of biogas plants' heating systems	119
WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION	
Myagkaya T.M., Gridasova L.I., Yerokhina D.A. Investigation of water quality after cooling heat-exchange equipment of metallurgical plant	125
INDUSTRIAL ECOLOGY AND LIFE SAFETY IN CIVIL ENGINEERING	
Dobryakov A.V. Radiation Environment in the territory of the Volgograd region and the factors influencing its formation	130
THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF THE HISTORIC AND ARCHITECTURAL HERITAGE. ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	
Zaslavskaya A.Yu. Role of enclosure in the formation of the newest architectural objects	134
Potokina-Kurilkina T.M. The role of colour in the architectural ensemble. Part 2. Colour in the architectural system of constructivism	141
ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING. LANDSCAPE ARCHITECTURE	
Chernyavsky Yu.V., Chernyavskaya T.A., Zubakova N.N. Tourist-and-recreation and balneal potentials in the current socio-economical development of the Volgograd region	149
Sokolov A.I. Landscape-and-Architectural medium of recreational territories in the Lower Volga region	154
OUR AUTHORS	157

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

УДК 624.154

С.В. Калошина, А.Б. Пономарев, А.А. Богомолов

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ОСАДОК
ЗДАНИЙ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЙ**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций зданий и сооружений совместно с грунтовыми основаниями в последнее время выполняется с использованием численных методов, в частности метода конечных элементов (МКЭ), который является основой многих коммерческих программ. Все компьютерные программы расчета включают в себя физические уравнения или модели материала, которые определяют поведение конструкции в процессе ее нагружения [5].

По данным исследований, опубликованным в [6], наилучшие результаты дает упругопластическая модель грунта. В принятой модели грунт представ-

ляет упругую идеально пластическую среду, подчиняющуюся ассоциированному закону пластического течения, т.е. в допредельном состоянии при давлениях, не превышающих расчетное сопротивление основания, грунт рассматривается как сплошная линейно-деформируемая среда, переходящая при дальнейшем нагружении в предельное (пластическое) состояние в соответствии с применяемыми критериями текучести (прочности). В качестве критерия текучести предусмотрено использование условий Кулона — Мора, Гениева, Мизеса — Шлейхера — Боткина. Целесообразность использования в расчетах оснований нелинейных методов подтверждается возможностью одновременного учета прочностных (c ; φ) и деформационных (E , ν) характеристик грунта, формы подошвы фундамента, его жесткости и заглубления, а также характера приложения нагрузок при давлениях, превышающих расчетное сопротивление грунтов [7].

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

© Калошина С.В., Пономарев А.Б., Богомолов А.А., 2008

Поступила в редакцию
в декабре 2007 г.

УДК 624.131

Ю. И. Олянский, Е. В. Щекочихина**ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
НА СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА САРМАТСКИХ ГЛИН**

Выполнено ультразвуковое просвечивание образцов сарматских глин. Выявлены закономерности изменения скоростей распространения упругих волн V_p от показателей физико-механических свойств грунта. Полученные результаты могут использоваться при сейсмическом микрорайонировании территорий юга Русской платформы.

Take place study the clay surmat rock of sea genesis the velocity of longitudinal waves V_p dependent from quantity P_m , $J_{0,1}$, K_d .

Исследовались образцы глин среднесарматского возраста морского генезиса, широко представленные на юге Русской платформы и в Северном Причерноморье, в частности. Образцы отбирались непосредственно на территории междуречья Прут — Днестр в интервале глубин от 2,0 до 20,0 м. Глины зеленовато-серого, зеленого и серого цвета. Слабо выветрелые и неветрелые, полиминеральные гидрослюдисто-монтмориллонитового состава, содержание дисперсной фракции от 40 до 80 %, слабозасоленные, средние и сильно набухающие. Образцы преимущественно твердой консистенции с коэффициентом уплотненности $K_d = 0,94...1,18$ [1].

Указанные отложения широко используются в Молдове в качестве оснований для инженерных сооружений. С ними также связаны многочисленные оползневые явления в Центральной и Северной части междуречья Прут — Днестр. Аналогичные грунты распространены на территории Восточного Крыма и на Северном Кавказе, где они также залегают в пределах глубины активной зоны инженерных сооружений.

Территория южной части Русской платформы на отдельных участках относится к сейсмической зоне (в соответствии со СНиП-II-7-81). Застройка таких участков требует изучения сейсмических свойств грунтов оснований и выполнения сейсмического микрорайонирования. Сейсмические наблюдения выполняются в виде комплекса исследований, одним из которых является лабораторное ультразвуковое просвечивание образцов глинистого грунта [2] с целью детального изучения скоростных характеристик и параметров затухания. Полученные в результате ультразвуковых исследований истинные значения скоростей распространения упругих волн используются для уточнения данных, определенных другими методами, и в итоге — для расчета приращения сейсмического балла и составления карты сейсмического микрорайонирования.

Ультразвуковое просвечивание образцов выполнялось серийным импульсным дефектоскопом УКБ-1М с частотами датчиков 60...100 кГц. Просвечивались цилиндрические образцы, датчик и приемник располагались по оси образца на расстоянии 10 см. После просвечивания на том же образце проводились пенетрационные исследования и сдвиговые испытания по методу консолидированного среза. Из этого же монолита (образца горной породы) выполнялись опыты по свободному набуханию, определялась влажность набухшего грунта и осуществлялось его просвечивание.

В связи с тем, что сейсмоакустические свойства глинистого грунта в значительной мере зависят от степени его агрегированности — характера структурных связей между твердыми грунтовыми частицами, специально готовились образцы паст — аналоги соответствующих образцов глин. Для этого образцы высушивались, измельчались и просеивались через сито размером ячейки 1,0 мм. Порошок заливался водой в количестве, необходимом для придания ему влажности образца-аналога, и уплотнялся в уплотнителе до плотности образца-аналога. Такие исследования совместно с испытаниями набухшего грунта позволяют прогнозировать сейсмоакустические свойства «бесструктурных» сарматских глин в зоне интенсивного выветривания и оползнеобразования.

Особенностью геологических разрезов, сложенных дисперсными породами, является относительно слабая их дифференциация по скоростям распространения упругих волн. Данный вывод В.Н. Никитина [3] вполне подтверждается полученными результатами. Для группы образцов сарматских глин с весьма различными показателями их физико-механических свойств (табл. 1) получены значения скоростей упругих продольных волн V_p от 1300 до 1840 м/с (табл. 2). Корреляционный анализ зависимости V_p от показателей физических свойств свидетельствует об отсутствии такой связи. Коэффициенты корреляции с большинством показателей физических свойств не превышают $r = 0,4$.

Т а б л и ц а 1

*Физико-механические свойства образцов сарматских глин,
подвергшихся ультразвуковому просвечиванию*

№ обр.	Физические свойства						Механические свойства			
	ρ , г/см ³	ρ_d , г/см ³	W	n	S_r	K_d	$\tau_{0,1}$, МПа	c , МПа	φ , град	P_m , МПа
1	2,05	1,67	0,23	0,39	1,00	1,03	2,18	2,86	18	7,9
325	2,04	1,67	0,22	0,39	0,96	0,94	1,60	2,48	7	4,4
330	2,08	1,68	0,24	0,39	1,00	0,83	1,50	1,34	10	4,5
332	1,99	1,58	0,26	0,43	0,96	1,10	1,38	1,25	8	8,5
333	1,91	1,48	0,29	0,46	0,94	0,91	1,25	1,09	10	5,5
334	1,98	1,53	0,29	0,45	1,00	0,94	1,50	1,31	10	7,0
335	1,94	1,48	0,31	0,46	0,99	0,98	1,38	1,25	8	6,7
338	2,12	1,77	0,20	0,36	0,99	1,05	2,38	2,08	18	6,8
340	2,10	1,74	0,17	0,37	0,82	1,18	2,25	1,82	22	8,9
347	2,02	1,62	0,25	0,41	0,98	0,90	1,60	1,46	11	4,1
348	2,10	1,67	0,23	0,39	0,98	1,04	1,55	1,33	14	6,3
351	2,20	1,86	0,18	0,32	1,00	1,06	2,30	1,88	24	8,9
400	2,04	1,63	0,25	0,41	1,00	0,98	1,35	0,93	21	6,3
406	2,08	1,67	0,24	0,39	1,00	0,98	1,75	1,49	15	8,1
437	2,03	1,67	0,21	0,40	0,91	1,00	1,83	1,42	22	7,8
438	2,07	1,72	0,20	0,38	0,94	1,03	2,50	1,93	30	8,0
448	2,13	1,75	0,22	0,37	1,00	1,04	2,05	1,69	22	8,1

В связи с этим анализировалось влияние скорости упругой волны V_p от влажности глины. Несмотря на то, что в природном состоянии влажность образцов колеблется в достаточно широком интервале: 0,17...0,31, колебание скоростей V_p весьма незначительно: 1840...1630 м/с (для указанных значений влажности соответственно). Причина этому — свойства связанной воды, обу-

словливающей влажность глин в природном состоянии. Как известно, связанная вода по своим свойствам близка к твердому телу, в частности, по скорости распространения упругих волн. Уменьшение плотности скелета при набухании и разуплотнении глин ведет к увеличению влажности, достигающей 0,26...0,40, имеет своим следствием снижение скорости продольных волн в 1,1...1,5 раз и составляет 1000...1680 м/с.

Т а б л и ц а 2

Скорость прохождения продольных волн через образцы сарматских глин природного сложения (V_{p1}), грунтовые пасты (V_{p2}) и набухший грунт (V_{p3})

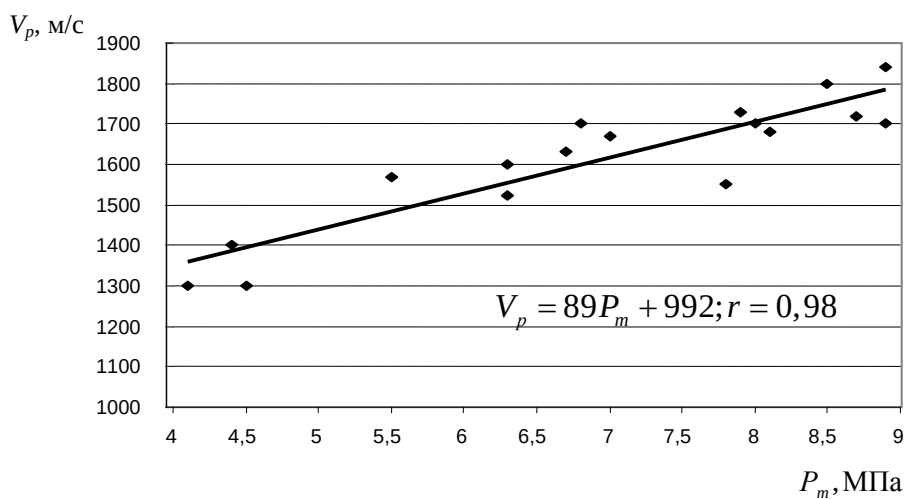
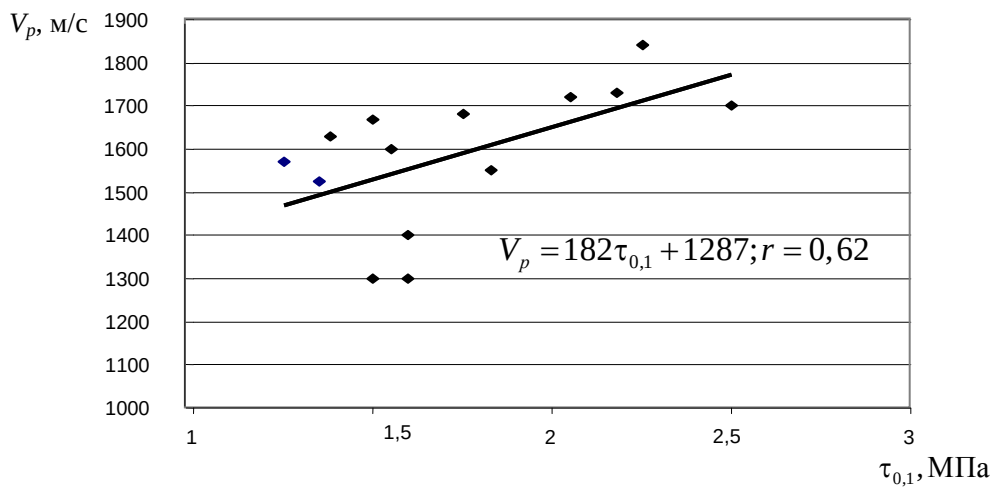
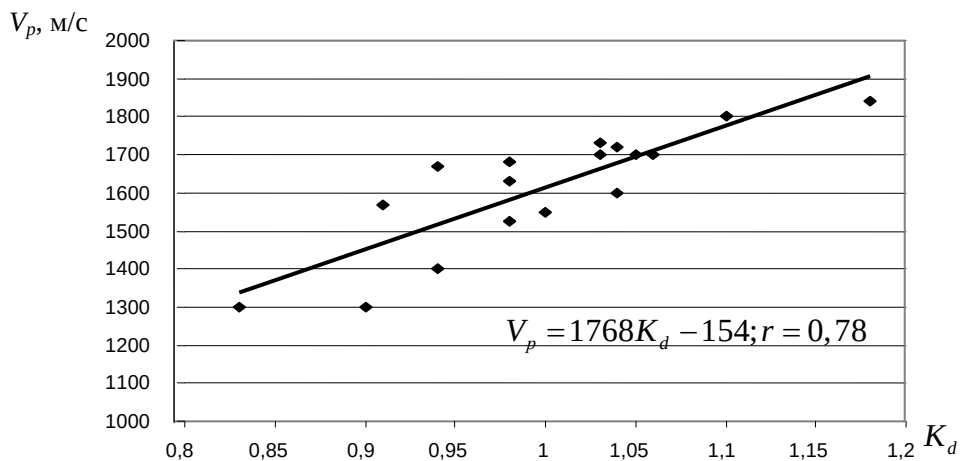
№ обр.	Скорость прохождения продольных волн, м/с			$\frac{V_{p1}}{V_{p2}}$	$\frac{V_{p1}}{V_{p3}}$	Показатели набухания	
	V_{p1}	V_{p2}	V_{p3}			W_H	$\varepsilon_{s\dot{o}}$
1	1730		1650		1,1	0,31	0,09
325	1400	670		2,1		0,34	0,15
330	1300	700	1000	1,9	1,3	0,29	0,15
332	1800					0,46	0,14
333	1570					0,34	0,05
334	1670		1120		1,5	0,40	0,16
335	1630		1200		1,3	0,41	0,13
338	1700		1180		1,4	0,33	0,22
340	1840	1000			1,5	0,40	0,28
347	1300		1100		1,1	0,30	0,10
348	1600	1100	1500	1,4	1,1	0,29	0,09
351	1700					0,29	0,09
400	1625	850	1525	1,9	1,1	0,26	0,01
406	1680	800	1420	2,0	1,1	0,32	0,17
437	1550	800	1390	1,9	1,1	0,30	0,13
438	1700					0,27	0,06
446	1720	960	1680	1,8	1,1	0,31	0,16

Вследствие того, что прочность структурных связей имеет определяющее влияние на скорость упругих волн, анализировались скорость V_p в грунтовых пастах (при природной влажности). Установлено, что скорость V_p при разрушении структурных связей кристаллизационного (цементационного) типа снижается в среднем в 2 раза и в целом составляет 670...1100 м/с.

Теснота связи скорости V_p от показателей механических свойств глин средняя и высокая. Наибольшие значения коэффициентов корреляции с показателями: удельного сопротивления пенетрации — P_m , $r = 0,98$; K_d , $r = 0,78$; срезающего усилия — $\tau_{0,1}$, $r = 0,62$ (рис.).

Выводы. Изменение скоростей распространения упругих волн в образцах горных пород имеет большое практическое значение. Скорость распространения упругих волн представляют собой независимые упругие характеристики. Чем выше значение скорости, тем более упругая порода, т.е. тем значительнее ее сопротивляемость действующим внешним нагрузкам.

Поскольку все показатели физических свойств горных пород тесно взаимосвязаны и изменение какого-либо одного из них неизбежно влечет за собой изменение других, скорости упругих волн могут использоваться для косвенного определения целого ряда показателей инженерно-геологических свойств пород. Для сарматских глин с их помощью могут быть определены удельное сопротивление пенетрации, срезающее усилие и показатель уплотненности.



Графики зависимости скорости распространения продольных волн V_p от показателей свойств сарматских глин

Особо следует отметить значительное снижение скоростей продольных волн при дезинтеграции глинистых пород, которое может иметь место на крутых склонах под действием экзогенных процессов (циклического набухания и усадки в частности). Падение скорости V_p в этом случае в среднем составляет 2 раза, что ведет к возрастанию амплитуды колебания и может способствовать повышению балльности территории при сейсмическом микрорайонировании.

Полученные результаты ультразвуковых исследований в целом не противоречат данным других авторов и сопоставлены с исследованиями В.А. Васильева [4] для неогеновых глин Северного Кавказа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Монюшко А.М.* Инженерно-геологические особенности сармат-меотических глин Молдовы / А.М. Монюшко, Ю.И. Олянский. Кишинев : Штиинца, 1991. 172 с.
2. Руководство по изучению глинистых грунтов при инженерных изысканиях для целей сейсмического микрорайонирования М. : Стройиздат, 1984. 16 с.
3. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород : в 2-х т. Т. 2. Лабораторные методы. М. : Недра, 1984. 438 с.
4. *Васильев В.А.* Инженерно-геологические и геоакустические свойства глинистых пород района Кавказских Минеральных Вод и сопредельных территорий / Научно-методические основы инженерных изысканий в Предкавказье. М. : Стройиздат, 1983. С. 94—106.

© Олянский Ю.И., Щекочихина Е.В., 2008

Поступила в редакцию
в ноябре 2007 г.

УДК 624.04

А.А. Богомолов, А.Н. Богомолов, М.Ю. Нестратов, С.И. Шиян, А.В. Соловьев

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ОБЛАСТЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ОДНОРОДНОМ СВЯЗНОМ ОСНОВАНИИ ЗАГЛУБЛЕННОГО ФУНДАМЕНТА

В плоской постановке рассматривается процесс развития областей пластических деформаций в связном однородном основании заглубленного фундамента. Установлен вид и получена графическая аппроксимация зависимости величины проникновения ОПД вглубь основания от интенсивности равномерного внешнего воздействия. Приведены графики для определения одной из критических нагрузок на основание.

The authors consider the development process of plastic deformations areas in uniform cohesive bed of buried foundation within the framework of plane statement. The type has been determined as well as the graphic approximation of the dependence of the penetration depth magnitude of plastic deformations areas into the bed on the intensiveness of the uniform external force has been obtained. The graphics are given to determine one of the critical loads on the bed.

Для определения напряженно-деформированного состояния основания фундаментов глубокого заложения использовано аналитическое решение первой основной задачи теории упругости для полуплоскости со щелевидным вырезом [1], полученное на основе применения методов теории функции комплексного переменного [2]. Впервые применение этих методов для анализа напряженно-деформированного состояния оснований фундаментов было, по всей видимости, предложено З.Г. Тер-Мартirosяном и Г.Е. Шалимовым [3].

Для фундаментов глубокого заложения даже при больших осадках развитие поверхностей скольжения ограничивается очень малой областью, примыкающей к поверхности фундамента или к поверхности уплотненного ядра. Поэтому для данного случая в качестве критерия достижения предельного состояния нами была принята нагрузка, при которой смыкаются области пластических деформаций рис. 1, и как следствие происходит резкое увеличение скорости развития осадок фундамента.

Обоснование использования выбранной нами расчетной схемы (см. рис. 1) и методика определения коэффициентов отображающей функции описаны нами в публикации [4].

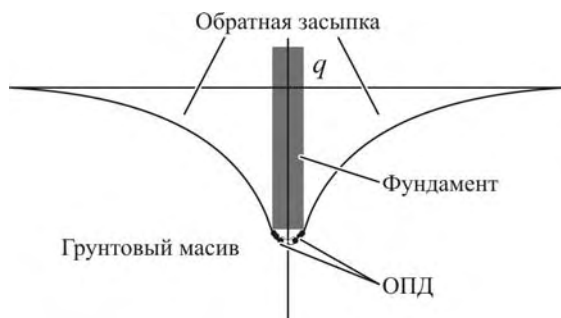


Рис. 1. Расчетная схема основания фундамента глубокого заложения и область пластической деформации ($2b/h=0,2$; $q=9,2\gamma h$; $\varphi=19^\circ$; $\sigma_{сипр}^{пр}=6,9$)

В [5—8] показано, что процесс развития областей пластических деформаций (ОПД) в основании равномерно нагруженного заглубленного ленточного фундамента протекает со следующими особенностями:

1) кривую $z^*=f(q)$ (рис. 2) зависимости глубины проникновения ОПД в грунт под подошву фундамента от интенсивности внешнего воздействия можно разбить на три участка, которые будут представлять собой отрезки прямой линии. Это значит, что величина z^* на каждом из этих участков прямо пропорциональна величине интенсивности внешнего воздействия. Каждый из этих участков соответствует одному из трех этапов развития ОПД. Таким образом, зависимость вида $z^*=f(q)$ является «трехлинейной»;

2) кривые, изображенные на рис. 2, не исходят из начала координат. Это значит, что для начала процесса образования и развития ОПД необходим некоторый начальный уровень напряжений, при котором преодолевается внутреннее сопротивление грунта сдвигу в точках активной зоны фундамента, расположенных в непосредственной близости от его краев;

3) на втором этапе процесса развития ОПД, который характеризуется весьма незначительным увеличением интенсивности внешнего воздействия, «скорость роста» ОПД $V_z=dz^*/dq$ оказывается на порядок и более большей, чем на первом и третьем этапах. На этом этапе происходит смыкание областей пластических деформаций, развивающихся под краями фундамента. В момент смыкания ОПД величина V_z имеет максимальное численное значение (см. рис. 2, б);

4) кривые вида $A_z=f(q)$, где $A_z=d^2z^*/dq^2$ («ускорение роста ОПД»), приведенные на рис. 2, в, имеют горизонтальные участки, совпадающие с осью абсцисс. Это говорит о том, что первый и третий этапы процесса развития ОПД проходят с постоянными, незначительно отличающимися друг от друга по величине, «скоростями».

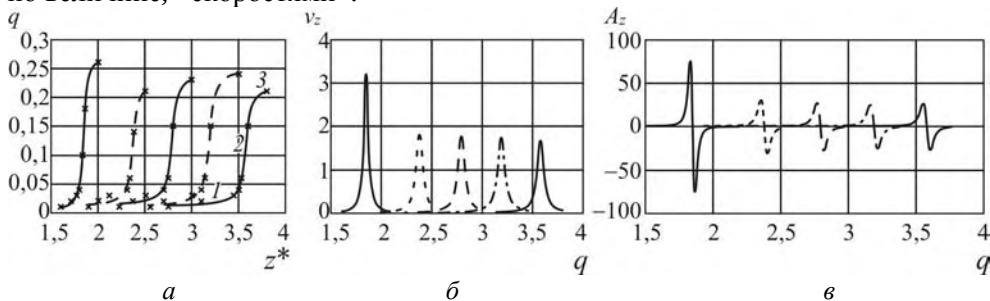


Рис. 2. Графические зависимости вида $z=f(q)$ (а); $V_z=f(q)$ (б) и $A_z=f(q)$ (в)

Дальнейшее увеличение интенсивности внешней нагрузки приводит к развитию областей сдвигов или областей пластических деформаций.

На рис. 2 в качестве примеров изображены кривые зависимостей вида $z^*=f(q)$, $V_z=f(q)$ и $A_z=f(q)$ при условии, что отношение ширины фундамента к глубине его заложения $2b/h_3 = 0,3$; величина приведенного давления связности $\sigma_{св} = 1$ ($\sigma_{св} = C(\rho g h_3 \tan \varphi)^{-1}$, где C — удельное сцепление грунта; g — ускорение свободного падения), плотность грунта $\rho = 2000 \text{ кг/м}^3$, величина коэффициента бокового давления $\xi_0 = 0,75$, что соответствует глинистым грунтам [9; 10], а угол внутреннего трения принимает поочередно шесть значений $\varphi = 7^\circ; 12^\circ; 18^\circ; 22^\circ; 26^\circ; 30^\circ$.

Оказалось, что все кривые вида $z^* = f(q)$; могут быть с точностью, достаточной для инженерных расчетов, аппроксимированы зависимостью

$$z^* = a \cdot \arctg(q \cdot b - c) + d, \quad (1)$$

где z^* — значение глубины развития ОПД; q — интенсивность внешнего равномерно распределенного воздействия; a ; b ; c ; d — коэффициенты. Причем, a и d имеют размерность [М], b — [Па⁻¹], c — безразмерный коэффициент.

Следует отметить, что данные положения можно считать справедливыми как для песчаных, так и для плотных глинистых грунтов, и фундаментов, имеющих относительное заложение $0,1 \leq 2b/h_3 \leq 0,3$, так как компьютерное моделирование процесса образования и развития ОПД проведено для таких значений физико-механических свойств грунтов, которые охватывают и объединяют все возможные сочетания величин удельного сцепления C , угла внутреннего трения φ и плотности ρ , характерных для этих типов грунтов.

Основываясь на вышесказанном, процесс потери устойчивости основанием ленточного фундамента мелкого заложения можно представить следующим образом:

сначала происходит уплотнение грунта основания, причем, зависимость величины осадки от величины нагрузки остается линейной и еще не реализуется внутреннее сопротивление грунта сдвигу. Этот подготовительный этап заканчивается в момент достижения интенсивностью внешней нагрузки значения, при котором в грунтовой массе под краями фундамента образуются отдельные площадки сдвигов;

дальнейшее увеличение интенсивности внешней нагрузки приводит к дальнейшему развитию областей сдвигов или областей пластических деформаций;

в момент достижения нагрузкой некоторого критического значения, соответствующего максимальной «скорости» развития ОПД, происходит смыкание пластических областей, образовавшихся под противоположными краями фундамента;

к этому моменту внутри пластической области и за ее пределами завершается формирование наиболее вероятной поверхности выпора. При ее выходе на поверхность грунта происходит общий сдвиг в основании, сопровождающийся выпором грунта [11].

Для фундаментов глубокого заложения даже при больших осадках развитие поверхностей скольжения ограничивается очень малой областью, примыкающей к поверхности фундамента или к поверхности уплотненного ядра. Поэтому для данного случая в качестве критерия достижения предельного состояния нами была принята нагрузка, при которой смыкаются области пластических деформаций и, как следствие, происходит резкое увеличение скорости развития осадок фундамента.

Очевидным является то, что «скорость» процесса образования и развития областей пластической деформации будет зависеть от физико-механических свойств грунтов: C ; φ ; ξ_0 ; ρ ; q и $2b/h$, т.е.

$$q^{\text{пред}} = f(C; \varphi; \xi_0; \rho; q; 2b/h). \quad (2)$$

Для определения вида зависимости (2) использована компьютерная программа [12]. При вычислениях принято: $\xi_0 = 0,75$; угол внутреннего трения

принимает значения $7^\circ \leq \varphi \leq 30^\circ$; величины C , ρ , и h приняты такими, что $0,5 \leq \sigma_{св}^{пр} \leq 14$; $2b/h \in [0,1; 0,3]$.

Интервалы изменения всех перечисленных параметров включают в себя все соответствующие значения, регламентируемые СНиП [13].

В результате вычисления значений предельной нагрузки для всех возможных параметров были построены графики зависимости вида $q^{пред} = f(\varphi)$, приведенные на рис. 3.

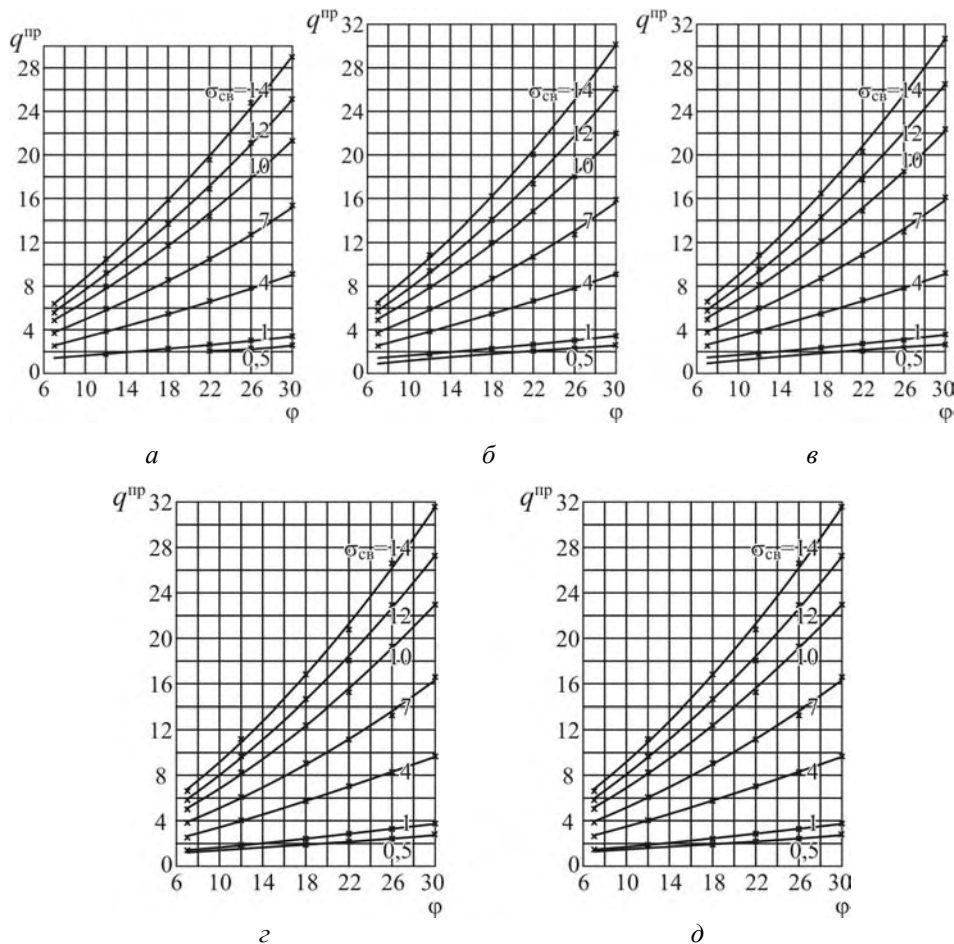


Рис. 3. Графики зависимостей вида $q^{пред} = f(\varphi)$ при $2b/h=0,1$ (а); $2b/h=0,15$ (б); $2b/h=0,2$ (в); $2b/h=0,25$ (з); $2b/h=0,3$ (д)

Оказалось, что все полученные значения могут быть аппроксимированы зависимостью:

$$q^{пред} = K_0 + K_1\varphi + K_2\varphi^2, \quad (3)$$

где K_0 , K_1 , K_2 — некоторые коэффициенты, причем; K_0 — безразмерен, а K_1 и K_2 имеют размерности соответственно град^{-1} и град^{-2} .

Используя эти графические зависимости, при помощи линейной интерполяции, можно определить величину предельной нагрузки для любых возможных параметров C ; φ ; ρ ; $\sigma_{св}^{пр}$; $2b/h$.

Выводы. 1. Установлено, что для любого сочетания расчетных параметров рассмотренных в настоящей работе, зависимость величины глубины проникновения ОПД в однородное связное основание заглубленного фундамента от интенсивности равномерного внешнего воздействия графически интерпретируется как «трехлинейная». «Скорости» развития ОПД на первом и третьем участках практически одинаковы, но на порядок, два и более отличаются от соответствующей «скорости» на втором участке.

2. Получены графические зависимости, позволяющие определять величину предельно допустимой нагрузки на основание, определенной из условия смыкания областей пластических деформаций, образовавшихся под краями фундамента, если величина его относительного заложения $0,1 \leq 2b/h_3 \leq 0,3$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богомолов А.Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996.
2. Мусхилишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Наука, 1968.
3. Тер-Матирисян З.Г. Определение несущей способности основания с учетом обратной засыпки в котловане / З.Г. Тер-Матирисян, Г.Е. Шамилов // Известия вузов: Строительство и архитектура. 1976. № 6.
4. Богомолов А.Н. Обоснование выбора расчетной схемы при определении несущей способности фундаментов глубокого заложения / А.Н. Богомолов, М.Ю. Нестратов, Т.В. Ерещенко // Современные проблемы фундаментостроения : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конференции. Т. 1—2. Волгоград, 2001.
5. Богомолов А.Н. К вопросу о форме уплотненного грунтового ядра, образующегося в основании фундамента // А.Н. Богомолов, О.А. Вихарева, Д.П. Торшин / Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. 2002. Вып. 4.
6. Богомолов А.Н. Зависимость формы уплотненного грунтового ядра, образующегося под подошвой ленточного фундамента мелкого заложения, от геометрических параметров фундамента // А.Н. Богомолов, О.А. Вихарева, С.И. Шиян / Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях : труды Междунар. науч.-техн. конференции, посвящ. 50-летию БашНИИСтроя. Т. 3. Уфа, 2006.
7. Богомолов А.Н. Исследование процесса образования и развития областей пластических деформаций в однородном основании фундамента глубокого заложения // А.Н. Богомолов, М.Ю. Нестратов // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов : материалы IV Междунар. науч.-техн. конференции. Ч. 3. Волгоград, 2005.
8. Богомолов А.Н. Некоторые особенности процесса развития областей пластических деформаций в однородном основании заглубленного фундамента // А.Н. Богомолов, И.И. Никитин / Международная научно-техническая конференция по проблемам механики грунтов, фундаментостроению и транспортному строительству : сб. тр. Пермь : ПГТУ, 2004.
9. Месчан С.Р. Начальная и длительная прочность глинистых грунтов. М. : Недра, 1978.
10. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М. : Высшая школа, 1978.
11. Богомолов А.Н. Модель процесса выпора грунта из-под фундамента мелкого заложения // А.Н. Богомолов, О.А. Вихарева, И.И. Никитин / Городские агломерации на оползневых территориях : материалы Междунар. науч.-техн. конференции. Ч. 2. Волгоград, 2003.
12. Богомолов А.Н. Программа «Несущая способность» для ПЭВМ / А.Н. Богомолов, А.Н. Ушаков, А.В. Редин // Информационный лист № 312-96-ЦНТИ. Волгоград, 1996.
13. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений / Минстрой России. М. : ГП ЦПП, 1995.

© Богомолов А.А., Богомолов А.Н.,
Нестратов М.Ю., Шиян С.И., Соловьев А.В., 2008

Поступила в редакцию
в декабре 2007 г.

УДК 624.131.524

*М.П. Ширяева, В.П. Дыба, А.А. Богомолов***МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ
ОСНОВАНИЙ ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ**

Вычисляется осадка пластически уплотняемого основания ленточного фундамента с применением математической модели пластически уплотняемой грунтовой среды.

The settlement of the plastically condensed beds of strip foundations is computed applying mathematical model for plastically condensed soil medium.

В ряде геотехнических задач пластическое деформирование грунта связано с существенным уменьшением пористости и изменением прочностных характеристик. К таким задачам относятся: уплотнение грунтов строительной площадки тяжелыми трамбовками; устройство фундаментов в вытрамбованных котлованах; бестраншейная прокладка скважин для коммуникаций с помощью головного снаряда; расчет просадок фундаментов при замачивании оснований и многие другие. Для решения подобных задач можно применять пластические модели грунта, не описывающие его упругие свойства.

Современные модели грунта, учитывающие сложное поведение грунта под нагрузкой, определяются параметрами и функциями, которые нельзя найти по результатам стандартных компрессионных и сдвиговых испытаний. Поэтому проектировщик с отчетом о инженерно-геологических испытаниях грунтов строительной площадки не может этими моделями воспользоваться.

Следовательно, разработка пластической модели грунтовой среды [1], параметры которой определяются стандартными испытаниями, является актуальной задачей.

В модели [1] допускается, что при очередном шаге нагружения образец грунта в приборе компрессионного сжатия переходит в состояние ассоциированного (нормального) пластического течения. Течение затухает при достижении образцом некоторого нового (меньшего) значения пористости. Допускается пластическое течение при гидростатической нагрузке. Физически это необратимое уменьшение объема образца за счет уменьшения объема пор. По необходимости такое течение является ограниченным и затухающим. Следовательно, рассматривается жесткопластическая упрочняющаяся среда, параметром упрочнения которой является объемная пластическая деформация, выражающаяся через коэффициент пористости. Поверхности нагружения определяются уравнениями (1).

$$\sigma_3 = -C + A\sigma_1 + b(e)\sigma_1^2. \quad (1)$$

Когда пористость e уменьшается до некоторого критического значения параметр $b \rightarrow 0$, а условие (1) переходит в условие (2).

Обычное линейное условие прочности (Кулона — Мора или Треска — Хилла) выглядит так:

$$\sigma_3 = -C + A\sigma_1. \quad (2)$$

Величины A и C определяются по полученным в стандартных сдвиговых испытаниях сцеплению c и углу внутреннего трения φ , например, при выборе гипотезы Кулона — Мора по формулам:

$$C = 2c_m \frac{\cos \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m}, \quad A = \frac{1 + \sin \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m}. \quad (3)$$

Ясно, что несущая способность такого модельного основания не превысит в случае полосовой нагрузки предельного значения по формуле Прандтля.

Модель [1] была использована в решении задачи о выдавливании в грунтовой среде цилиндрической полости [1], в расчете сопротивления головного снаряда для бестраншейной прокладки скважин, для определения просадки при замачивании оснований ленточных фундаментов [2, 3].

В работе [4] показано, что для невесомого грунта существуют равновесные поля напряжений, удовлетворяющие условию (1), для которых одно из семейств характеристик состоит из прямых линий. Такое решение называют простой волной. В таком решении выполняется условие

$$\sigma_1 = g(\theta), \quad (4)$$

где θ — угол первого главного направления с осью OX .

В простой волне [4] условие (4) находится в следующем виде

$$\theta = \pm \int \frac{\sqrt{A + 2bg}}{-C + (A-1)g + bg^2} dg + D. \quad (5)$$

Ясно, конечно, что для условия (1) можно рассматривать и простейшие предельные напряженные состояния, когда напряжения от точки к точке не меняются.

Как и в случае известного решения Прандтля, комбинацией областей простейшего напряженного состояния и областей простой волны можно получить решение для основания, нагруженного полосовой нагрузкой с пригрузкой (рис. 1).

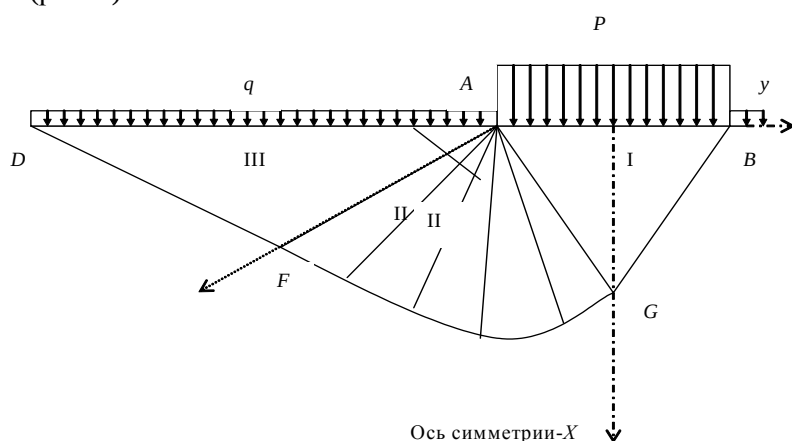


Рис. 1. Области простейшего напряженного состояния (I, III) и области простой (центрированной) волны (II)

В отличие от обобщенного решения Прандтля для условия прочности (2), где характеристики разных семейств при пересечении образуют постоянный угол 2ε и $\operatorname{tg}(\varepsilon)$, в решении для нелинейного условия прочности (1) характеристики пересекаются под углом, зависящим от уровня напряжений и определяемым по формуле

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \sqrt{A + 2b(e)\sigma_1}.$$

По найденному полю напряжений с помощью нормального закона текучести можно определить поле скоростей в области пластического течения. Если течение затухающее, то наступает стабилизированное состояние, соответствующее новому уровню нагрузки.

Соответствующие этому состоянию осадки и просадки интересуют проектировщиков.

Рассмотрим прием, позволяющий определить величину пластической осадки и новое значение коэффициента пористости в примыкающей к полосовой нагрузке зоне простейшего предельного состояния (в «ядре») без построения полей скоростей во всей области нормального течения. Будем считать, что коэффициент $b(e)$ при фиксированной величине полосовой нагрузки не меняется по основанию (на самом деле e — функция θ и в зоне II меняется от одной прямой характеристики к другой).

Пусть в результате компрессионных испытаний получена зависимость между коэффициентом пористости стабилизированного состояния и величиной компрессионного давления, например, в виде логарифмического закона Терцаги:

$$e = \Gamma - 1 - \mu \ln \frac{P_k}{P_{k0}}, \quad (6)$$

где P_k — компрессионное давление, Γ ; μ — постоянные, а $P_{k0} = 0,1$ МПа, если компрессионное давление измеряется в МПа.

В нашей модели компрессионное давление связано с параметром b зависимостью, следующей из закона текучести

$$P_k = \frac{A^2}{4b} + C. \quad (7)$$

С учетом (7) закон Терцаги переписывается следующим образом:

$$e = \Gamma - 1 - \mu \ln \frac{\frac{A^2}{4b} + C}{P_{k0}}. \quad (8)$$

Только после записи формулы (8) можно говорить о построении пластической модели грунта, параметры которой определяются в стандартных испытаниях. Произвольный в некоторой степени вид зависимости (3) и, следовательно, последующих формул может быть поправлен при получении достоверных сведений о форме поверхностей нагружения.

При условии гладкости подошвы ленточного фундамента поле скоростей в области простейшего напряженного состояния I (рис. 1), примыкающей к подошве фундамента, определяется формулами (ось фундамента — x и направлена вниз):

$$\begin{cases} V_x = V_0 \left(1 - \frac{x}{h} \right), \\ V_y = V_0 (A + 2b(e)\sigma_1) \frac{y}{h}, \end{cases} \quad (9)$$

где V_0 — вертикальная скорость фундамента; h — вертикальный размер области простейшего напряженного состояния, который определяется по формуле

$$h = \frac{b_0}{2} \sqrt{A + 2b(e)\sigma_1},$$

где b_0 — ширина фундамента.

Скорость объемных деформаций и скорость изменения коэффициента пористости связаны формулой

$$\dot{\varepsilon} = \frac{1 + e_n}{(e + 1)^2} \dot{e}.$$

Учитывая, что

$$\dot{\varepsilon} = \frac{V_0}{h} [A - 1 + 2b(e)\sigma_1],$$

запишем

$$dS = \frac{h(1 + e_n)de}{[A - 1 + 2b(e)\sigma_1](e + 1)^2}.$$

Тогда пластическая осадка определится по формуле

$$S = (1 + e_n) \int_{e_n}^e \frac{h \cdot de}{[A - 1 + 2b(e)\sigma_1](e + 1)^2}. \quad (10)$$

Так как давление под подошвой фундамента P определяется по следующему из (1) выражению

$$P = C - A\sigma_1 - b(e)\sigma_1^2 \quad (11)$$

и величины h , p , σ_1 являются функциями коэффициента пористости e , то равенства (10) и (11) определяют параметрическую зависимость (e — параметр) осадки S от давления под подошвой фундамента P .

Описанный метод получения зависимости осадок от нагрузок, возрастающих вплоть до предельных, можно использовать в комбинации с нормативным методом расчета осадок. Другими словами, при нагрузках, не превышающих расчетного сопротивления грунтов основания R , следует применять линейную зависимость осадки слоя грунта от нагрузки

$$S = \frac{P \cdot h}{E}, \quad (12)$$

а при нагрузках, больших R , — пользоваться формулами (10), (11).

Пример. Ширина ф-та 2 м, пригрузка 0,02 МПа, начальный коэффициент пористости $e_n = 0,73$.

Результаты сдвиговых испытаний: $A = 1,7$, $C = 0,02$ МПа.

Результаты компрессионных испытаний:

P_k , МПа	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
e	0,73	0,725	0,71	0,685	0,65	0,625	0,61

Предельное давление по формуле Прандтля $P_{пр} = 0,165$ МПа. Расчетное сопротивление грунтов основания $R = 0,096$ МПа. Модуль деформации $E = 4,6$ МПа.

Результаты расчета приведены на рис. 2.

На рис. 3 осадка фундамента при давлениях, меньших R (разрывная прямая), находилась по формуле (12). При нагрузках, больших R , для нахождения зависимости нагрузка — осадка использовались формулы (10), (11) данной работы (сплошная линия). Под осадкой здесь понимается осадка «ядра».

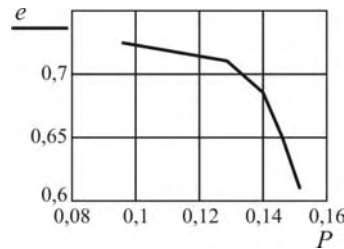


Рис. 2. Зависимость между средним давлением под подошвой фундаментом и пористостью ядра

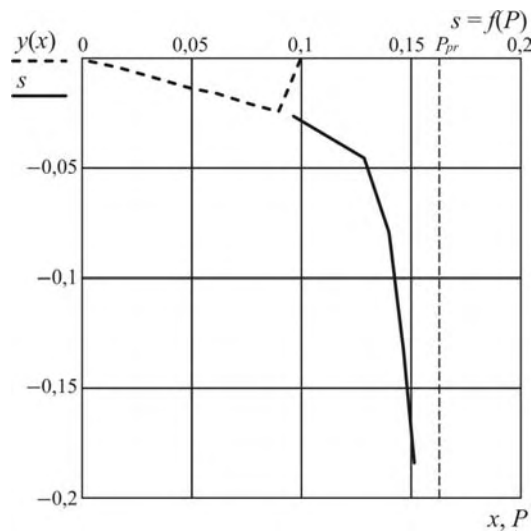


Рис. 3. Осадка, м, в зависимости от среднего давления под подошвой фундамента, МПа

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дыба В.П. Математическое моделирование пластически уплотняемой грунтовой среды / В.П. Дыба, М.П. Ширяева // Численно-аналитические методы : сб. науч. тр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск : ЮРГТУ, 2007. С. 101—108.
2. Дыба В.П. Моделирование процесса просадки оснований под ленточными фундаментами / В.П. Дыба, М.П. Ширяева // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2006. Прил. № 12. С. 18—25.
3. Ширяева М.П. Сравнительный анализ методов расчета ожидаемой просадки при замачивании оснований ленточных фундаментов / В.П. Дыба, Ю.Н. Мурзенко, М.П. Ширяева // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 8 июля 2007 / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2007. С. 14—20.
4. Дыба В.П. Несущая способность грунтовых оснований для условия прочности в виде нелинейной зависимости между главными напряжениями // Сборник статей и кратких сообщений сотрудников и аспирантов НГТУ по материалам юбилейной научной сессии, посвященной 100-летию истории университета. Новочеркасск, 5—15 апреля 1997 / Новочерк. гос. техн. ун-т. Новочеркасск : НГТУ, 1997. С. 221—225.

© Ширяева М.П., Дыба В.П., Богомолов А.А., 2008

Поступила в редакцию в ноябре 2007 г.

УДК 625.131

А.С. Белоусов**ОЦЕНКА РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ЗАДАННОМ УРОВНЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА**

Представлены методика и результаты вероятностного расчета одномассовых динамических систем в широком диапазоне собственных частот на действие случайной сейсмической нагрузки. Получены значения расчетных ускорений и динамических коэффициентов в зависимости от собственной частоты системы, дисперсии перемещения, времени воздействия землетрясения, параметра повторяемости, срока службы сооружения и показателя полного или условного сейсмического риска.

The paper presents the method and the results of the probability calculation for one-mass dynamic systems within a wide range of fundamental frequencies for accidental seismic load. The author received the values of design accelerations and dynamic coefficients dependent on the system's fundamental frequency, the displacement dispersion, the earthquake impact time, the periodicity parameter, the lifetime of the construction and the index of total or conditional seismic risk.

Рассмотрим уравнения колебаний линейного осциллятора под действием случайной сейсмической нагрузки:

$$\ddot{\varphi} + 2c\dot{\varphi} + \lambda\varphi = -\ddot{H}(t), \quad (1)$$

где $\varphi(t)$ — случайная функция перемещения; λ — собственная частота системы; $\ddot{H}(t)$ — вектор сейсмических ускорений грунта; $c=\eta\lambda/2$ — приведенная диссипация; η — коэффициент потерь.

При нулевых начальных условиях $\varphi(0)=\dot{\varphi}(0)=0$ решение уравнений (1) запишется в виде

$$\varphi = -\frac{1}{\lambda} \int_0^t \ddot{H}(\tau) e^{-c(t-\tau)} \sin \lambda(t-\tau) d\tau. \quad (2)$$

Спектральную плотность случайной функции сейсмического движения грунта аппроксимируем выражением

$$S(\omega) = D \frac{2}{\pi} \alpha \frac{m^2 + \omega^2}{m^4 + 2a \omega^2 + \omega^4}, \quad (3)$$

где $m^2 = \alpha^2 + \theta^2$, $a = \alpha^2 - \theta^2$.

Дисперсию D принимаем, согласно СНиП II-7-81*, равной $D = \sigma^2 = 0,25 \text{ м/с}^2$ (для 7-балльного землетрясения). Коэффициенты спектральной плотности $\alpha = 6 \text{ с}^{-1}$; $\theta = 14 \text{ с}^{-1}$.

Для решения вероятностной задачи (1) используем метод канонических разложений В.С. Пугачева [1]. Вычислим дисперсии D_φ и спектральные плотности $S_\varphi(\omega)$ перемещений системы. Далее переходим к принятому в действующих нормах квазистатическому методу расчета сооружений на инерци-

онные нагрузки, получаемые умножением сосредоточенных масс конструкций на нормативные ускорения. На рис.1 приведены значения коэффициента динамичности, равного среднему квадрату смещения линейного осциллятора к среднему квадрату ускорений грунта

$$\beta_k = \omega_k^2 \sqrt{D_{\phi k} / D} . \quad (4)$$

Коэффициент динамичности характеризует динамическую реакцию сооружения на сотрясение его основания.

При расчете исследовался интервал собственных частот λ_k динамических систем, совпадающий с интервалом частот, на который приходится не менее 90 % (93,2 % — по данным приведенного расчета) дисперсии случайной функции сейсмического ускорения грунта: $\lambda_k = \omega_k = 0, 1, 2, \dots, 60 \text{ с}^{-1}$.

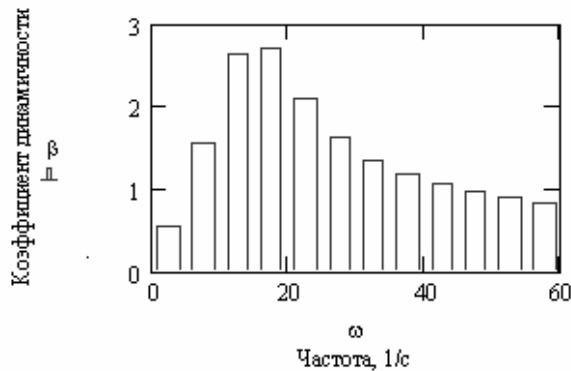


Рис.1

Переходим к оценке вероятности разрушения и ожидаемого срока службы сооружения [2]. Эффективный период Te изменения параметра $\tilde{\phi}(t)$ равен

$$Te = 2\pi \frac{\sigma_{\dot{\phi}}}{\sigma_{\phi}} = 2\pi \left(\frac{\int_0^{\infty} S_{\phi}(\omega)}{\int_0^{\infty} \omega^2 S_{\phi}(\omega)} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

где $\sigma_{\dot{\phi}}$ — стандарт первой производной (скорости изменения) функции обобщенных координат. Если затухание системы достаточно мало, то система ведет себя подобно фильтру, отбирая из внешнего воздействия главным образом те компоненты, частоты которых близки к собственной частоте системы. Для таких систем эффективный период можно вычислять по формуле

$$Te = 2\pi / \omega . \quad (6)$$

Сравнительные результаты вычисления эффективной частоты $\omega_e = 2\pi/Te$ и $\omega_e \approx \omega_0$ приведены на рис. 2. В области частот, совпадающих с

преобладающей частотой сотрясения грунтового основания ($\theta = 14\text{--}20 \text{ с}^{-1}$), формула (6) дает вполне приемлемую для практических расчетов точность. При частотах собственных колебаний системы $\omega_0 > 40 \text{ с}^{-1}$ (или периоде колебаний $T_0 < 0,15 \text{ с}$) погрешность аппроксимации увеличивается, но она относится к области частот с невысокими дисперсиями колебаний.

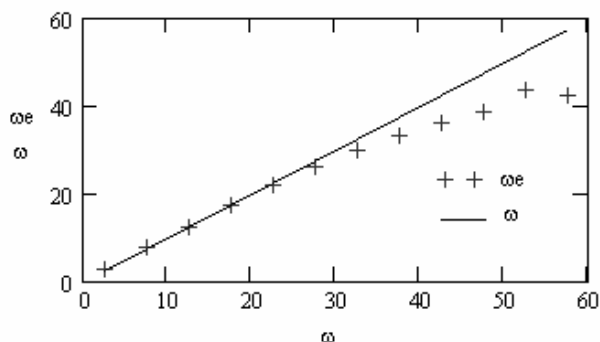


Рис. 2

Среднее число выбросов $U(a, t)$ функции прогиба за уровень a при реализации землетрясения заданной интенсивности:

$$U(a, t) = \frac{1}{Te(t)} e^{-\frac{a^2}{2\sigma_\varphi^2(t)}}. \quad (7)$$

Значения средней частоты отказа при уровне $a = 1\sigma_\varphi, 2\sigma_\varphi, 3\sigma_\varphi$ и $t = 2\text{ с}$ для рассматриваемого диапазона частот линейного осциллятора приведены в табл.

n/n	ω_i	$U(\sigma_{\varphi i}, 2)$	$U(2\sigma_{\varphi i}, 2)$	$U(3\sigma_{\varphi i}, 2)$
1	2,5	0,40	0,09	$7 \cdot 10^{-3}$
2	7,5	0,75	0,16	0,014
3	12,5	1,21	0,27	0,02
4	17,5	1,66	0,37	0,03
5	22,5	2,09	0,47	0,04
6	27,5	2,49	0,56	0,04
7	32,5	2,84	0,63	0,05
8	37,5	3,17	0,71	0,06
9	42,5	3,47	0,77	0,06
10	47,5	3,76	0,83	0,07
11	52,5	3,97	0,88	0,07
12	57,5	4,08	0,91	0,08

Условная вероятность превышения прогибом $\tilde{\varphi}(t)$ уровень a за время землетрясения $0 \leq \tau \leq t$ хотя бы один раз равна

$$P(x > a|t) = 1 - \exp\left(-\int_0^t U(a|\tau) d\tau\right). \quad (8)$$

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

Для расчета долговечности сооружения вычисляется степень сейсмической опасности района строительства. Выбираем комплект карт А ОСР-97 с периодом повторяемости землетрясения 500 лет, что соответствует интенсивности $\Lambda = 0,002$ (лет⁻¹). Сейсмическая опасность как вероятность превышения расчетного землетрясения в течение T_0 хотя бы один раз вычисляется по закону Пуассона с постоянной интенсивностью

$$P(t) = 1 - \exp(-\Lambda t). \quad (9)$$

Полный сейсмический риск равен произведению вероятностей (8) и (9)

$$P_{\text{seism}}(a, T) = P(\varphi > a|t)P(T) = \left\{ 1 - \exp\left[-\int_0^t U(a, \tau) d\tau\right] \right\} [1 - \exp(-\Lambda T)] \quad (10)$$

и представляет собой вероятность наступления предельного состояния конструкций сооружений в течение срока эксплуатации. Эту вероятность сопоставляют с некоторой целесообразной вероятностью P^* , которую принимают за расчетную

$$P^* = P(\varphi > a|t)[1 - \exp(-\Lambda T)]. \quad (11)$$

Решив уравнение (11) относительно a , получим формулу для расчетного ускорения, которая включает в себя следующие параметры внешнего воздействия и сооружения: собственную частоту системы, дисперсию перемещения, время воздействия землетрясения, параметр повторяемости Λ , срок службы сооружения и показатель риска P^*

$$a^* = \sigma_\phi \sqrt{-2 \ln \left[-\frac{T_e \cdot \ln(1 - P^*)}{\tau_E} \right]} = n \sigma_\phi, \quad (12)$$

где τ_E — продолжительность интенсивной фазы землетрясения. Коэффициент n определяет число стандартов перемещения системы, содержащихся в расчетном ускорении.

Умножив обе части равенства (12) на $\frac{\omega^2}{\sqrt{D}}$, т.е., приняв обеспеченность расчетного значения ускорений грунта равной одному стандарту, получим аналогичную формулу для коэффициентов динамичности

$$\beta^* = \beta \sqrt{-2 \ln \left[-\frac{T_e \cdot \ln(1 - P^*)}{\tau_E} \right]} = n\beta. \quad (13)$$

Требуемый уровень безопасности сооружения $P(x > a^*|t)$, обеспечивающий заданную величину сейсмического риска P^* при нормативном сроке службы T_0 вычисляем, согласно (11) по формуле

$$P(\varphi > a|t) = \frac{P^*}{1 - \exp(-\Lambda T)}. \quad (14)$$

Так, например, при уровнях полного риска $P^* = 0,1$; $P^* = 0,05$; $P^* = 0,01$ требуемая вероятность отказа сооружения при условии реализации землетрясения интенсивностью 7 баллов с продолжительностью интенсивной фазы $\tau_E = 10$ с составляет, соответственно $P_{тр0,1} = 0,552$; $P_{тр0,05} = 0,276$; $P_{тр0,01} = 0,055$.

На рис. 3 приведены графики коэффициента n для рассматриваемых уровней риска.

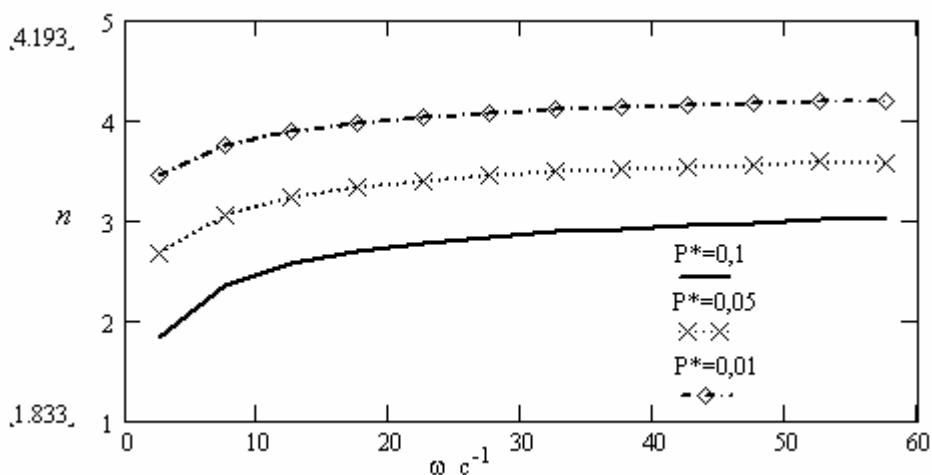


Рис. 3

Так, для обеспечения полного риска $P^* = 0,05$ превышения расчетной сейсмической нагрузки величину 1 стандарт, динамический коэффициент должен быть увеличен в 3-3,5 раза. Для обеспечения условного 5%-го риска превышения расчетной сейсмической нагрузки величину 1 стандарт в случае реализации землетрясения проектной интенсивности (7 баллов) динамический коэффициент следует увеличить в 3,5-4 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пугачев В.С. Теория случайных функций. М. : Физматгиз, 1960. 884 с.
2. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М. : Машиностроение, 1984. 312 с.

© Белоусов А.С., 2008

Поступила в редакцию
в декабре 2007 г.

УДК 624.131

А. И. Субботин**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДИЛАТАНСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА
В МАССИВЕ ОСНОВАНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОЛУБЕСКОНЕЧНЫХ НАГРУЗОК**

Приведены данные экспериментальных исследований сдвиговых деформаций в массиве основания при действии полубесконечных нагрузок и определения на их основе дилатансионных характеристик грунта.

The article gives the data of the experimental investigation of shear deformations in bed's massive charged with semi-infinite loads and of determination of dilatancy characteristics of soil on their basis.

Характерной особенностью деформирования грунтов основания явилась дилатансия — изменение объема при сдвиге за счет девиаторной составляющей тензора напряжений. Явление дилатансии впервые было обнаружено Ш. Кулоном, затем в 1885 г. отмечено О. Рейнольдсом, и к настоящему времени накоплен обширный материал по изучению объемных деформаций в грунте.

Изучение данных процессов с теоретической точки зрения и экспериментальное проникновение в механизм деформирования представляют значительные сложности. Разработка методик непосредственного определения дилатансионных характеристик должна отражать природу дилатансионных явлений.

Достаточно системно явление дилатансии изучалось различными авторами в приборах трехосного сжатия. Возможность исследования образца грунта в приборах трехосного сжатия с независимо регулируемыми траекториями нагружения позволила получить обширную информацию о дилатансионных процессах, а также числовые значения коэффициента дилатансии.

Поведение грунта в массиве основания существенно сложнее и отличается от условий нагружения образца в камере трехосного прибора. Идея исследования дилатансионных характеристик грунта в опытном грунтовом лотке под моделями фундаментов принадлежит профессору Ю.Н. Мурзенко. Реализация таких исследований потребовала разработки специальных методик и — самое главное — приборов для непосредственных измерений всех компонент тензора деформаций.

Исследование в массиве грунта как пространственной системы впервые выполнено Л.В. Краснояруженским под руководством Ю.Н. Мурзенко с участием В.П. Дыбы. Рассматривалась осесимметричная задача. Эксперименты проводились в лотке размерами $3,0 \times 3,0 \times 2,2$ м, наполненным зернистым песком в воздушно-сухом состоянии с начальной плотностью $16,5 \text{ кН/м}^3$, загруженным жестким штампом диаметром $D = 280$ мм, с относительным заглублением 0,5. В фиксированных точках массива основания измерялись все компоненты тензора деформаций (в случае осевой симметрии их четыре: $\varepsilon_z, \varepsilon_r, \varepsilon_\theta, \gamma_{rz}$) при помощи тензометрических деформометров. Первые резуль-

таты исследований были опубликованы в трудах 10-й Европейской конференции по механике грунтов и фундаментостроению (Италия, Флоренция, 1991 г.) [1].

Обилие косвенных данных о сдвиговых деформациях и, как следствие, о дилатансии грунта, все еще дает общую картину, не позволяющую получить качественные характеристики этого важного процесса. Указанное обстоятельство объясняется отсутствием методик непосредственного измерения сдвиговых характеристик в массиве нагруженного основания.

Используя метод феноменологической теории пластичности, предполагаем [1], что деформации становятся необратимыми. Полная деформация

$\varepsilon = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^p$ будет включать в себя помимо упругой ε_{ij}^e еще и пластическую

ε_{ij}^p составляющую, если достигнут и превзойден предел упругости. Поэтому

принятая методика непосредственного определения дилатансионных характеристик в грунте основания базируется на выделении приращений пластической составляющей $\Delta\varepsilon_p$ в доле приращения полной объемной деформации $\Delta\varepsilon$, представляющей сумму упругой и пластической составляющих частей приращения деформаций:

$$\Delta\varepsilon_{ij} = \Delta\varepsilon_{ij}^e + \Delta\varepsilon_{ij}^p,$$

где $\Delta\varepsilon_{ij}$ — приращение полной деформации; $\Delta\varepsilon_{ij}^e, \Delta\varepsilon_{ij}^p$ — соответственно упругая и пластическая части приращения деформаций.

В качестве основного принято предложенное В.Н. Николаевским [2] дилатансионное соотношение

$$d\varepsilon^p = \lambda(\chi) d\gamma^p,$$

где $d\varepsilon^p$ и $d\gamma^p$ — соответственно первый инвариант тензора и второй инвариант девиатора приращений пластических деформаций; λ — коэффициент (скорость) дилатансии; χ — параметр упрочнения.

Для определения приращений исследуемых пластических деформаций использовался метод, предложенный в [1], где нагрузку на модель плиты предлагалось прилагать ступенчато с пошаговой нагрузкой и выдерживанием времени стабилизации (рис. 1), что было новым в предлагаемых методах определения дилатансионных характеристик.

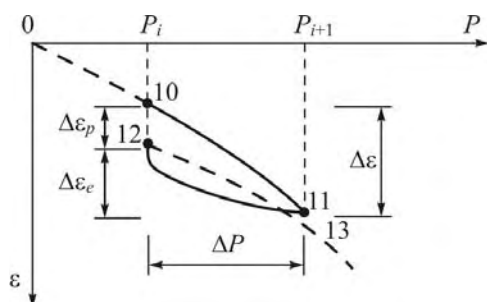


Рис. 1. Схема пошаговой нагрузки-разгрузки

Небольшое значение величины пошаговой разгрузки должно было обеспечить малое изменение «истории» нагружения. На каждой ступени нагружения проводились измерения при помощи автоматизированной тензостанции СИИТ-3 с последующей обработкой на персональном компьютере.

В проведенных опытах проводилось измерение шести компонент тензора деформации, поэтому впервые обработка поступающих сигналов производилась с помощью персонального компьютера в реальном масштабе времени, что связано с необходимостью влияния на ход проведения эксперимента в зависимости от результатов оперативной обработки, представляемых, как правило, в виде таблиц и изолиний с различной степенью детализации.

При проведении экспериментальных исследований тензометрические преобразователи сдвиговых деформаций в основании модели фундаментной плиты укладывались в декартовой системе координат по равномерной сетке со стороной $a = 150$ мм (рис. 2).

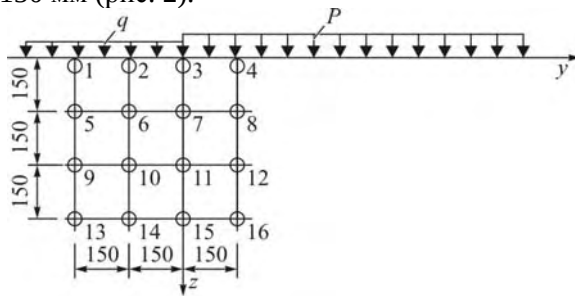


Рис. 2. Схема расположения преобразователей деформаций в массиве основания

На основании полученных данных в виде изолиний сдвиговых деформаций γ_{zy} на соответствующих ступенях нагружения выбирались фиксированные точки, в которых измерялись все компоненты тензора деформаций. Выбор фиксированных точек обуславливался сложностью эксперимента, связанной с пошаговой нагрузкой-разгрузкой, измерением всех компонент тензора деформаций ($\varepsilon_z, \varepsilon_y, \varepsilon_x, \gamma_{zy}, \gamma_{zx}, \gamma_{xy}$) в каждой из изучаемых точек и необходимостью дублирования измерений.

По полученным данным развития сдвиговых деформаций четко видно определившиеся четыре характерные зоны, границами которых являются изолинии $\gamma_{zy} = 0$. Зона 1 ($-\gamma_{zy}$) примыкает к краю фундаментной плиты и имеет округлую, слегка вытянутую от края плиты, форму (краевая зона). Зона 2 ($+\gamma_{zy}$) расположена вне площадки нагружения и тяготеет к поверхности грунтового основания (зона выпирания). Зона 3 ($-\gamma_{zy}$) находится под краевой зоной в толще основания с характерным полюсом концентрации сдвиговых деформаций и примыкает снизу к зоне 1, являясь как бы ее продолжением. Зона 4 ($+\gamma_{zy}$) расположена под нагрузкой и занимает место справа от зон 1 и 3 с развитием в сторону площади нагружения.

Наибольшее развитие сдвиговых деформаций γ_{zy} наблюдается у края фундаментной плиты, в зоне 1, где их абсолютная величина достигает наи-

большого значения. Причем их развитие происходит от края фундаментной плиты в стороны.

В развитии сдвиговых деформаций в основании выделены семь точек, в которых непосредственно измерялись компоненты тензора деформаций ($\varepsilon_z, \varepsilon_y, \varepsilon_x, \gamma_{zy}, \gamma_{zx}, \gamma_{xy}$) (рис. 3).

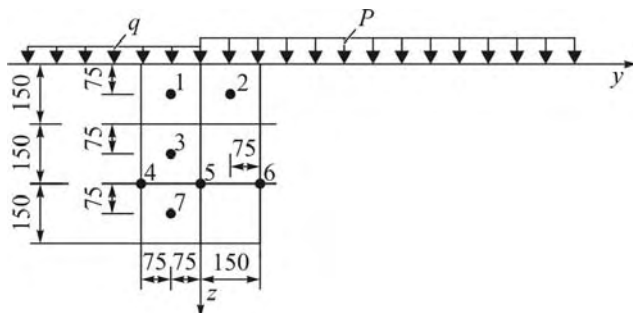


Рис. 3. Схема расположения точек изучения дилатансионных характеристик в толще массива

Скорость дилатансии λ , вычисленная по результатам проведенных измерений в характерных точках компонент тензора деформаций, представлена в таблице.

Отметим, что положительный или отрицательный знак зависит от начальной плотности грунта. Имеется так называемая критическая плотность, при которой дилатансия не проявляется. Если начальная плотность больше критической, то грунт переуплотнен и при сдвиге разрыхляется, т.е. дилатансия будет положительной. Если начальная плотность меньше критической, то грунт недоуплотнен, и при сдвиге вначале будет уплотняться (отрицательная дилатансия), а затем, по мере увеличения нагрузки, начнет разрыхляться, вплоть до разрушения. Отрицательное значение коэффициента дилатансии относится к процессу дилатансионного уплотнения при развитии сдвиговых деформаций. Это явление было обнаружено в точках 1 и 2, где абсолютные значения коэффициента дилатансии имели весьма небольшие значения. Положительный знак коэффициента дилатансии характеризует разрушение песчаного грунта в результате развития сдвиговых деформаций.

Наиболее интенсивно дилатансионное разуплотнение наблюдается под краем модели фундамента (точка 5) практически во всем интервале нагрузки, что согласуется с результатами Ю.Н. Мурзенко и Э.В. Ариной в ранее проведенных опытах по изучению полей плотностей.

Значения коэффициентов дилатансии

P, МПа	Номера точек						
	1	2	3	4	5	6	7
0,4	0,0821	0,1718	0,0776	0,0534	0,1110	0,0023	0,0359
1,6	-0,0114	0,0904	0,0878	0,0626	0,1789	0,0034	0,0640
2,4	-0,0126	-0,0105	0,1176	0,0832	0,2265	0,0193	0,0704
3,2	-0,0264	-0,0082	0,1602	0,1264	0,3902	0,0370	0,1420
4,8	0,1182	0,1178	0,1721	0,1640	0,4935	0,1072	0,1661
6,0	0,2847	0,2930	0,2344	0,2274	0,5654	0,1248	0,2415

С ростом нагрузки в точках 3—7 наблюдалось повышение значения коэффициента дилатансии. В точке 6 имели место существенно меньшие значения коэффициента дилатансии, что можно объяснить переходом от зоны разуплотнения (тт. 3-4-5-7) к зоне уплотнения, которая располагалась справа от точки 6. В точках 1 и 2 имело место разуплотнение в начальной стадии нагружения, затем уплотнение (нагрузки 2,4 и 3,2 МПа) и далее начался процесс разуплотнения за счет подъема зоны разуплотнения от тт. 4-3-5 вверх с ростом нагрузки.

На ступени 6,0 МПа значения коэффициента дилатансии в точках 1—4 и 7 достигают примерно одинаковых значений, равных 0,22...0,29. Это можно объяснить достижением критической пористости в песчаном основании в результате развития сдвиговых деформаций.

Таким образом, изучение особенностей дилатансионных деформаций показывает, что у края фундаментной плиты в основании развиваются значительные деформации формоизменения с существенным влиянием девиаторной части напряженного состояния.

В целом, значения коэффициентов дилатансии (табл. 1) отвечают общей картине деформации основания у края плиты (рис. 4—7).

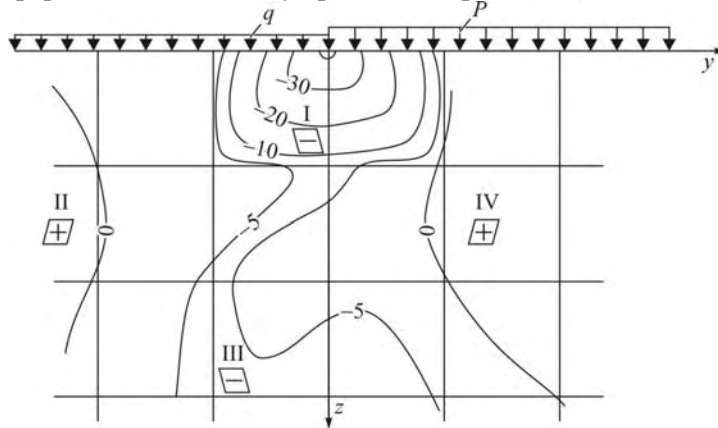


Рис. 4. Изолинии сдвиговых деформаций ($\gamma_{zy} \cdot 10^{-3}$) при $P=0,16$ МПа

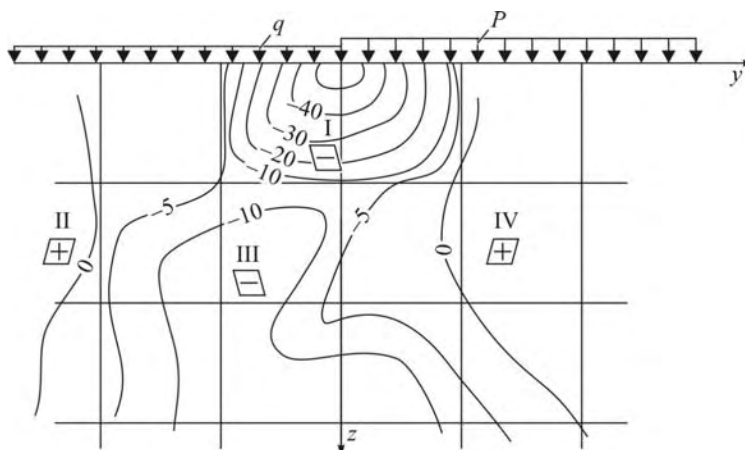


Рис. 5. Изолинии сдвиговых деформаций ($\gamma_{zy} \cdot 10^{-3}$) при $P=0,32$ МПа

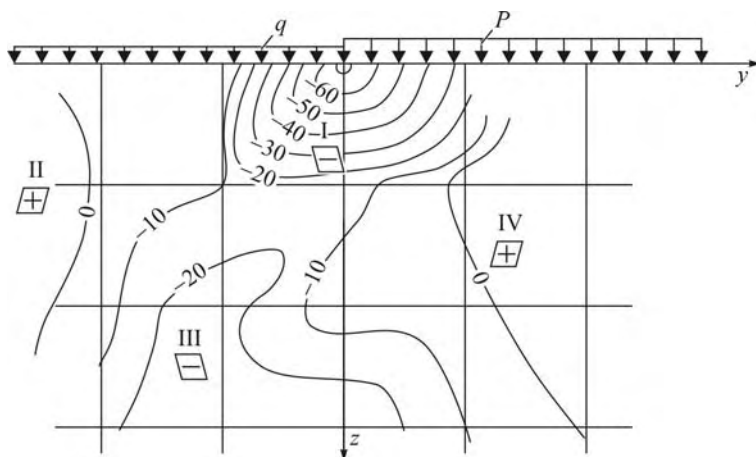


Рис. 6. Изолинии сдвиговых деформаций ($\gamma_{zy} \cdot 10^{-3}$) при $P=0,48$ МПа

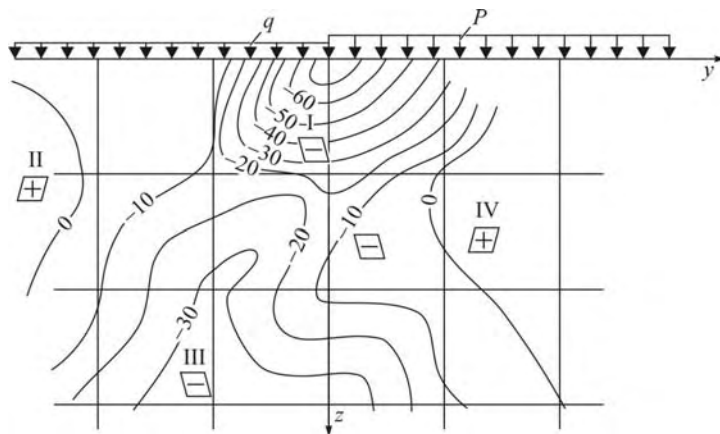


Рис. 7. Изолинии сдвиговых деформаций ($\gamma_{zy} \cdot 10^{-3}$) при $P=0,6$ МПа

Проведенные нами экспериментальные исследования в плоской постановке задачи с измерением большого числа компонент по сравнению с опытами Л.В. Краснояруженского подтверждают выводы последнего о переменности скорости дилатансии λ как по полю основания, так и с ростом нагрузки.

Как отмечалось выше, коэффициент дилатансии λ зависит от величины параметра упрочнения, который меняется и по полю основания и с ростом нагрузки, поэтому λ не может быть постоянной характеристикой для определенных участков основания на всем этапе нагружения, что и доказывается экспериментально. Коэффициент дилатансии λ является параметром состояния среды основания на определенный момент времени до очередного приложения к ней нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Murzenko Y. Investigation of shear strains and dilatant characteristics in sand base massif / Y. Murzenko, V. Shmatkov, L. Krasnojarsky // Proceedings of the Tenth European conference on soil mechanics and foundation engineering, Italy, Florence, 1991. P. 147—150.
2. Николаевский В.Н. Механика пористых и трещиноватых сред. М., 1984. 232 с.

Поступила в редакцию в декабре 2007 г.

© Субботин А.И., 2008

УДК 624.131

А. И. Субботин**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОСНОВАНИЯ ОГРАНИЧЕННОЙ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ
ПРИ РАЗВИТИИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

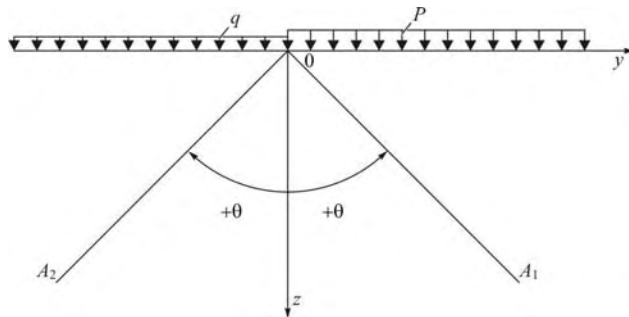
Рассмотрена задача определения нагрузки зарождения пластических зон в основании ограниченной распределительной способности. Приведено решение для полуплоскости, нагруженной распределенной нагрузкой p и пригрузкой q с численным сравнением для песчаных грунтов.

The article considers the problem of computation of the plastic zones' formation load in a limited distribution ability bed. The author gives the solution for a semi-plane charged with distributed load p and surcharging q with numerical comparison for sand soils.

Полученное решение для упругой полуплоскости ограниченной распределительной способности при действии полубесконечных нагрузок [1] используем в решении смешанной задачи теории упругости и пластичности грунтов.

Остановимся на анализе некоторых решений, рассматривающих НДС основания в процессе развития зон сдвигов.

Плоская задача построения упругопластического поля напряжений в основании, обладающем сцеплением при полубесконечной равномерно распределенной нагрузке p без пригрузки и с пригрузкой q (рис.), рассмотрена В.В. Соколовским [2].



Расчетная схема для полубесконечной нагрузки с пригрузкой

Для идеально связной весомой среды были записаны деформационные уравнения равновесия в полярной системе координат (r и θ):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} &= \gamma \sin \theta; \\ \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{2\tau_{r\theta}}{r} &= \gamma \cos \theta, \end{aligned} \quad (1)$$

соответственно предельное условие:

$$1/4 \cdot (\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \tau_{r\theta}^2 = c^2.$$

Когда $p - q < c\pi$ (см. рис.), основание находится в упругом состоянии и поле напряжений характеризуется формулами:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r \\ \sigma_\theta \end{aligned} \right\} = p + \gamma y - \frac{p-q}{2\pi} (2\theta \pm \sin 2\theta);$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{p-q}{2\pi} (1 - \cos 2\theta).$$

В момент, когда $p - q = c\pi$, вдоль z возникает предельное состояние, т.к. максимальное касательное напряжение $\tau = \frac{p-q}{\pi} \sin \theta$ будет наибольшим при $\theta = \pi/2$. Это говорит о том, что по В.В. Соколовскому, впервые пластическая область зарождается вдоль вертикальной оси z (см. рис.). С увеличением разницы давлений $p - q < c\pi$ область предельного состояния A_1OA_2 будет развиваться и достигнет предельных границ, которым соответствует угол $A_1OA_2 = \pi/2$.

И.В. Федоров, следуя идеям В.В. Соколовского, получил решение плоской задачи упругопластического распределения напряжений в невесомой полуплоскости и в откосе для среды, обладающей трением φ и сцеплением c [3]. Как и у В.В. Соколовского, задача была решена с учетом зарождения, развития, с ростом нагрузки зоны пластических деформаций при полубесконечной равномерно распределенной нагрузке.

Принимая решение И.В. Федорова в качестве исходной модели упругопластического основания, изменим некоторые обозначения, принятые в [4].

Систему дифференциальных уравнений равновесия для среды, обладающей трением и сцеплением, запишем в форме (1), но без учета собственного веса среды, а уравнение предельного равновесия запишем в виде [2]

$$1/4 \cdot (\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \tau_{r\theta}^2 = \sin^2 \varphi \left[(\sigma_r + \sigma_\theta)/2 + c \operatorname{ctg} \varphi \right]^2. \quad (2)$$

Основываясь на экспериментальных исследованиях, В.И. Федоров показал, что условие Мора — Ренкина (2) не соответствует еще пластическому состоянию грунта. Для того чтобы в грунте наступило пластическое состояние, необходимо, чтобы $f = \frac{\tau}{\sigma + c}$ имела максимальное значение.

Как и И.В. Федоров, используем в качестве критерия состояния среды известное неравенство

$$f_0 = \frac{\tau}{\sigma + c} \leq f_{\max} = \left(\frac{\tau}{\sigma + c} \right)_{\max}. \quad (3)$$

При $f_0 < f_{\max}$ среда находится в упругом состоянии, а при $f_0 = f_{\max}$ — в пластическом.

По известному условию равновесия (2) выражение (3) в развернутом виде запишем:

$$f = \sqrt{1/4(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \tau_{r\theta}^2} - \sin \varphi \left[(\sigma_r + \sigma_\theta)/2 + c \operatorname{ctg} \varphi \right]. \quad (4)$$

Вдоль положительного направления оси y на поверхности полуплоскости действует давление p , вдоль отрицательного — пригрузка q (см. рис.).

Когда среда находится в упругом состоянии, то в случае ограниченной распределительной способности компоненты напряженного состояния определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r \\ \sigma_\theta \end{aligned} \right\} = \frac{(p+q)(\pi-2\varphi \pm \sin 2\varphi \cos 2\theta) + (p-q)(2\theta \mp \cos 2\varphi \sin 2\theta)}{2(\pi-2\varphi + \sin 2\varphi)},$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{(p+q)\sin 2\varphi \sin 2\theta + (p-q)(1 + \cos 2\varphi \cos \theta)}{2(\pi-2\varphi + \sin 2\varphi)}.$$
(5)

Подставим в условие (4) компоненты напряжений (5):

$$f = \frac{1}{2(\pi-2\varphi + \sin 2\varphi)} \left\{ \left[(p+q)^2 \sin^2 2\varphi + 2(p+q)(p-q) \sin 2\varphi \sin 2\theta + \right. \right.$$

$$\left. + (p-q)^2 - (1 + 2\cos 2\varphi \cos 2\theta + \cos^2 2\varphi) \right]^{\frac{1}{2}} -$$

$$- \sin \varphi \left[(p+q)(\pi-2\varphi) + (p-q)2\theta + 2H(\pi-2\varphi + \sin 2\varphi) \right] \Big\},$$
(6)

где $H = c \operatorname{ctg} \varphi$.

Для определения значения функции f , при которой грунт полуплоскости будет находиться в пластичном состоянии, т.е. когда $f_{\max} = \left[\tau/(\sigma + c) \right]_{\max}$ необходимо, взяв производную по θ , приравнять ее нулю. Тогда

$$\frac{df}{d\theta} = p^2 \cos^2(\varphi - \theta) \left[\sin^2(\varphi - \theta) - \sin^2 \varphi \right] + q^2 \cos^2(\varphi + \theta) \times$$

$$\times \left[\sin^2(\varphi + \theta) - \sin^2 \varphi \right] - 2pq \left[\cos^2 2\varphi - \cos^2 2\theta + \cos^2 2\varphi - \cos^2 2\theta - \right.$$

$$\left. - 4\sin^2 \varphi \cos 2\varphi \cos(\varphi + \theta) \cos(\varphi - \theta) \right] = 0.$$

Получить выражение для θ , при котором имеет место максимум $\tau/(\sigma + c)$, а следовательно, и переход грунта в пластическое состояние, в конечном виде не представляется возможным. Поэтому значение угла $\theta = \gamma_0$ получаем известными итерационными методами.

В случае, когда пригрузка $q = 0$, выражение (7) приобретает вид

$$\frac{df}{d\theta} = p^2 \cos^2(\varphi - \theta) \left[\sin^2(\varphi - \theta) - \sin^2 \varphi \right] = 0.$$
(8)

Из данного выражения находим $\theta = 0$, что соответствует

$$\gamma_0 = 0.$$
(9)

Поэтому, впервые, как следует из (9), для полуплоскости, нагруженной полубесконечной равномерно распределительной нагрузкой без пригрузки, пластическое состояние в грунте должно появиться вдоль радиуса при $\gamma_0 = 0$.

Решим (6) для случая $q=0$ относительно p , подставив туда значение $\theta = 0$, тогда получим:

$$p = \frac{2c(\pi - 2\varphi + \sin 2\varphi)}{2 - \operatorname{tg} \varphi \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)}. \quad (10)$$

Таким образом, величина нагрузки, при которой впервые появляется зарождение пластической зоны, для полуплоскости, нагруженной распределенной нагрузкой p без пригрузки q , может быть определена с помощью выражения (10).

Для полуплоскости величина нагрузки, при которой впервые возникает пластическая область, И.В. Федоровым получена в виде выражения

$$p = \frac{\pi c + q \left[1 + \left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) \operatorname{tg} \varphi \right]}{1 - \operatorname{tg} \varphi \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)}. \quad (11)$$

Подобная формула была получена Н.П. Пузыревским, исходящим из иных рассуждений.

Производя численное сравнение выражений (10) и (11) для угла внутреннего трения $\varphi = 40^\circ$ и сцепления $c = 0,0107$ МПа в случае, когда $q = 0$, получаем:

$$p_{\text{зар.орс}} = \frac{2c(\pi - 2\varphi + \sin 2\varphi)}{2 - \operatorname{tg} \varphi \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)} = 0,046 \text{ МПа};$$

$$p_{\text{зар}} = \frac{\pi c}{1 - \operatorname{tg} \varphi \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)} = 0,125 \text{ МПа}.$$

Малое значение нагрузки зарождения, полученное по формуле (10), является следствием меньшей распределительной способности основания предлагаемой модели по сравнению с (11). Это подтверждается экспериментальными исследованиями оснований, где при малых значениях нагрузки характер НДС основания не поддается описанию теории упругости.

В общем случае величину нагрузки зарождения можно получить из выражения (6), подставив туда значение θ из (7). Представление данных выражений в конечном виде вызывает некоторые трудности, которые снимаются возможностями вычислительной техники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Субботин А.И. Работа оснований ограниченной распределительной способности : дис. ...канд. техн. наук. Ростов-н/Д, 1995. 221 с.
2. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М. : Физматиздат, 1960. 243 с.
3. Криворотов А.П. Контактные давления под силосным корпусом элеватора / А.П. Криворотов, В.К. Федоров // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1973. № 5. С. 4—6.
4. Федоров И.В. Некоторые задачи упругопластического распределения напряжений в грунтах, связанные с расчетом оснований // Сборник института механики АН СССР. Т. XXVI. М., 1958. С. 204—215.

© Субботин А.И., 2008

Поступила в редакцию
в декабре 2007 г.

УДК 624.131.524

С. А. Павлющик, В. П. Дыба**ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ФУНДАМЕНТОВ НА ОТКОСАХ**

Рассматриваются верхние оценки несущей способности фундаментов на откосах, полученные методами предельного анализа пластических систем.

The top estimations of bearing capacity of the foundation on soil slopes received by methods of the limiting analysis of plastic systems are considered.

Несущая способность фундаментов на откосах определяется обычно методами круглоцилиндрических поверхностей скольжения, согласно рекомендациям п. 5.1.4 [1]. Некоторые недостатки этих методов удалось устранить в работах А.Н. Богомолова и В.К. Цветкова [2, 3]. Они предложили подход, основанный на анализе напряженно-деформированного состояния однородного откоса при помощи аналитических решений 1-й основной задачи теории упругости для весомой однородной и изотропной полуплоскости с криволинейной границей методами теории функций комплексного переменного.

Если в откосе отсутствуют области пластических деформаций или их размеры незначительны, то поля напряжений используемые в [2, 3], являются статически допустимыми, и, следовательно, порождают нижние оценки несущей способности.

Считаем, что результаты, полученные по методу [2, 3], должны быть дополнены верхними оценками несущей способности [4, 5], что позволит строить интервалы, содержащие предельную нагрузку.

Пусть $v_i, \dot{\varepsilon}_{ij}$ — произвольное кинематически допустимое поле скоростей и скоростей деформаций [6]. По заданным скоростям деформаций $\dot{\varepsilon}_{ij}$ напряжения σ_{ij} определяются либо единственным образом, если поверхность текучести строго выпукла, либо с известной степенью произвола. Если на систему «фундамент на откосе» действуют внешние силы N, γ , то, согласно теореме А.А. Гвоздева о верхней оценке, можно записать:

$$N \leq N^* = \frac{1}{v_0} \left(\int_V \sigma_{i,j} \dot{\varepsilon}_{i,j} dV - \int_V \gamma v_1 dV \right),$$

где V — область, занимаемая телом фундамента и грунтовым основанием; v_0 — скорость точки приложения силы N .

Воспользуемся данным утверждением для оценки несущей способности ленточного фундамента на грунтовой откосе (рис. 1), жесткопластическая среда которого определяется условием прочности в главных напряжениях:

$$\sigma_3 = -C + A \cdot \sigma_1,$$

$$\text{где } A = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}; \quad C = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}.$$

Выберем конкретное поле скоростей грунта в откосе под фундаментом (рис. 1).

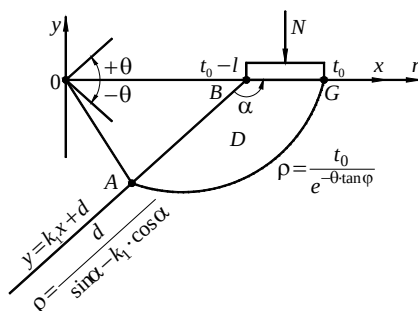


Рис. 1. Схема к решению задачи фундамент на откосе

Покажем, что поле (1) удовлетворяет нормальному закону текучести [5].

$$V_r = 0; \quad V_\theta = rF(re^{\theta \tan \varphi}). \quad (1)$$

Рассмотрим [4] поле скоростей в области D (рис. 1). Пусть AC — полярный луч, а (r, θ) — полярные координаты. Нормальный закон течения для полярных скоростей деформаций выглядит следующим образом:

$$s(\dot{\varepsilon}_r + \dot{\varepsilon}_\theta) = \sqrt{(\dot{\varepsilon}_r + \dot{\varepsilon}_\theta)^2 + \gamma_{r\theta}^2}, \quad (2)$$

где $s = \frac{A+1}{A-1}$.

Будем искать поле скоростей в области D в виде

$$V_r = 0; \quad V_\theta = V_\theta(r; \theta). \quad (3)$$

Подставим (3) в (2). С учетом известных зависимостей

$$\dot{\varepsilon}_r = \frac{\partial V_r}{\partial r}; \quad \dot{\varepsilon}_\theta = \frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_\theta}{r \partial \theta}; \quad \gamma_{r\theta} = \frac{\partial V_\theta}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} + \frac{\partial V_r}{r \partial \theta}.$$

Получим следующее уравнение:

$$s \frac{1}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} = \sqrt{\left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_\theta}{\partial r} - \frac{V_\theta}{r} \right)^2}. \quad (4)$$

Возведем обе части уравнения (4) в квадрат и сделаем в нем замену искомой функции:

$$V_\theta = rV_\theta^*.$$

Тогда уравнение (4) преобразуется в уравнение

$$k \frac{\partial V_\theta^*}{\partial \theta} = r \frac{\partial V_\theta^*}{\partial r}, \quad (5)$$

где $k = \pm \sqrt{s^2 - 1}$.

Общее решение уравнения (5) имеет вид

$$V_{\theta}^* = F(re^{\frac{\theta}{k}}),$$

где F — произвольная дифференцируемая функция. Ясно, что в области D скорости выражаются формулой

$$V_{\theta} = rF(re^{\frac{\theta}{k}}).$$

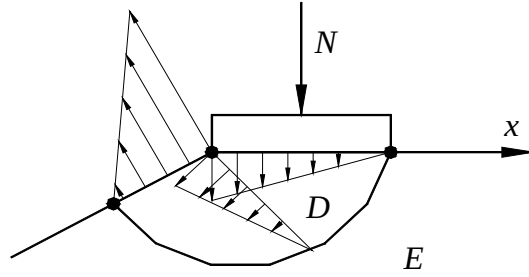


Рис. 2. Кинематически допустимое поле скоростей: D — область ассоциированного течения; E — недеформируемая область, где $\bar{V} = 0$

По подошве фундамента при $\theta = 0$ скорости $V_{\theta/\theta=0} = rF(r) = ar + b$, тогда функция $F(r)$ определяется следующим образом:

$$F(r) = a + \frac{b}{r}.$$

При $r = t_0$ в точке G выбираем скорость $V_{\theta} = 0$, тогда $b = -at_0$.

При $r = t_0 - l$ в точке B выбираем скорость $V_{\theta}^0 = -1$, тогда

$$a = \frac{1}{l}; \quad b = -\frac{t_0}{l}.$$

Следовательно, поле скоростей (рис. 2) в области D определяется по формулам:

$$V_{\theta} = \frac{r}{l} - \frac{t_0}{l \cdot e^{\frac{\theta}{k}}}; \quad V_r = 0. \quad (6)$$

Найдем верхнюю оценку несущей способности N фундамента из равенства мощностей внешних и внутренних сил.

Соответствующая полю скоростей (6) мощность внешних объемных сил:

$$M_{\gamma} = -\gamma \iint_D V_{\theta} \cos \theta dS = -\gamma \int_{\theta_0}^0 d\theta \int_{d/\sin \theta - k_1 \cos \theta}^{\frac{t_0}{e^{-\theta \cdot \tan \varphi}}} \left(\frac{r^2}{l} - \frac{t_0 \cdot r}{l \cdot e^{\frac{\theta}{k}}} \right) \cos \theta dr. \quad (7)$$

Мощность от внешней сосредоточенной силы интенсивностью N :

$$M_N = N \frac{l}{2} \omega, \quad (8)$$

где $\omega = \frac{V_\theta^0}{l}$ — угловая скорость ($V_\theta = 1$).

Мощность внутренних сил области D :

$$M_{\text{внутр}} = 1 \cdot \iint_D \sigma_i \dot{\varepsilon}_i dV = -1 \cdot C \int_D \dot{\varepsilon} dS. \quad (9)$$

Из (6) следует:

$$\dot{\varepsilon}_3 = \frac{t_o \cdot (1 - \sin \varphi)}{2 \cdot l \cdot \cos \varphi \cdot e^{\theta \cdot \tan \varphi}} \cdot \frac{1}{r}. \quad (10)$$

Подставим (10) в (9):

$$M_{\text{внутр}} = \frac{C \cdot t_o \cdot (1 - \sin \varphi)}{2 \cdot l \cdot \cos \varphi} \int_{\theta_0}^0 \left(t_o \cdot e^{\theta \cdot \tan \varphi} - \frac{d}{\sin \theta - k_1 \cos \theta} \cdot \frac{1}{e^{\theta \cdot \tan \varphi}} \right) d\theta.$$

Из равенства внешних (7, 8) и внутренних (9) сил определяется верхняя оценка несущей способности фундамента на откосе:

$$N = 2 \cdot (M_{\text{внутр}} - M_\gamma). \quad (11)$$

Выявлено, что при увеличении параметра t верхние оценки несущей способности увеличиваются. Следовательно при $t = l$ верхняя оценка несущей способности наименьшая (чем меньше верхняя оценка, тем она точнее). В дальнейших расчетах принимаем $t = l$.

Верхние оценки несущей способности (11) ленточного фундамента на откосе в зависимости от угла откоса, град., и нормативных значений удельного сцепления c , кПа, угла внутреннего трения φ , град., глинистых нелессовых грунтов четвертичных отложений при коэффициенте пористости e , равном 0,85, приведены в табл. 1.

Нормативные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов взяты из табл. Г.2 приложения Г [1].

Зависимость несущей способности от прочностных характеристик и углов откоса, приведенная в табл.1, графически показана на рис. 3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М. : Стройиздат, 2005. 137 с.
2. Цветков В.К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1979.
3. Богомолов А.Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996.
4. Дыба В.П. Оценки несущей способности системы «фундамент — грунтовое основание» и оптимизация проектных решений : дис. ...д-ра техн. наук. Новочеркасск, 2003. 319 с.
5. Дыба В.П. Предельная несущая способность оснований ленточных фундаментов : Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск : ЮРГТУ, 2005. 28 с.
6. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М. : Наука, 1979. 744 с.
7. EN 1997-1:2003 (E); CEN/TC 250. Eurocod 7 Geotechnical design — Part 1: General rules. Final draft, 2003. 167 p.

Верхняя оценка несущей способности N^ жесткого ленточного фундамента
на откосе, кН/м^1*

Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текущей I_L		Обозначения характеристик грунтов	Значения	Угол откоса, град.						
				00	100	200	300	400	500	600
Супеси	$0,25 < I_L \leq 0,75$	c	9	$\frac{160,5^2}{142,5^3}$	122,2	111,9	102,0	92,4	83,3	74,7
		ϕ	18							
		E^4	7							
Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	22	$\frac{451,6}{420,2}$	325,4	297,6	271,2	246,2	222,6	200,2
		ϕ	22							
		E	14							
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c	18	$\frac{299,6}{280,0}$	250,6	230,3	210,9	192,3	174,5	157,5
		ϕ	19							
		E	11							
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c	16	$\frac{217,8}{202,9}$	212,1	195,8	179,9	164,6	149,9	135,7
		ϕ	16							
		E	8							
Глины	$0 \leq I_L \leq 25$	c	47	$\frac{665,7}{639,5}$	646,4	597,0	549,6	504,1	460,3	418,2
		ϕ	18							
		E	18							

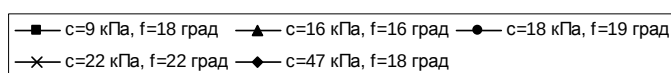
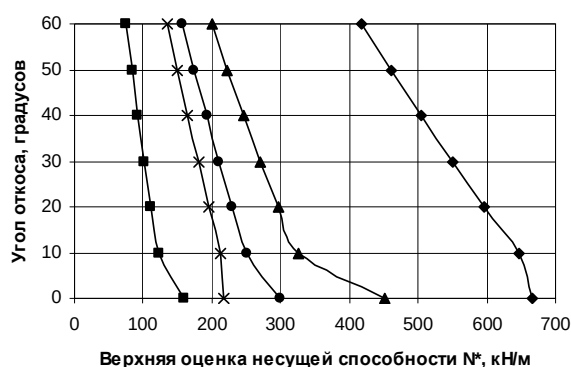


Рис. 3. График зависимости угла откоса от верхней оценки несущей способности⁵ (здесь f — угол откоса)

Поступила в редакцию в декабре 2007 г.

© Павлющик С.А., Дыба В.П., 2008

¹ Исходные данные: собственный вес грунта $\gamma=18 \text{ кН/м}^3$; ширина штампа $l=1 \text{ м}$.

² Вертикальная составляющая силы предельного сопротивления основания, полученная согласно формуле 5.30 п. 5.6.11 [1].

³ Вертикальная составляющая силы предельного сопротивления основания, полученная согласно аналитическому методу расчета предельного сопротивления основания [7].

⁴ Модуль деформации дан для четвертичных отложений аллювиальных, делювиальных, озерных, озерно-аллювиальных глинистых нелессовых грунтов при коэффициенте пористости e , равном 0,85, согласно табл. Г.3 прил. Г [1].

⁵ Значение при угле откоса, равном 0 град, получено согласно формуле 5.30 п. 5.6.11 [1].

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

УДК 624.074.43:539.371

Ю. В. Клочков, О. А. Проскурнова

РАСЧЕТ СОЧЛЕНЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ПРИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Изложен алгоритм расчета конструкций из сочлененных оболочек вращения при упруго-пластическом состоянии материала на основе МКЭ. В качестве элемента дискретизации применяется четырехугольный конечный элемент с восемнадцатью степенями свободы в узле. Для расчета за пределом упругости использована теория пластического течения в сочетании с шаговой процедурой нагружения. Для корректного сочленения нескольких оболочек вращения разработаны кинематические и статические условия сопряжения, позволяющие выразить узловые неизвестные примыкающих оболочек через приращения перемещений основной оболочки и их производные.

Algorithm of the calculation design is stated in work from shell of the rotation under springy-plastic condition of the material on base of the method finite element. As element to sampling is used tetragonal final element with eighteen degrees of the liberty in node. For calculation for limit of bounce is used theory of the plastic current in combination with crossbar procedure of load. For correct joint several shells of the rotation is designed kinematical and steady-state conditions of the interfacing, allowing express node unknown verging shell through incriminations of the moving the main shell, and their derived.

В настоящее время широкое применение находят строительные конструкции в виде сочлененных оболочек. Это магистральные трубопроводы, бункеры, водонапорные башни и др. Особый интерес при расчете такого рода конструкций вызывает зона сочленения оболочек, где возникает значительная концентрация напряжений и их максимальные значения быстро достигают предела текучести. В связи с этим актуальной становится задача по определению напряженно-деформированного состояния (НДС) сочлененных оболочек за пределом упругости применяемого материала. В настоящей работе изложен алгоритм расчета такого рода конструкций на основе метода конечных элементов (МКЭ) при использовании теории пластического течения.

В качестве элемента дискретизации сочлененной оболочки вращения используется четырехугольный криволинейный фрагмент срединной поверхности с узлами i, j, k, l . Границы такого элемента в общем случае могут не совпадать с линиями главных кривизн. Для удобства численного интегрирования криволинейный конечный элемент отображается на квадрат с локальными координатами $-1 \leq \xi, \eta \leq 1$.

Связь между глобальными S , θ (S — длина дуги меридиана; θ — угол, отсчитываемый от образующей против часовой стрелки) и локальными координатами ξ , η осуществляется с помощью билинейной зависимости [1].

$$Q = \frac{1-\xi}{2} \cdot \frac{1-\eta}{2} Q^i + \frac{1+\xi}{2} \cdot \frac{1-\eta}{2} Q^j + \frac{1+\xi}{2} \cdot \frac{1+\eta}{2} Q^k + \frac{1-\xi}{2} \cdot \frac{1+\eta}{2} Q^l, \quad (1)$$

где под Q понимается глобальная координата S или θ , а верхние индексы i, j, k и l обозначают соответствующие узлы четырехугольного конечного элемента.

Для реализации конечно-элементной процедуры при расчете сочлененной оболочки за пределом упругости наиболее естественным выглядит использование шаговой процедуры нагружения. В этом случае в качестве узловых варьируемых параметров четырехугольного конечного элемента в локальной и глобальной системах координат выбираются приращения компонент вектора перемещения, их первые и вторые производные по соответствующим координатам

$$\begin{aligned} \left\{ \Delta U_y^n \right\}_{1 \times 72}^T &= \left\{ \left\{ \Delta u_y^n \right\}_{1 \times 24}^T \left\{ \Delta v_y^n \right\}_{1 \times 24}^T \left\{ \Delta w_y^n \right\}_{1 \times 24}^T \right\}; \\ \left\{ \Delta U_y^r \right\}_{1 \times 72}^T &= \left\{ \left\{ \Delta u_y^r \right\}_{1 \times 24}^T \left\{ \Delta v_y^r \right\}_{1 \times 24}^T \left\{ \Delta w_y^r \right\}_{1 \times 24}^T \right\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где Δu , Δv , Δw — приращения меридиональной, окружной и нормальной компонент вектора перемещения.

Входящие в (2) столбцы $\left\{ \Delta q_y^n \right\}$ и $\left\{ \Delta q_y^r \right\}$ имеют следующую структуру

$$\begin{aligned} \left\{ \Delta q_y^n \right\}_{1 \times 24}^m &= \left\{ \Delta q^i \Delta q^j \Delta q^k \Delta q^l \Delta q_{,\xi}^i \Delta q_{,\xi}^j \Delta q_{,\xi}^k \Delta q_{,\xi}^l \right. \\ &\quad q_{,\eta}^i \Delta q_{,\eta}^j \Delta q_{,\eta}^k \Delta q_{,\eta}^l \Delta q_{,\xi\xi}^i \Delta q_{,\xi\xi}^j \Delta q_{,\xi\xi}^k \Delta q_{,\xi\xi}^l \\ &\quad \left. q_{,\eta\eta}^i \Delta q_{,\eta\eta}^j \Delta q_{,\eta\eta}^k \Delta q_{,\eta\eta}^l \Delta q_{,\xi\eta}^i \Delta q_{,\xi\eta}^j \Delta q_{,\xi\eta}^k \Delta q_{,\xi\eta}^l \right\}; \\ \left\{ \Delta q_y^r \right\}_{1 \times 24}^m &= \left\{ \Delta q^i \dots \Delta q^l \Delta q_{,s}^i \dots \Delta q_{,s}^l q_{,\theta}^i \dots \Delta q_{,\theta}^l \right. \\ &\quad \left. \Delta q_{,ss}^i \dots \Delta q_{,ss}^l q_{,\theta\theta}^i \dots \Delta q_{,\theta\theta}^l q_{,s\theta}^i \dots \Delta q_{,s\theta}^l \right\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь под символом Δq понимается приращение компонент вектора перемещения Δu , Δv , Δw .

Для формирования матрицы жесткости четырехугольного конечного элемента на $(j+1)$ -м шаге нагружения используется равенство работ внешних и внутренних сил на шаговом перемещении

$$\int_V \left\{ \Delta \varepsilon^\zeta \right\}^m \left\{ \sigma + \Delta \sigma \right\} dV = \int_F \left\{ \Delta U \right\}^m \left\{ P + \Delta P \right\} dF, \quad (4)$$

где $\left\{ \Delta \varepsilon^\zeta \right\}^T = \left\{ \Delta \varepsilon_{11}^\zeta \Delta \varepsilon_{22}^\zeta \Delta \varepsilon_{12}^\zeta \right\}$ — столбец приращений деформаций произвольного слоя оболочки; $\left\{ \sigma \right\}^T = \left\{ \sigma_{11} \sigma_{22} \sigma_{12} \right\}$, $\left\{ \Delta \sigma \right\}^T = \left\{ \Delta \sigma_{11} \Delta \sigma_{22} \Delta \sigma_{12} \right\}$ — столбцы

напряжений и их приращений на шаге нагружения; $\{\Delta U\}^T = \{\Delta u, \Delta v, \Delta w\}$ — столбец приращений компонент вектора перемещения точки срединной поверхности; $\{P\}^T = \{p_{11} p_{22} p_{12}\}$, $\{\Delta P\}^T = \{\Delta p_{11} \Delta p_{22} \Delta p_{12}\}$ — столбцы внешней нагрузки и ее приращений на шаге нагружения.

С использованием [2] можно скомпоновать следующие матричные соотношения

$$\{\Delta \varepsilon^c\} = [\Gamma] \{\Delta \varepsilon\}; \quad \{\Delta \varepsilon\} = [B] \{\Delta U_y^n\}, \quad (5)$$

где $\{\Delta \varepsilon\} = \{\Delta \varepsilon_{11} \Delta \varepsilon_{22} \Delta \varepsilon_{12} \Delta \chi_{11} \Delta \chi_{22} \Delta \chi_{12}\}$ — столбец приращений деформаций точки срединной поверхности.

Столбец $\{\Delta U\}$ может быть выражен через столбец $\{\Delta U_y^n\}$

$$\{\Delta U\} = [A] \{\Delta U_y^n\}, \quad (6)$$

где матрица $[A]$ содержит функции формы, представляющие собой произведения полиномов Эрмита 5-й степени.

Предположим, что столбец $\{\Delta \sigma\}$ может быть выражен через $\{\Delta \varepsilon^c\}$ матричным соотношением

$$\{\Delta \sigma\} = [C_n] \{\Delta \varepsilon^c\}. \quad (7)$$

Столбец узловых неизвестных на шаге нагружения в локальной системе координат $\{\Delta U_y^n\}$ можно представить выражением

$$\{\Delta U_y^n\} = [PR] \{\Delta U_y^r\}, \quad (8)$$

где элементы матрицы $[PR]$ определяются дифференцированием (1) по локальным координатам ξ, η .

Соотношение (4) с учетом (5)—(8) может быть преобразовано к виду

$$[K_{ш}] \{\Delta U_y^r\} = \{R_{ш}\}, \quad (9)$$

где $[K_{ш}] = [PR]^T \int_V [B]^T [\Gamma]^T [C_n] [\Gamma] [B] dV [PR]$ — матрица жесткости четырехугольного конечного элемента на $(j+1)$ -м шаге нагружения; $\{R_{ш}\} = [PR]^T \left(\int_F [A]^T [\{P\} + \{\Delta P\}] dF - \int_V [B]^T [\Gamma]^T \{\sigma\} dV \right)$ — столбец приращений узловой внешней нагрузки на $(j+1)$ -м шаге нагружения.

Входящая в (9) матрица пластичности $[C_n]$ формируется на основе теории пластического течения.

Полагая, что приращения полных деформаций $\{\Delta \varepsilon^c\}$ на $(j+1)$ -м шаге нагружения равны сумме приращений упругих и пластических деформаций [3], запишем их в следующем виде [4]:

$$\begin{aligned}\Delta \varepsilon_{11}^c &= (\Delta \sigma_{11} - \nu \Delta \sigma_{22}) / E + 1,5 \Delta \sigma_i \varphi (\sigma_{11} - \sigma_0) / \sigma_i; \\ \Delta \varepsilon_{22}^c &= (\Delta \sigma_{22} - \nu \Delta \sigma_{11}) / E + 1,5 \Delta \sigma_i \varphi (\sigma_{22} - \sigma_0) / \sigma_i;\end{aligned}\quad (10)$$

$$\begin{aligned}\Delta \varepsilon_{12}^c &= (1 + \nu) \sigma_{12} / E + 1,5 \Delta \sigma_i \varphi \sigma_{12} / \sigma_i; \\ \Delta \varepsilon_{33}^c &= -\nu (\Delta \sigma_{11} + \Delta \sigma_{22}) / E - 1,5 \Delta \sigma_i \varphi \sigma_0 / \sigma_i,\end{aligned}\quad (11)$$

где $\varphi = (1/E_k - 1/E_1)$; E_k — касательный модуль диаграммы деформирования; E_1 — модуль начального участка диаграммы деформирования; $\sigma_i = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22} + 3\sigma_{12}^2}$ — интенсивность напряжений; $\Delta \sigma_i$ — приращение интенсивности напряжений; $\sigma_0 = (\sigma_{11} + \sigma_{22})/3$ — среднее нормальное напряжение.

Соотношения (10) могут быть представлены в матричном виде:

$$\{\Delta \varepsilon^c\} = [D] \{\Delta \sigma\}. \quad (12)$$

Матрица пластичности $[C_n]$, необходимая для формирования матрицы жесткости четырехугольного конечного элемента на $(j+1)$ -м шаге нагружения, определяется обращением матрицы $[D]$

$$[C_n] = [D]^{-1}. \quad (13)$$

Для корректного сочленения оболочек вращения на линии их соединения столбец узловых варьируемых параметров одной из них принимается за основной. Столбцы узловых неизвестных остальных оболочек должны быть выражены через столбец узловых неизвестных основной оболочки исходя из кинематических и статических условий сочленения.

Для выражения приращений компонент векторов перемещений примыкающих оболочек через приращения компонент основной оболочки используется условие инвариантности приращений векторов перемещений узла сочленения оболочек

$$\Delta \vec{V}^{(1)} = \Delta \vec{V}^{(2)} = \dots = \Delta \vec{V}^{(n)}, \quad (14)$$

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

Для выражения первых и вторых производных приращений компонент векторов перемещений примыкающих оболочек по окружной координате через столбец узловых неизвестных основной оболочки можно воспользоваться дифференцированием (14)

$$\frac{\partial \Delta \vec{V}^{(1)}}{r \partial \theta^{(1)}} = -\frac{\partial \Delta \vec{V}^{(i)}}{r \partial \theta^{(i)}}; \quad \frac{\partial^2 \Delta \vec{V}^{(1)}}{r^2 \partial \theta^{2(1)}} = \frac{\partial^2 \Delta \vec{V}^{(i)}}{r^2 \partial \theta^{2(i)}}. \quad (15)$$

Знак минус в первом равенстве (15) указывает на то, что правоориентированные базисные орты, касательные к срединной поверхности, для основной и примыкающих оболочек имеют противоположные направления.

Можно предположить, что углы поворота нормалей в узлах сочленения n оболочек в процессе деформирования остаются неизменными

$$\frac{\partial \Delta \vec{V}^{(i)}}{\partial S^{(i)}} \cdot \vec{n}^{(i)} = -\frac{\partial \Delta \vec{V}^{(1)}}{\partial S^{(1)}} \cdot \vec{n}^{(1)}. \quad (16)$$

Из (16) можно выразить первую производную приращения нормальной компоненты вектора перемещения по дуге меридиана

$$\frac{\partial \Delta w^{(i)}}{\partial S^{(i)}} = f_1 \left(\left\{ \Delta U_y^{(1)} \right\} \right), \quad (17)$$

где $\left\{ \Delta U_y^{(1)} \right\}$ - столбец узловых неизвестных основной оболочки.

Дифференцированием (17) по дуге окружности сочленения оболочек можно получить смешанную производную приращения нормальной компоненты векторов перемещений примыкающих оболочек через столбец узловых варьируемых параметров основной оболочки

$$\frac{\partial^2 \Delta w^{(i)}}{\partial S^{(i)} r \partial \theta^{(i)}} = f_2 \left(\left\{ \Delta U_y^{(1)} \right\} \right). \quad (18)$$

В узлах на линии пересечения n оболочек должны выполняться условия статики о равенстве нулю суммы моментов и сил

$$\sum_{i=1}^n \vec{M}^{(i)} = \vec{0}; \quad \sum_{i=1}^n \vec{T}^{(i)} = \vec{0}, \quad (19)$$

где $(i = 1, 2, \dots, n)$ — число сочленяемых оболочек.

Из (19) можно получить выражения для второй производной приращения нормального перемещения и первую производную приращения кольцевого перемещения по дуге меридиана одной из примыкающих оболочек через столбец узловых неизвестных основной оболочки $\left\{ \Delta U_y^{(1)} \right\}$. Остальные приращения компонент вектора перемещения примыкающих оболочек остаются свободно варьируемыми.

На основе вышеприведенных соотношений на алгоритмическом языке TurboPascal был разработан пакет прикладных программ и выполнен расчет на прочность конструкции, состоящей из цилиндра и примыкающих двух конусов с учетом физической нелинейности материала, в качестве которого был использован алюминиевый сплав. Результаты конечно-элементного анализа НДС рассчитанной конструкции показали удовлетворительную сходимость вычислительного процесса, достаточную для инженерной практики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клочков Ю.В. Применение четырехугольного конечного элемента с матрицей жесткости 72×72 для расчета оболочечных конструкций / Ю.В. Клочков, А.П. Николаев, А.П. Киселев // Изв. вузов. Сер.: Строительство. 1998. № 4—5.
2. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. Л.: Судпромгиз, 1962. 432 с.
3. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1975. 400 с.
4. Николаев А.П. К применению МКЭ для расчета оболочек вращения с учетом пластических свойств материала / А.П. Николаев, Н.Г. Бандурин // Изв. вузов. Сер.: Строительство и архитектура. 1985. № 3. С. 24—27.

© Клочков Ю.В., Проскурнова О.А., 2008

Поступила в редакцию
в декабре 2007 г.

УДК 624.072.2:539.214

А. В. Старов**ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРУГЛЫХ МЕМБРАН
ПРИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ С УЧЕТОМ БОЛЬШИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ**

Рассмотрена задача пластического деформирования круглых мембран с учетом больших перемещений. Используется модель жесткопластического тела, условие пластичности Мизеса и точные выражения для кривизн срединной поверхности. Получено аналитическое решение с учетом и без учета изменения толщины мембраны в процессе деформирования.

The task of a plastic straining of round diaphragms in view of greater transitions is considered. The model of rigidly plastic skew field, a condition of toughness of Mises and exact expressions for radius of curvature a median surface is used. Analytical solution in view of and without taking into account a modification of width of a diaphragm during a straining is gained.

Прямоугольные и круглые мембраны, выполненные из мягких сталей с выраженной площадкой текучести, переходят в пластическое состояние при отношении максимального прогиба к минимальному размеру в плане или диаметру $W_0 / 2R \approx 1/40$ [1, 2].

Теория мембран применяется при отношении толщины мембраны к диаметру $h_0 / 2R \leq 1/80 \dots 1/100$. При этом отношение максимального прогиба к толщине будет составлять $\frac{W_0}{h_0} = \frac{W_0}{2R} \cdot \frac{2R}{h_0} \approx 2$.

Остаточное относительное удлинение большинства конструкционных сталей составляет 15...20 %. Считая, что относительные линейные деформации в процессе пластического деформирования могут достичь 5...10 %, величина углов поворота $\frac{dW}{dr}$ может достигать 0,3...0,5, а отношение $\frac{W_0}{h_0} = 8...10$.

В условиях развитых пластических деформаций, на порядок превышающих упругие, целесообразно использовать модель жесткопластического тела, полностью пренебрегая упругими деформациями и позволяя существенно упростить решение нелинейной краевой задачи. При этом необходимо использовать точные выражения для кривизн срединной поверхности, удерживая члены, содержащие $\left(\frac{dW}{dr}\right)^2$:

$$\frac{1}{R_1} = -\frac{d^2W}{dr^2} \left[1 + \left(\frac{dW}{dr} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}}; \quad \frac{1}{R_2} = -\frac{dW}{dr} \left[1 + \left(\frac{dW}{dr} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Уравнения равновесия круглых мембран при действии осесимметричной нагрузки имеют вид [1]

$$\frac{d}{dr} [r N_1] - N_2 = 0; \quad \frac{N_1}{R_1} + \frac{N_2}{R_2} = P. \quad (2)$$

Здесь N_1, N_2 — усилия в радиальном и кольцевом направлениях, подчиняющиеся условию пластичности Мизеса:

$$N_1^2 - N_1 N_2 + N_2^2 = (2\sigma_s h_0)^2, \quad (3)$$

где $2h_0$ — начальная толщина мембраны; σ_s — предел текучести.

Первое уравнение системы (2) и уравнение (3) имеют единственное решение $N_1 = N_2 = N = 2\sigma_s h_0$.

Деформации срединной поверхности при больших углах поворота касательной

$$\varepsilon_1 = \left[\left(1 + \frac{dU}{dr} \right)^2 + \left(\frac{dW}{dr} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - 1; \quad \varepsilon_2 = \frac{U}{r}. \quad (4)$$

Если $\frac{dW}{dr} \leq 1$, то с достаточной точностью можно использовать выражения для деформаций в рамках теории Кармана [1] (погрешность не более 6 %)

$$\varepsilon_1 = \frac{dU}{dr} + \frac{1}{2} \left(\frac{dW}{dr} \right)^2; \quad \varepsilon_2 = \frac{U}{r}. \quad (5)$$

Соотношения ассоциированного закона течения позволяют получить выражения для скоростей деформаций и перемещений срединной поверхности в радиальном направлении. С учетом $N_1 = N_2 = N$, получим

$$\dot{\varepsilon}_i = \int_r^R \frac{d\dot{W}}{dr} \cdot \frac{dW}{dr} \cdot \frac{dr}{r}; \quad \dot{u} = r \cdot \int_r^R \frac{d\dot{W}}{dr} \cdot \frac{dW}{dr} \cdot \frac{dr}{r}. \quad (6)$$

Здесь точка — дифференцирование по любому неубывающему параметру нагружения.

Деформации и перемещения в соответствии с (6) —

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &= \int_r^R \frac{1}{2} \left(\frac{dW}{dr} \right)^2 \cdot \frac{dr}{r} + \varepsilon_i^0 = \varepsilon_i^0 + \int_r^P \dot{\varepsilon}_i dP, \\ u &= r \cdot \int_r^R \frac{1}{2} \left(\frac{dW}{dr} \right)^2 \cdot \frac{dr}{r} + u^0 = u^0 + \int_r^P \dot{u} dP, \end{aligned} \quad (7)$$

где $\varepsilon_i^0; u^0$ — начальное поле деформаций и перемещений, остающееся неопределенным вследствие применения модели жесткопластического тела.

Второе уравнение (2) с учетом (1) принимает вид

$$\frac{d^2 W}{dr^2} \left[1 + \left(\frac{dW}{dr} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dW}{dr} \left[1 + \left(\frac{dW}{dr} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = -\frac{P}{N}, \quad (8)$$

или

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{dW}{dr} \left\{ r \cdot \frac{dW}{dr} \left[1 + \left(\frac{dW}{dr} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \right\} = -\frac{P}{N}. \quad (9)$$

Дважды интегрируя (9) с учетом граничных условий $\frac{dW}{dr}(0) = 0$; $W(R) = 0$, опуская громоздкие преобразования, получим

$$W = \frac{2N}{P} \left[1 - \left(\frac{P \cdot r}{2N} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{2N}{P} \left[1 - \left(\frac{P \cdot R}{2N} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

Так как $W(0) = W_0$, из (10) следует зависимость между нагрузкой и прогибом в центре мембраны

$$P = \frac{4N \cdot W_0}{R^2 + W_0^2}. \quad (11)$$

Согласно (10) и (11) при деформировании мембрана превращается в сферическую поверхность.

Для учета влияния изменения толщины мембраны в процессе деформирования примем следующие гипотезы:

при учете влияния изменения толщины мембраны характер деформирования не меняется;

изменения толщины по радиусу равномерны, при интегрировании уравнений производными $\frac{dh}{dr}$; $\frac{dh}{dW_0}$ можно пренебречь;

материал мембраны несжимаем.

Составляя равенство

$$h_0 \cdot S_0 = h \cdot S',$$

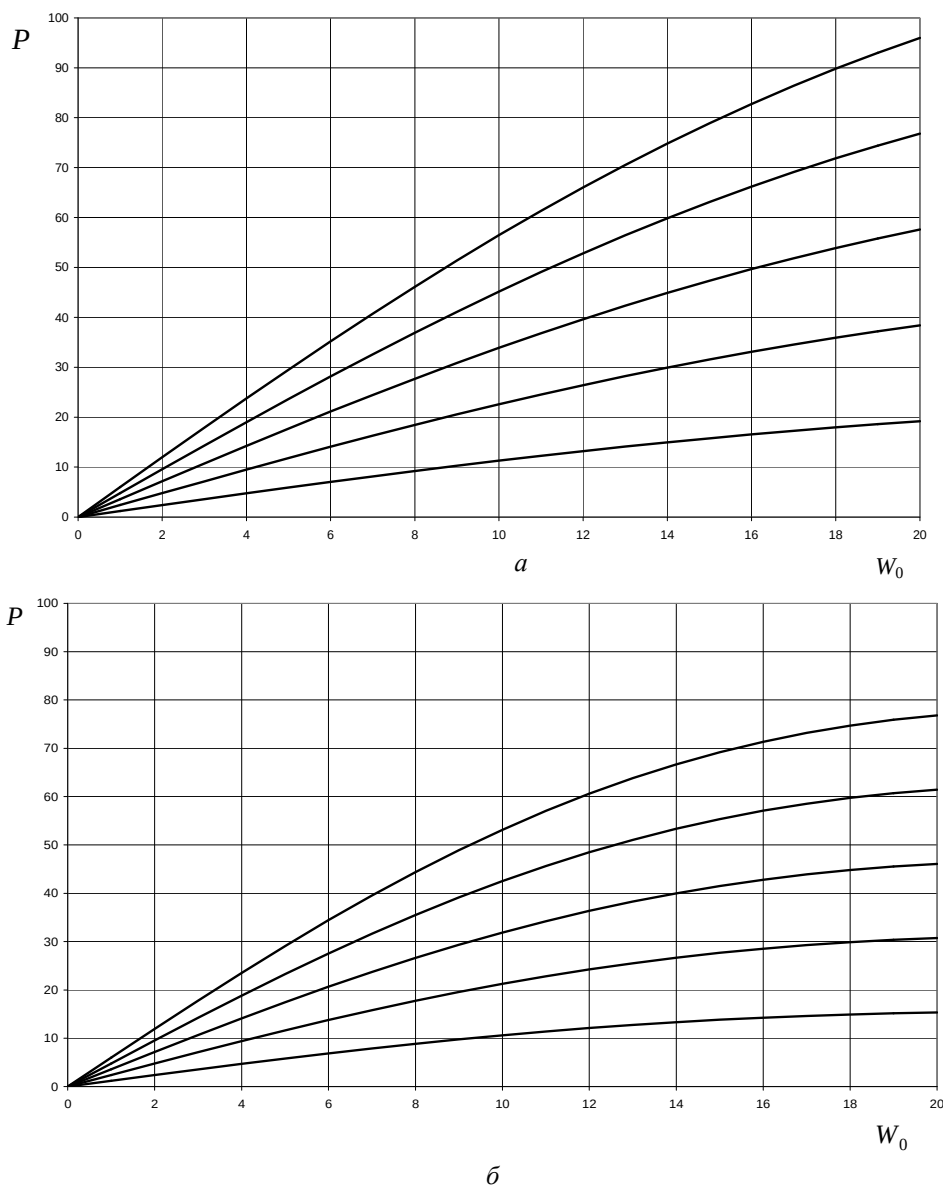
где $S_0 = \pi R^2$, $S' = \pi(R^2 + W_0^2)$ — поверхность сферы, получим

$$h = \frac{h_0 \cdot R^2}{R^2 + W_0^2}. \quad (12)$$

Зависимость (11) с учетом (12) примет вид

$$P = \frac{8\sigma_s \cdot h_0 \cdot R^2 \cdot W_0}{(R^2 + W_0^2)^2}. \quad (13)$$

Зависимости «нагрузка — прогиб» в центре мембраны радиусом $R = 50$ см с учетом и без учета изменения толщины в процессе деформирования при $2h_0 = 2, 4, 6, 8, 10$ мм показаны на рисунке.



Зависимости «нагрузка-прогиб» в центре мембраны радиуса $R = 50$ см без учета изменения толщины (a) и с учетом изменения толщины ($б$) в процессе деформирования при $2h_0 = 2, 4, 6, 8, 10$ мм

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теория гибких упругих пластинок : сб. ст. / пер. с кит. В.В. Новицкого и В.П. Слабнова ; ред. А.С. Вольмир. М. : Изд-во иностранной литературы, 1957. 208 с.
2. Калманок А.С. Расчет пластинок : справочное пособие. М. : Гос. изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1959. 212 с.

© Старов А.В., 2008

Поступила в редакцию
в сентябре 2007 г.

УДК 624.072.2:539.214

А. В. Старов**ДИНАМИКА ПЛАСТИЧЕСКИХ КРУГЛЫХ МЕМБРАН ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ НАГРУЗКАМИ БОЛЬШОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

Рассмотрена задача пластического деформирования круглых мембран под действием ударной нагрузки. Получены системы разрешающих уравнений, разработан алгоритм и программа численной реализации задачи на основе метода конечных разностей, дифференциально-разностного метода, в рядах Фурье по функциям Бесселя.

The task of a plastic warping of round diaphragms under operation of a shock load is considered. Systems of the resolving equations are gained, the algorithm and the program of numerical implementation of the task on the basis of a finite-difference method, a differential-difference method, in the ranks of Fourier on cylindrical functions is developed.

Оценка остаточных прогибов круглых пластин, мембран и пологих оболочек вращения при кратковременном нагружении нагрузками большой интенсивности, превышающими несущую способность конструкций, является основной задачей динамической теории предельного сопротивления [1].

Подобные конструкции используются в объектах специального назначения в качестве предохранительных устройств, препятствующих распространению ударной волны, в сосудах высокого давления, в других отраслях техники, где возможно высокоинтенсивное кратковременное ударное нагружение.

Модель идеально пластического тела, пренебрегающая упругими деформациями, позволяет значительно упростить систему разрешающих уравнений и широко применяется при условии, если пластические деформации значительно (на порядок) превышают упругие [1].

Рассмотрим постановку задачи о динамическом нагружении круглой мембраны кратковременной нагрузкой прямоугольного типа. В момент времени $t = 0$ к мембране мгновенно прикладывается нагрузка $P = \text{const}$ и действует в течение времени $t = t_p$. Далее нагрузка мгновенно сбрасывается и мембрана продолжает деформироваться до полной остановки в момент времени $t = t_k$. Исследуемыми параметрами являются остаточные прогибы и время полной остановки мембраны.

Уравнения движения круглой мембраны в безразмерных координатах и переменных имеют вид:

$$\begin{aligned} \rho \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= \frac{4\rho_0^2}{h^2} \left\{ n_2 - \frac{\partial}{\partial \rho} (\rho n_1) \right\}, \\ \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} &= P(t) + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho n_1 \frac{\partial W}{\partial \rho} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где $W = \frac{2\bar{W}}{h}$ — прогиб срединной поверхности; $u = \frac{4\bar{u}\rho_0}{h^2}$ — радиальное перемещение срединной поверхности; $\rho = \frac{\bar{\rho}}{\rho_0}$ — радиус проекции произволь-

ной точки; ρ_0 — радиус опорного контура мембраны; $n_i = \frac{\bar{N}_i}{2\sigma_s h}$ — мембранные силовые факторы; $P = \frac{\bar{P}\rho_0^2}{\sigma_s h^2}$ — действующая распределенная нагрузка; $i = 1, 2$ — индексы радиального и окружного направлений; σ_s — предел текучести материала, не зависящий от скорости пластического деформирования; $t = \bar{t} \cdot \sqrt{2\sigma_s h / \gamma \rho_0^2}$ — безразмерное время; $2h$ — толщина пластинки; γ — масса единицы площади.

Начальные условия:

$$W(\rho, 0) = \dot{W}(\rho, 0) = u(\rho, 0) = \dot{u}(\rho, 0) = 0.$$

Граничные условия:

$$n_1(0, t) = n_2(0, t); u(0, t) = \dot{u}(0, t) = 0;$$

$$W(1, t) = \dot{W}(1, t) = u(1, t) = \dot{u}(1, t) = 0.$$

Учет взаимовлияния мембранных силовых факторов осуществляется на основе поверхности текучести [1] для безмоментного напряженного состояния

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

Скорости деформаций срединной поверхности и скорости изменения кривизны соответственно равны

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_1 &= \frac{h^2}{4\rho_0^2} \left(\frac{\partial \dot{u}}{\partial \rho} + \frac{\partial \dot{W}}{\partial \rho} \cdot \frac{\partial W}{\partial \rho} \right), \quad \dot{\varepsilon}_2 = \frac{h^2}{4\rho_0^2} \cdot \frac{\dot{u}}{\rho}, \\ \dot{\chi}_1 &= -\frac{h}{2\rho_0^2} \cdot \frac{\partial^2 \dot{W}}{\partial \rho^2}, \quad \dot{\chi}_2 = -\frac{h}{2\rho_0^2} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \dot{W}}{\partial \rho}. \end{aligned} \quad (3)$$

На основании ассоциированного закона течения

$$\dot{\varepsilon}_1 = \lambda(2n_1 - n_2), \quad \dot{\varepsilon}_2 = \lambda(2n_2 - n_1).$$

Решая относительно n_1 и n_2 и подставляя в (2), получим

$$n_1 = \frac{2\dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_2}{3\lambda}, \quad n_2 = \frac{2\dot{\varepsilon}_2 + \dot{\varepsilon}_1}{3\lambda}, \quad \text{где } \lambda = \sqrt{\left(\dot{\varepsilon}_1^2 + \dot{\varepsilon}_1 \dot{\varepsilon}_2 + \dot{\varepsilon}_2^2 \right)} \cdot \frac{1}{3}. \quad (4)$$

Пренебрегая силами инерции в тангенциальном направлении, из первого уравнения (1) получим

$$n_2 - \frac{\partial}{\partial \rho}(\rho n_1) = 0. \quad (5)$$

Система уравнений (2) и (5) имеет единственное решение $n_1 = n_2 = n = 1$, позволяющее найти поле скоростей перемещений в радиальном направлении и скорости деформаций срединной поверхности соответственно

$$\dot{u} = \rho \int_{\rho}^1 \frac{\partial \dot{W}}{\partial \rho} \cdot \frac{\partial W}{\partial \rho} \cdot \frac{1}{\rho} d\rho, \quad (6)$$

$$\dot{\varepsilon}_1 = \dot{\varepsilon}_2 = \int_{\rho}^1 \frac{\partial \dot{W}}{\partial \rho} \cdot \frac{\partial W}{\partial \rho} \cdot \frac{1}{\rho} d\rho \quad (7)$$

как функции прогибов и скоростей прогибов.

Второе уравнение системы (1) принимает канонический вид

$$\frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = P(t) + a^2 \left(\frac{\partial^2 W}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial W}{\partial \rho} \right), \quad a^2 = 1. \quad (8)$$

Решение неоднородного дифференциального уравнения в частных производных гиперболического типа (8) можно получить, используя метод конечных разностей, дифференциально-разностный метод, в рядах Фурье по функциям Бесселя.

1. Метод конечных разностей. Выполняя аппроксимацию частных производных по времени и пространственной координате конечно-разностными аналогами второго порядка точности, дифференциальное уравнение (8) заменим соответствующим конечно-разностным уравнением [4]

$$W_{i,j+1} = 2W_{i,j} - W_{i,j-1} + \left(\frac{\Delta t}{\Delta \rho} \right)^2 \cdot \left\{ W_{i+1,j} - 2W_{i,j} + W_{i-1,j} + \frac{W_{i+1,j} - W_{i-1,j}}{2(i-1)} \right\} + P_i(\Delta t)^2, \quad (9)$$

где $\rho_i = \Delta \rho(i-1)$, $t_j = \Delta t(j-1)$, $(j = 1, 2, \dots)$, $\Delta \rho = \rho_{i+1} - \rho_{i-1} = 1/N$, N — целое ($i = 1, 2, \dots, N+1$).

Для центральной точки пластики с учетом осевой симметрии при $\rho = 0$ ($i = 1$) уравнение (9) примет вид

$$W_{i,j+1} = 2W_{i,j} - W_{i,j-1} + \left(\frac{\Delta t}{\Delta \rho} \right)^2 \cdot \{4W_{i+1,j} - 4W_{i,j}\} + P_i(\Delta t)^2. \quad (10)$$

2. Дифференциально-разностный метод. Выполняя аппроксимацию частных производных по пространственной координате конечно-разностными аналогами, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений, порядок которой зависит от степени дискретизации [4]

$$\frac{\partial^2 W_i}{\partial t^2} = P_i + \frac{W_{i+1} - 2W_i + W_{i-1}}{(\Delta \rho)^2} + \frac{W_{i+1} - W_{i-1}}{\rho_i \cdot 2 \cdot (\Delta \rho)}. \quad (11)$$

Для центральной точки пластинки $\rho = 0$ ($i = 1$)

$$\frac{\partial^2 W_i}{\partial t^2} = P_i + 4 \cdot \frac{W_{i+1} - W_i}{(\Delta \rho)^2}. \quad (12)$$

3. Дифференциально-разностный метод повышенной точности. Используя конечно-разностные аналоги производных по пространственной координате четвертого порядка точности [4], получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{\partial^2 W_i}{\partial t^2} = P_i + \frac{-W_{i-2} + 16W_{i-1} - 30W_i + 16W_{i+1} - W_{i+2}}{12(\Delta\rho)^2} + \frac{W_{i-2} - 8W_{i-1} + 8W_{i+1} - W_{i+2}}{12 \cdot \rho_i(\Delta\rho)}. \quad (13)$$

Уравнение (13) для точек $i=1, i=2, i=N$ с учетом осевой симметрии принимает вид:

$$i=1, (\rho=0): \frac{\partial^2 W_i}{\partial t^2} = P_i + 2 \cdot \frac{-30W_i + 32W_{i+1} - 2W_{i+2}}{12(\Delta\rho)^2}; \quad (14)$$

$$i=2, (\rho=\Delta\rho): \frac{\partial^2 W_i}{\partial t^2} = P_i + \frac{16W_{i-1} - 31W_i + 16W_{i+1} - W_{i+2}}{12(\Delta\rho)^2} + \frac{-8W_{i-1} + W_i + 8W_{i+1} - W_{i+2}}{12 \cdot \rho_i(\Delta\rho)}; \quad (15)$$

$$i=N, (\rho=1-\Delta\rho): \frac{\partial^2 W_i}{\partial t^2} = P_i + \frac{-W_{i-3} + 4W_{i-2} + 6W_{i-1} - 20W_i + 11W_{i+1}}{12(\Delta\rho)^2} + \frac{-W_{i-3} + 6W_{i-2} - 18W_{i-1} + 10W_i + 3W_{i+1}}{12 \cdot \rho_i(\Delta\rho)}. \quad (16)$$

1. Решение в рядах Фурье. Раскладывая нагрузку и функцию перемещений в ряд Фурье по функциям Бесселя нулевого порядка 1-го рода [3]

$$P(t) = \sum_{k=1}^{\infty} P_k \cdot J_0(\mu_k \cdot \rho), \quad W = \sum_{k=1}^{\infty} W_k \cdot J_0(\mu_k \cdot \rho), \quad (17)$$

$$\text{где } P_k = \frac{2}{J_1^2(\mu_k)} \int_0^1 P \cdot J_0(\mu_k \rho) \rho d\rho = \frac{2P}{\mu_k J_1(\mu_k)},$$

получаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{\partial^2 W_k}{\partial t^2} + \mu_k^2 \cdot W_k = P_k \quad (k=1, 2, \dots, \infty), \quad (18)$$

решение которой при начальных условиях $W_k = 0, \dot{W}_k = 0$

$$W_k = P_k [1 - \cos(\mu_k t)] / \mu_k^2, \quad (19)$$

μ_k — корни уравнения $J_0(\mu_k) = 0$.

Прогибы, скорости прогибов и ускорения определяются по формулам

$$W_k = \sum_{k=1}^{\infty} P_k [1 - \cos(\mu_k t)] \cdot J_0(\mu_k \rho) / \mu_k^2; \quad (20)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \sum_{k=1}^{\infty} P_k \sin(\mu_k t) \cdot J_0(\mu_k \rho) / \mu_k ; \quad (21)$$

$$\frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = \sum_{k=1}^{\infty} P_k \cos(\mu_k t) \cdot J_0(\mu_k \rho). \quad (22)$$

Для оценки сходимости решения к точному шаг по пространственной координате принимался в интервале $\Delta \rho = 0,05 \dots 0,02$ ($N = 20 \dots 50$), шаг по времени $\Delta t = 0,01 \dots 0,001$. Остаточные прогибы каждой точки мембраны определялись из условия обращения в ноль скорости прогиба. Система обыкновенных дифференциальных уравнений (11)—(16) решалась численным методом Рунге — Кутты четвертого порядка точности.

Остаточные прогибы круглой мембраны в соответствии с (20) определялись, ограничиваясь 10 членами ряда. Решение данной задачи в рядах Фурье по функциям Бесселя на действие равномерно распределенной нагрузки прямоугольного и треугольного типа было получено в [2], ограничиваясь одним членом ряда (тонкие линии на рис. 1 и 2).

На рис. 1 представлен график зависимости остаточного прогиба в центре круглой мембраны при действии равномерно распределенной нагрузки прямоугольного типа от времени действия нагрузки t_p .

На рис. 2 представлен график зависимости времени полной остановки мембраны t_k от времени действия нагрузки t_p .

На рис. 3 представлены эпюры остаточных прогибов мембран в зависимости от времени действия нагрузки t_p .

На рис. 4 представлены эпюры прогибов мембраны в процессе пластического деформирования в моменты времени $t = 0,1 \dots 1,4$.

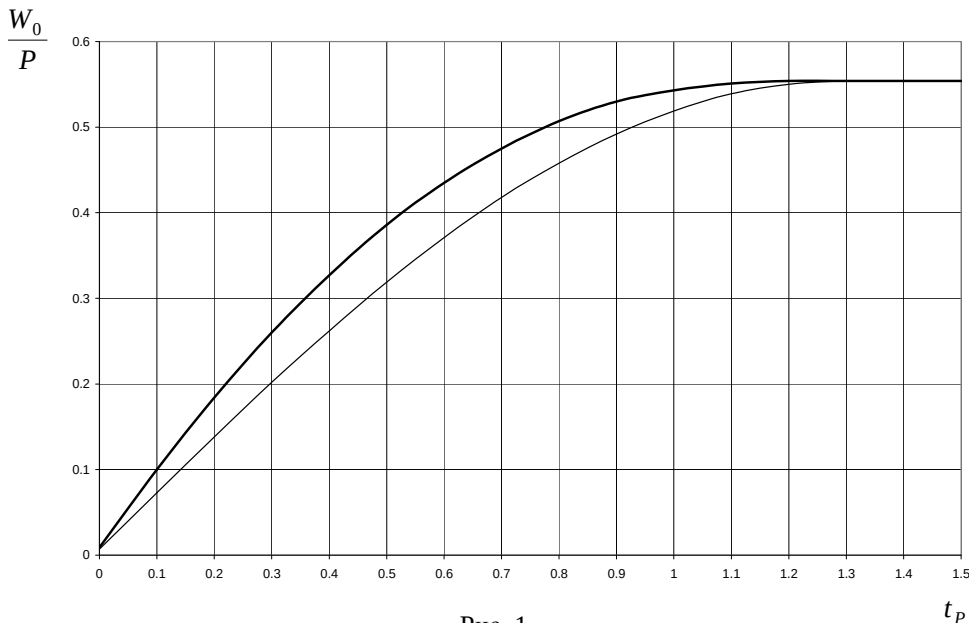


Рис. 1

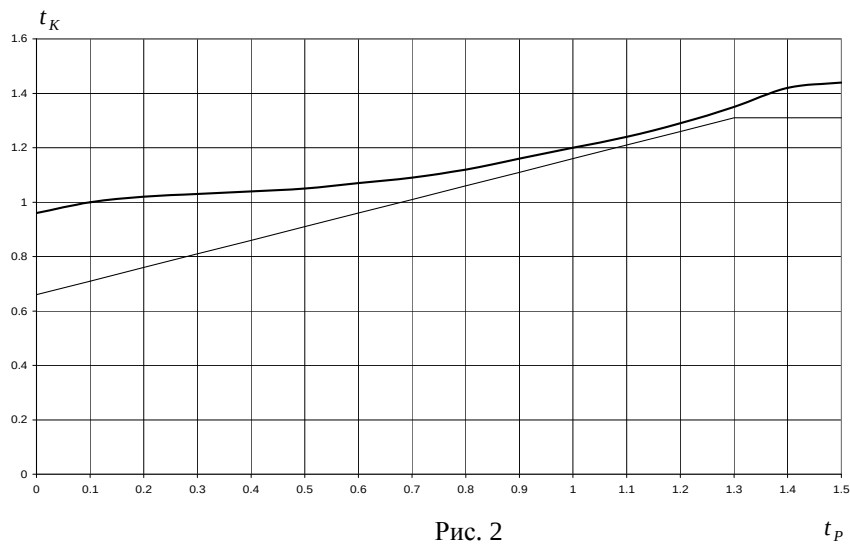


Рис. 2

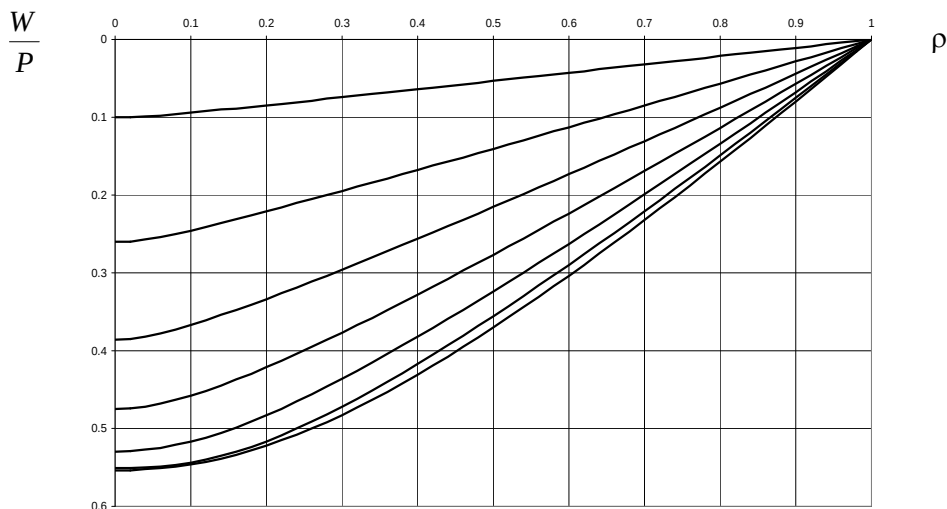


Рис. 3

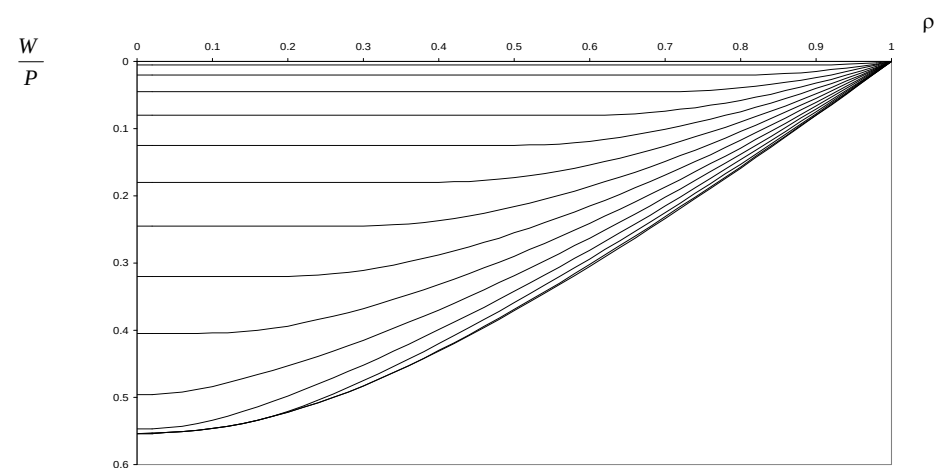


Рис. 4

Выводы. Из рассмотренных методов решения задач динамического деформирования круглых мембран наиболее эффективен дифференциально-разностный метод обычной и высокой точности, позволяющий получить решение на действие нагрузки с произвольным законом $P(\rho, t)$ при минимальном шаге по времени и пространственной координате.

Остаточные прогибы в центре круглой мембраны пропорциональны интенсивности действующей нагрузки и определяются величиной импульса I .

Время остановки мембраны не зависит от интенсивности нагрузки и определяется временем ее действия t_p .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ерхов М.И.* Теория идеально пластических тел и конструкций. М. : Наука, 1978. 352 с.
2. *Себекина В.И.* Оценка остаточных перемещений круглых плоских мембран при динамическом нагружении / В.И. Себекина, А.В. Старов, Г.Ф. Дьячков // Исследования по расчету строительных конструкций и надежности сооружений : сб. науч. тр. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М. : Госстрой СССР, 1987. С. 152—163.
3. *Кошляков Н.С.* Дифференциальные уравнения математической физики / Н.С. Кошляков, Э.Б. Глинер, М.М. Смирнов // М. : Гос. издат. физ. мат. лит-ры, 1962. 767 с.
4. *Березин И.С.* Методы вычислений / И.С. Березин, Н.П. Жидков // М. : Гос. издат. физ. мат. лит-ры, 1962. 464 с.

© Старов А.В., 2008

Поступила в редакцию
в августе 2007 г.

СТРОИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАТИКА

УДК 681.3.057

Н. Г. Бандурин

ПРОГРАММА ДЛЯ РЕШЕНИЯ СУЩЕСТВЕННО НЕЛИНЕЙНЫХ ОБЫКНОВЕННЫХ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ (INTDIF1M)

Кратко изложен численный метод решения систем корректных существенно нелинейных обыкновенных интегро-дифференциальных уравнений, основанный на использовании предложенной автором интерполяционной формулы интегрирования, которая позволяет исключить из алгоритма операцию дифференцирования интерполяционных полиномов и связанную с этой операцией погрешность. Подынтегральные выражения «внешних» интегралов с постоянными и/или с переменными верхними пределами могут зависеть от «внутренних» интегралов, верхние пределы которых, в свою очередь, могут быть постоянными или переменными. Компьютерная программа INTDIF1M работает в автоматическом режиме, т. е. для получения результатов расчета следует ввести в память компьютера только тексты уравнений и подынтегральных выражений в обычном виде, а также числовые параметры задачи. Приводятся результаты решения трех тестовых примеров.

The author presents briefly the numerical method for the solution of the systems of correct essentially nonlinear ordinary integro-differential equations, based on the use of interpolation formula of integration, suggested by the author, which allows us to drop the operation of interpolation polynomial differentiation and the error related to this operation from the algorithm. The integrands of “external” integrals with constant and/or variable superior limits may depend on the “internal” integrals, the superior limits of which in their turn may be constant or variable. The computer program INTDIF1M works in unattended mode, that is, to get the results one should enter only the texts of the equations and integrands in the regular form, as well as the problem’s numerical parameters into the computer memory. The paper gives the results of the solution of three test case studies.

Дифференциальные и интегро-дифференциальные уравнения (ИДУ) не только используются для математического моделирования различных физических процессов [1], но также широко применяются для исследования закономерностей передачи тепла в элементах строительных конструкций [2] и при их расчете на прочность и жесткость [3]. При разработке численных методов решения краевых задач для ИДУ часто используется процедура интерполирования полиномами [4]. Однако при известном подходе, когда эта процедура применяется непосредственно к искомой функции, а ее производные вычисляются в результате дифференцирования интерполяционного полинома, имеют место трудности при постановке краевых условий на границе области интегрирования, так как некоторые из узлов сетки могут не принадлежать этой области. Известные рекомендации [5] исключать из рассмотрения такие узлы с помощью алгебраических преобразований носят слишком об-

щий характер, а при решении ИДУ высокого порядка трудно реализуемы. Кроме отмеченных трудностей при дифференцировании интерполяционных полиномов появляются дополнительные погрешности.

Особенность предложенного в [6] и развитого в [7] подхода заключается в том, что в качестве первого шага обычная процедура интерполирования применяется к производной интерполируемой функции, затем производная для текущей точки выражается через значения производной в узлах сетки обычным способом, а узловые значения функции, выражаемые через узловые значения производной, вычисляются в результате интегрирования полученного полинома. Таким образом, предлагаемый подход позволяет вычислять производные без использования операции дифференцирования непосредственно интерполяционных полиномов и, следовательно, исключить связанные с этими операциями погрешности.

При использовании программы INTDIF1M полностью исключаются все три трудоемких этапа работы получения решения: выбор метода, программирование и отладка программного кода. Для получения результата (в табличной или/или графической форме) достаточно ввести в память компьютера только текст уравнений и числовые параметры задачи.

Постановка задачи и алгоритм численной реализации. Ставится задача найти на равномерной сетке $x_1 = a, x_2, \dots, x_n = b$ отрезка $[a, b]$ решение следующей системы из N интегро-дифференциальных уравнений

$$f[x, y(x), y'(x), \dots, R(x), Q(x)] = 0. \quad (1)$$

Здесь f — вектор-столбец размером N ;

$$(y(x))^T = (y_1(x), y_2(x), \dots, y_N(x));$$

$$(R(x))^T = (R_1(x), R_2(x), \dots, R_{NR}(x));$$

$$(Q(x))^T = (Q_1(x), Q_2(x), \dots, Q_{NQ}(x));$$

$$R_i(x) = \int_a^b \varphi_i[x, u, y(x), y'(x), \dots, y(u), y'(u), r(x, u), q(x, u)] du;$$

$$Q_i(x) = \int_a^x \psi_i[x, u, y(x), y'(x), \dots, y(u), y'(u), \dots, r(x, u), q(x, u)] du;$$

$$(r(x, u))^T = (r_1(x, u), r_2(x, u), \dots, r_{Nr}(x, u));$$

$$(q(x, u))^T = (q_1(x, u), q_2(x, u), \dots, q_{Nq}(x, u));$$

$$r_i(x, u) = \int_a^b \vartheta_i[x, u, v, y(x), y'(x), \dots, y(u), y'(u), \dots, y(v), y'(v), \dots] dv;$$

$$q_i(x, u) = \int_a^u \lambda_i[x, u, v, y(x), y'(x), \dots, y(u), y'(u), \dots, y(v), y'(v), \dots] dv,$$

где NR, NQ — число интегралов с постоянными и переменными верхними пределами; Nr, Nq — то же для «внутренних» интегралов. Система (1) может содержать неизвестные функции, производные которых отсутствуют.

Для дискретизации системы (1) используется предложенная автором формула интегрирования [6], которая выражает производные функции низшего порядка в n узлах сетки через производные высшего порядка k в этих же узлах и производные низшего порядка в начальном узле $x_1 = a$:

$$Y^{(k-p)} = \sum_{m=0}^{p-1} S^m I Y_1^{(k-p+m)} + S^p Y^{(k)} \quad \text{при } p \leq k, \quad (2)$$

где I — единичный вектор; S — квадратная матрица интегрирования порядка n .

Если $p > k$, то компонентами вектора $Y^{(k-p)}$ в (2) будут являться значения интегралов, а формула примет вид

$$Y^{(k-p)} = \sum_{m=p-k}^{p-1} S^{p-k+m} I Y_1^{(m)} + S^p Y^{(k)}. \quad (3)$$

В (3) учтено, что $Y_1^{(k-p)} \equiv 0$ при $p > k$, поскольку в соответствии с принятыми обозначениями эти величины являются значениями интегралов в узле $x_1 = a$. Ниже приводится вывод формул итерационного процесса для вычисления узловых значений функции $y = f(x)$, являющейся решением одного нелинейного ИДУ r -го порядка на отрезке $[a, b]$, имеющего в своем составе интеграл $I(x)$ с постоянными пределами интегрирования $x_1 = a$ и $x_N = b$ и интеграл $J(x)$ с переменным верхним пределом

$$f[x, y(x), y'(x), \dots, y^{(r)}(x), I(x), J(x)] = 0, \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} I(a, b, x) &= \int_a^b \phi[x, y(x), y'(x), \dots, y^{(r)}(x), u, y(u), y'(u), \dots, \\ &\quad \dots, y^{(r)}(u), i(a, b, x, u), j(a, b, x, u)] du, \\ J(a, b, x) &= \int_a^x \phi[x, y(x), y'(x), \dots, y^{(r)}(x), u, y(u), y'(u), \dots, \\ &\quad \dots, y^{(r)}(u), i(a, b, x, u), j(a, b, x, u)] du, \\ i(a, b, x, u) &= \int_a^b \psi[x, y(x), y'(x), \dots, y^{(r)}(x), u, y(u), y'(u), \dots, \\ &\quad \dots, y^{(r)}(u), v, y(v), y'(v), \dots, y^{(r)}(v)] dv, \\ j(a, b, x, u) &= \int_a^u \lambda[x, y(x), y'(x), \dots, y^{(r)}(x), u, y(u), y'(u), \dots, \\ &\quad \dots, y^{(r)}(u), v, y(v), y'(v), \dots, y^{(r)}(v)] dv. \end{aligned}$$

Краевые условия, зависящие только от a и b , могут быть записаны в виде

$$\begin{aligned} f_i[a, b, y(a), y'(a), \dots, y^{(r-1)}(a), y(b), y'(b), \dots, y^{(r-1)}(b), I(a, b)] &= 0, \\ i &= 1, 2, \dots, r. \end{aligned} \quad (5)$$

Последовательно подставляя в (4) $x_1 = a, x_2, \dots, x_N = b$, можно получить N уравнений относительно узловых значений функции y и ее производных. Уравнения (4) и краевые условия (5) можно записать в виде системы нелинейных уравнений относительно узловых значений функции и ее производных

$$F(y, y', \dots, y^{(r)}) = 0, \quad (6)$$

где $(y^{(s)})^T = (y_1^{(s)}, y_2^{(s)}, \dots, y_N^{(s)})$, $s = 0, 1, 2, \dots, r$.

В результате дифференцирования (9) можно получить приближенное равенство

$$\Delta F \approx \sum_{s=0}^r G^s \Delta y^{(s)}, \quad (7)$$

где элементами матрицы G^s являются производные

$$g_{im}^s = \frac{\partial F_i}{\partial y_m^{(s)}} + \frac{\partial F_i}{\partial I} \left(\frac{\partial \phi}{\partial y_m^{(s)}} + \frac{\partial \phi}{\partial i} \frac{\partial \psi}{\partial y_m^{(s)}} + \frac{\partial \phi}{\partial j} \frac{\partial \lambda}{\partial y_m^{(s)}} \right) + \\ + \frac{\partial F_i}{\partial J} \left(\frac{\partial \phi}{\partial y_m^{(s)}} + \frac{\partial \phi}{\partial i} \frac{\partial \psi}{\partial y_m^{(s)}} + \frac{\partial \phi}{\partial j} \frac{\partial \lambda}{\partial y_m^{(s)}} \right), \quad m = 1, 2, \dots, N.$$

В (7) производные низших порядков на основе (2) можно выразить через производные порядка r , что дает возможность получить простую формулу для вычисления приращения вектора основных неизвестных ΔY_{k+1} на k -й итерации

$$G_k \Delta Y_{k+1} + F_k = 0.$$

Здесь элементами вектора Y являются N узловых значений производной r -го порядка и производные низших порядков в начальном узле. Остальные операции итерационного процесса являются стандартными и здесь не приводятся. Заметим, что решение систем линейных ИДУ получается в результате выполнения одной итерации.

Тестовые примеры. 1. Необходимо получить решение существенно нелинейного интегро-дифференциального уравнения 4-го порядка

$$y^{(IV)}(1 + 0,5y^{(IV)}) - y''' + y'' + \int_0^x \int_0^u y^{(IV)}(v) dv \cdot \int_0^u y'(v) dv du - \\ - \int_0^{\pi/2} [y'''(u) \exp(y(u)) - \int_0^{\pi/2} y(x)y(u)y(v) dv \cdot \int_0^u y'''(v) dv] du + + 0,25\pi \sin x - e = 0.$$

Границы отрезка интегрирования: $x_1 = 0$, $x_2 = \pi/2$.

Краевые условия:

$$y'(\pi/4) - \sqrt{2}/2 = 0,$$

$$y(\pi/2) + (y(\pi/2))^3 = 0,$$

$$y'(0) - \int_0^{\pi/2} [y(u) - \cos(u)] \int_0^u y'(v) \sin(y(v)) dv du + \sin 1 - 1 = 0,$$

$$y'(\pi/2) + y'''(0) + \exp(y'(\pi/2)) = 0.$$

Точное решение: $y(x) = \sin x$.

Начальное приближение: $y_0(x) = x + 1$.

В результате решения при различных числах N получены следующие значения максимального отклонения для функции y приближенного решения от точного Δ :

$$\Delta_{N=7} = 2 \cdot 10^{-5}, \quad \Delta_{N=11} = 3 \cdot 10^{-7}, \quad \Delta_{N=25} = 3 \cdot 10^{-11}, \quad \Delta_{N=29} = 2 \cdot 10^{-12}.$$

2. Существенно нелинейное интегро-дифференциальное уравнение 8-го порядка

$$\begin{aligned} & y^{(VIII)}(1 - (y^{(IV)})^2 / 3) + \int_0^x \int_0^u y'(v) dv \cdot \int_0^u y^{(IV)}(v) \cos(y'(v)) dv du - \\ & - \int_0^{2\pi} \int_0^u y'''(v) dv \cdot \int_0^u y(v) \cos(y'(v)) dv - \int_0^u y'''(u) y'(v) dv du + \\ & + \int_0^x y'(u) \sin^2(u) du - (1 + y^{(VIII)}) \sin 1 - y^{(IV)} + \cos(\cos x) - \cos 1 = 0. \end{aligned}$$

Границы отрезка интегрирования: $x_1 = 0, \quad x_2 = 2\pi$.

Краевые условия:

$$y(\pi) = 0,$$

$$y(2\pi) + \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} y(v) y'(v) dv du = 0,$$

$$y'(0) - 1 = 0, \quad y'(2\pi) - 1 = 0,$$

$$y''(0) + \int_0^{2\pi} \int_0^u y'''(u) y'(v) dv du = 0,$$

$$y''(2\pi) = 0, \quad y'''(0) + (y'''(0))^3 + 2 = 0, \quad y'''(2\pi) + 1 = 0.$$

Точное решение: $y(x) = \sin x$.

Начальное приближение: $y_0(x) = 0$.

Отклонения для функции y приближенного решения от точного:

$$\Delta_{N=31} = 2 \cdot 10^{-7}, \quad \Delta_{N=71} = 2 \cdot 10^{-11}, \quad \Delta_{N=111} = 4 \cdot 10^{-12}, \quad \Delta_{N=151} = 4 \cdot 10^{-12}.$$

3. Решить систему уравнений относительно узловых значений функций y_1 и y_2 и числовых параметров a и b

$$\begin{aligned} & y_1'' + \int_1^x \int_1^u (b-a)^2 (xuv + y_2(v)) dv du + \int_1^2 [y_1^{1/3}(x) + \int_1^u \cos(y_1(v)/y_2(v)) dv] du - \\ & - x(1 + 2a + (y_2^2 - 2x^2 + 1)/8) - (x^4 - bx + a)/12 + \cos 2 - \cos 1 + \sin 1 = 0, \\ & y_2^3 + y_2 - y_1^2 + \int_1^x \int_1^u (b-a)^3 \cos(y_1(v)/y_2(v)) dv - x du + x(\sin 1 - 1) + \cos x - \\ & - 33,75(x-1)^2 + \int_1^x \int_1^2 y_1''(v) y_2(v) dv \cdot \int_1^u y_1'(v)/y_2(v) dv du - \cos 1 - \sin 1 = 0, \end{aligned}$$

$$a + b^2 + \int_1^2 \left[\int_1^u (b-a)^3 \cos(y_1(v)/y_2(v)) dv \right] du + \cos 2 - \cos 1 + \sin 1 - 19 = 0,$$

$$(a+1)b + \int_1^2 \cos(y_1(u)/y_2(u)) du - \sin 2 + \sin 1 - 16 = 0.$$

Границы отрезка интегрирования: $x_1 = 1$, $x_2 = 2$.

Краевые условия:

$$y_1(1) + a/b - 1,75 = 0,$$

$$y_1(2) + a + \int_1^2 \left[\int_1^u \cos(v^{-2} y_1(v)) dv \right] du + \cos 2 - \cos 1 + \sin 1 - 11 = 0.$$

Точное решение: $y_1(x) = x^3$, $y_2(x) = x^2$, $a = 3$, $b = 4$.

Начальное приближение: $y_{10}(x) = x^2 + x$, $y_{20}(x) = x - 3/4$, $a_0 = 2$, $b_0 = 3$.

Отклонения для функций y_1 и y_2 приближенного решения от точного:

$$\Delta_{1,N=7} = 6 \cdot 10^{-9}, \Delta_{1,N=11} = 9 \cdot 10^{-13}, \Delta_{1,N=21} = 1 \cdot 10^{-12}, \Delta_{1,N=81} = 2 \cdot 10^{-12}.$$

$$\Delta_{2,N=7} = 1 \cdot 10^{-9}, \Delta_{2,N=11} = 2 \cdot 10^{-14}, \Delta_{2,N=21} = 4 \cdot 10^{-13}, \Delta_{2,N=81} = 5 \cdot 10^{-13}.$$

Число выполненных итераций практически не зависит от N и равно для этих трех задач 16, 8 и 42 соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зеленый А.В. Фрактальная топология и странная кинетика: от теории перколяции к проблемам космической электродинамики / А.В. Зеленый, А.В. Милованов // Успехи физических наук. 2004. Т. 174. № 8. С. 809—852.
2. Справочник по точным решениям уравнений тепло- и массопереноса / А.Д. Полянин, А.В. Вязьмин и др. М.: Факториал, 1998.
3. Вольмир А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа. Задачи аэроупругости. М.: Наука, 1976.
4. Бахвадов Н.С. Численные методы. Ч. 1. М.: Наука, 1973.
5. Бандурин Н.Г. Новый численный метод порядка n для решения интегродифференциальных уравнений общего вида // Вычислительные технологии. 2002. Т. 7. № 2. С. 3—10.
6. Бандурин Н.Г. Комплекс программ для решения систем нелинейных интегродифференциальных уравнений (ИДУ), содержащих производные и интегралы дробного порядка / Н.Г. Бандурин, В.А. Игнатьев // Интеллектуальные системы и компьютерные науки: материалы IX Междунар. конференции, 23—27 октября 2006 г. / МГУ. М., 2006. Т. 2. Ч. 1. С. 56—58.

© Бандурин Н.Г., 2008

Поступила в редакцию
в декабре 2007 г.

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

УДК 656.11(470.45-25)

М. М. Девятков, И. М. Вилкова

МЕРОПРИЯТИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ УЧАСТКОВ И ЭЛЕМЕНТОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА С УЧЁТОМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДОРОГ И УЛИЦ

Представлены принципиальные подходы к модернизации автомобильных дорог. Рассматриваются мероприятия по принудительному ограничению скорости, канализирование движения транспортных потоков, устройство малых и больших кольцевых пересечений, рациональное использование прилегающих к дороге территорий.

The authors present the principle approaches to automobile roads modernization. Measures aimed at forced speed limitation, channeling of traffic flows movement, arrangement of large and small rotary interchanges and rational use of adjacent territories are considered as well.

Произошедшие за последние 15 лет изменения в количественном и качественном составе транспортных потоков, динамике их прироста, а также кардинальные социально-экономические и политические преобразования общества в настоящее время не нашли адекватного отражения в протяженности и состоянии улично-дорожной сети (УДС) городов, и, в частности, такого своеобразного по транспортно-планировочной схеме города, как Волгоград. Исследования, проводимые в ходе разработки комплексной транспортной схемы города, показывают, что УДС в значительной степени не удовлетворяет транспортным потребностям города и должна совершенствоваться по меньшей мере в двух направлениях: развитие протяженности с одновременным совершенствованием конфигурации УДС и модернизация существующей сети с учетом современного существенно изменившегося транспортного и пешеходного потоков, а также прилегающей к УДС городской инфраструктуры.

Остановимся на мероприятиях по модернизации УДС г. Волгограда, которые укрупненно можно объединить в следующие блоки:

мероприятия по принудительному ограничению скорости движения в тех местах, где необходимо добиться обязательного снижения скорости транспортных средств. К таким местам можно отнести участки дорог и улиц вблизи школ, детских садов и других учреждений и организаций, где наблюдается интенсивное движение пешеходов;

повышение пропускной способности и безопасности пересечений в одном уровне путем устройства специальных правоповоротных «байпасов» и переходно-скоростных полос, а также специально обустроенных полос для левоповоротного движения;

повышение пропускной способности и безопасности пересечений в одном уровне путем устройства малых и больших кольцевых пересечений, которые при определенных условиях с успехом заменяют светофорное регулирование;

применение различных форм организованных парковочных пространств с обоснованными требованиями к их параметрам и размещению;

совершенствование методов формирования придорожного пространства с учетом удовлетворения интересов всех пользователей этого пространства (водители; пешеходы всех категорий, работающие и посещающие предприятия, организации, магазины и т.п.; жители прилегающих домов).

Мероприятия по принудительному ограничению скорости включают в себя искусственное создание дорожных условий, препятствующих, физически или психологически, развитию высоких скоростей движения.

Меры физического ограничения скорости движения призваны сделать невозможным или неудобным движение на высокой скорости. К таким мерам относятся:

1) круговая или криволинейная специально созданная траектория движения;

2) искусственные неровности проезжей части (ИНПЧ).

Меры психологического ограничения скорости направлены на подавление желания водителя двигаться с высокой скоростью движения. К таким «подавляющим» мерам относятся:

создание у водителя ощущения въезда в зону с другими условиями движения;

визуальное прерывание прямой сквозной перспективы;

создание визуального эффекта сужения ширины дороги за счет выделения вертикальных элементов обустройства;

создание визуального эффекта уменьшения площади перекрестка за счет увеличения высоты и цветового выделения бордюрного камня.

Комбинирование мер физического и психологического воздействия в рамках проектных решений усиливает эффект сдерживания скорости движения.

Выбор той или иной меры для конкретного участка сети определяется с учетом:

функционального значения дороги в рамках иерархии УДС;

интенсивности движения и состава потока транспортных средств;

наличия тротуаров и интенсивности легкого движения (пешеходного и велосипедного);

потребности в стоянке транспортных средств;

размещения вдоль улицы объектов, требующих регулярного обслуживания грузовым транспортом (магазины, рестораны и т.п.).

В перечень элементов физического и психологического регулирования скорости движения, получивших широкое практическое применение, включаются:

предупреждающее обустройство и изменение материала покрытия проезжей части;

въездные ворота;
разделительные полосы, островки, резервные полосы;
сужения проезжей части;
зигзагообразная и круговая (ИПИТ) траектория движения;
ИНПЧ и приподнятые участки проезжей части;
сочетание несколько элементов из вышеперечисленных на определенных участках дорог.

Одной из мер по повышению безопасности движения на перекрестках является канализирование движения транспортных потоков [1]. Канализирование движения на пересечениях в одном уровне преследует следующие цели:

физическое разделение транспортных потоков и уменьшение количества конфликтных точек между различными транспортными потоками на пересечении;

создание углов пересечения, которые обеспечивают хороший обзор для водителей;

определение требуемой схемы движения и указание дороги, которая является приоритетной на этом пересечении по отношению к другим дорогам.

Следует проводить определенное различие между разными типами канализирования.

1. *Канализирование путем устройства боковых полос движения* выполняется в виде сооружения островков безопасности или разметки заштрихованной запретной зоны на боковой полосе движения пересечения.

2. *Устройство полосы для левого поворота* — для автомобилей, которые поворачивают налево с главной дороги на пересечении, она может быть выделена островком безопасности или заштрихованной запретной зоной с помощью дорожной разметки.

3. *Устройство полосы для правого поворота* — для автомобилей, которые поворачивают направо с главной дороги на пересечении. Полоса правого поворота отделяется обычно от полосы транзитного (прямого) движения сплошной разделительной линией разметки.

4. *Устройство полосы для транзитного (прямого) движения* — уширение проезжей части для автомобилей, которые движутся по главной дороге в прямом направлении таким образом, что он может двигаться, не создавая помех для автомобилей, которые ожидают поворота налево. Полоса для транзитного движения представляет собой альтернативу полосе левого поворота.

5. *Полное канализирование движения на пересечении* — это канализирование по всем направлениям движения на пересечении в одном уровне, может осуществляться с помощью островков безопасности или заштрихованных запретных зон с помощью разметки проезжей части.

В качестве примера на рис. 1 показано, как можно улучшить организацию движения на перекрестке при введении канализирования транспортных и пешеходных потоков за счет устройства направляющих островков, организованных переходов через проезжую часть и рационального размещения дорожных знаков и пешеходных ограждений. На рис. 2 направляющие островки на перекрестке служат одновременно и островками безопасности для пешеходов. С помощью канализирования они обеспечивают защиту автомобиля, ожидающего возможности повернуть налево, и ликвидируют этим опасность попутного столкновения.

На рис. 3 показан пример канализирования подходов к косоугольному перекрестку с помощью дорожной разметки и устройства направляющего островка, отделяющего правоповоротный поток с магистрали *A* на магистраль *B*. Это позволяет упростить схему организации движения на самом перекрестке *C* и повысить его пропускную способность.

Если объем прямого и левоповоротного движения на подходе к пересечению превышает 40 %, а также в случае повышенного числа конфликтных точек на пересечении может быть применена схема кругового движения, причем для условий стесненной городской застройки могут быть применены *малые кольцевые пересечения* (МКП) ($D \leq m$, рис. 4). Эффективность их применения доказывается значительным зарубежным опытом, а также обоснована для условий УДС г. Волгограда в исследованиях, выполняемых на кафедре ИПТС ВолгГАСУ [2].

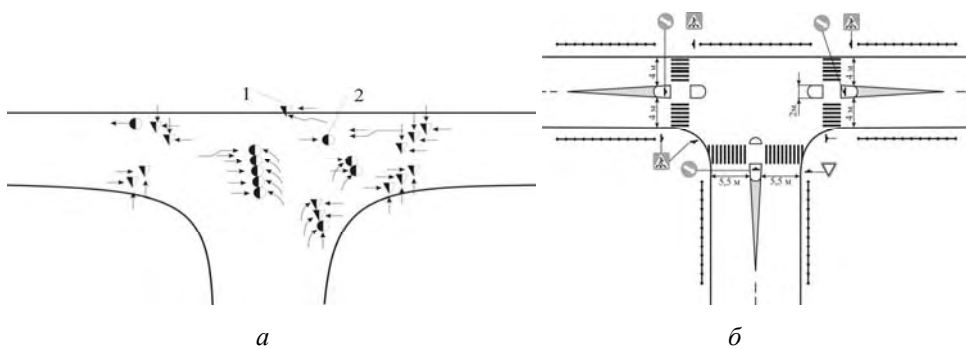


Рис. 1. Улучшение организации движения на Т-образном перекрестке [1]: *a* — места ДТП; *б* — мероприятия по организации движения; 1 — наезды на пешеходов; 2 — столкновения транспортных средств

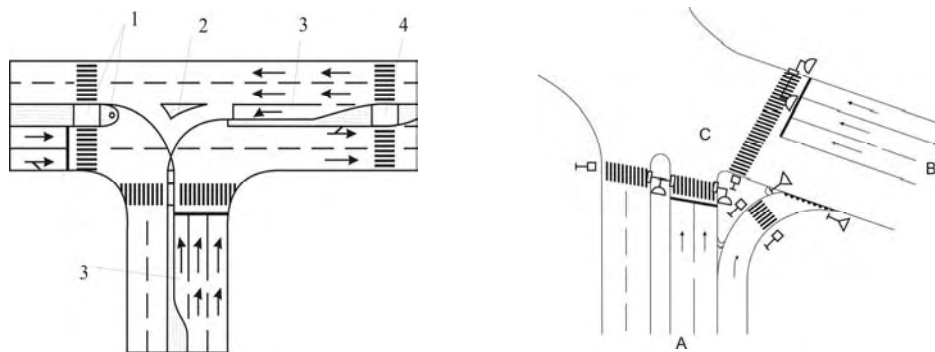


Рис. 2. Пример канализирования движения на перекрестке [1]: 1 — островок для защиты пешеходов и установки колонки с дорожным знаком; 2 — направляющий островок; 3 — «карманы» для защиты автомобилей, ожидающих возможности повернуть налево; 4 — островок безопасности для пешеходов

Рис. 3. Канализирование правоповоротного движения на косоугольном пересечении со светофорным регулированием и устройством «байпасов» [1]



а



б

Рис. 4. Пример модернизации автомобильных дорог средствами организации движения без изменения геометрии автомобильных дорог, путем устройства МКП в районе гостиницы «Волгоград»: *а* — фото условий движения до устройства МКП; *б* — схема организации движения с устройством МКП

Для обоснования целесообразности устройства МКП разработана модель движения транспортных средств на малых кольцевых пересечениях [3, 4].

Рациональное использование территорий требует также более детального учета способа установки транспортных средств на парковочных площадках. Так учет того, что подбамперная зона (рис. 5) может не включаться в асфальтируемую поверхность стоянок для автомобилей, позволит экономить асфальтируемую территорию на каждый автомобиль, паркуемый у края парковочной площадки, что чрезвычайно существенно для условий модернизации, когда имеются существенные ограничения в свободных территориях. При этом следует учесть, что высота бордюров в таких условиях должна назначаться с учетом дорожного просвета, как правило, не более 150...160 мм.

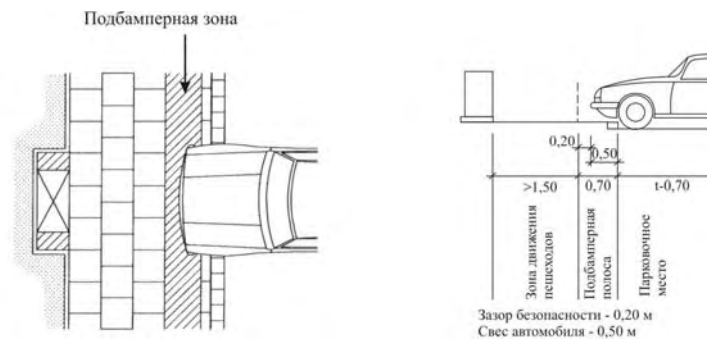


Рис. 5. Размещение автомобиля у кромки парковочной площадки или проезжей части с учетом подбамперной зоны

Кроме того, при проектировании плана элементов автомобильных дорог в стесненных условиях и при модернизации существующих автодорог необходимо учитывать характер движения транспортных средств. Так, на тех элементах дорог, где предполагается движение с минимальной скоростью (стоянки, парковочные и стояночные полосы у кромки проезжей части и т.п.), выделять геометрический коридор движения, т.е. коридор, который автомобиль может описывать при скорости до 5 км/ч и максимально повернутом рулевом колесе. А на участках дорог с большими скоростями выделять динамический коридор, занимаемый автомобилем при разных скоростях и разном угле поворота.

Эти способы регулирования могут использоваться в самых различных комбинациях и применяться для регулирования одних и тех же участков дороги или улицы в разное время суток.

К числу мероприятий по «успокоению движения» (рис. 6), направленных на снижение допустимой скорости в зонах интенсивного движения пешеходов, в первую очередь детей, можно отнести изменение геометрии проезжей части, изменение конфигурации пересечений и примыканий с размещением мест для парковки и зон пешеходного движения, а также совершенствование придорожного пространства [5].

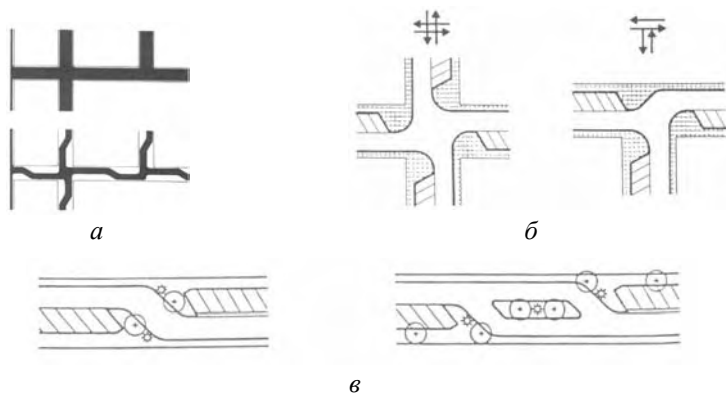


Рис. 6. Мероприятия по «успокоению движения» на дереконструируемых участках автомобильных дорог: *а* — изменение геометрии проезжей части (черным обозначена зона движения, белым — зона парковки, озеленения или других элементов благоустройства); *б* — варианты изменения конфигурации пересечения и примыкания с размещением мест для парковки и зон пешеходного движения; *в* — варианты излома плана проезжей части с размещением мест для парковки

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Клинковштейн Г.И.* Организация дорожного движения / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. М. : Транспорт, 2001. 247 с.
2. *Девятков М.М.* Повышение безопасности движения в местах интенсивного движения пешеходов путем модернизации автомобильных дорог / М.М. Девятков, Д.Ю. Чумаков, М.В. Чернецов // Современные проблемы безопасности дорожного движения и их решение — дети и молодежь на дорогах : материалы III Российско-германской науч.-практ. Конференции / Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград : ВолгГАСУ, 2006. 288 с.
3. *Чумаков Д.Ю.* Функциональная классификация кольцевых пересечений на автомобильных дорогах / Д.Ю. Чумаков, М.М. Девятков // Реконструкция — Санкт-Петербург — 2005 : Международная научно-практическая конференция : сб. докл. / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Ч. 2. С. 146—150.
4. *Чумаков Д.Ю.* Проектирование элементов малых кольцевых пересечений в населенных пунктах : автореф. дис. ...канд. тех. наук.
5. *Девятков М.М.* О методологических основах проектирования модернизации автомобильных дорог. // Проблемы строительства, ремонта, содержания автомобильных дорог Юга Российской Федерации и пути их решения : науч.-практ. конференция / Волгоградский выставочный центр «Регион», сентябрь 2005. С. 3—9.

© *Девятков М.М., Вилкова И.М., 2008*

*Поступила в редакцию
в октябре 2007 г.*

УДК 629.077

М. В. Саруханян**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА г. ВОЛГОГРАДА**

Приведены результаты обследования расположения и состояния остановочных пунктов общественного транспорта и зоны их влияния на улично-дорожной сети г. Волгограда.

The paper gives the inspection results of the location and condition of public transport stops as well as of their influence zones within the street road network in Volgograd city.

Одним из важнейших элементов улично-дорожной сети (УДС) крупных городов являются остановки общественного пассажирского транспорта. Остановочные пункты массового общественного транспорта (МПТ) оказывают существенное влияние на безопасность движения и пропускную способность дороги. Вместе с тем от их расположения зависит удобство пассажиров и эффективность работы УДС в целом. В рамках выполнения работ по муниципальному контракту № 5 от 28.08.2006 г. «Разработка комплексной транспортной схемы г. Волгограда» были проведены обследования для оценки расположения и состояния остановочных пунктов общественного транспорта и зоны их влияния на улично-дорожной сети (УДС) города Волгограда.

Были обследованы все автобусные и троллейбусные остановочные пункты, расположенные на продольных и поперечных магистральных улицах общегородского и районного значения. Общее количество обследованных остановочных пунктов составило 307, что составляет 62,3 % от общего количества остановочных пунктов общественного пассажирского транспорта по г. Волгограду (без учета маршрутных такси и электричек).

На рис. 1 приведены основные характеристики дороги, учет влияния которых необходим при размещении остановочных пунктов общественного транспорта.



Рис. 1

На рис. 2 приведены признаки, по которым в соответствии с нормативной документацией классифицируются остановочные пункты городского общественного транспорта [1].

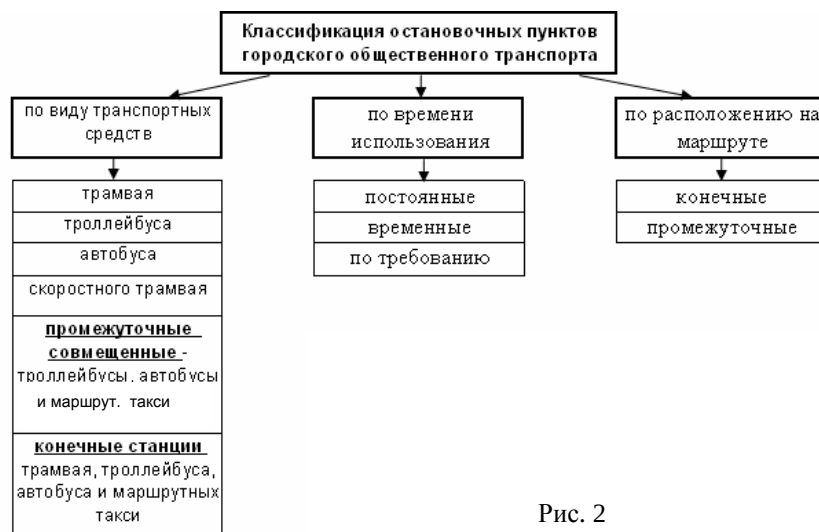


Рис. 2

По проведенным обследованиям было определено, что общее количество расположенных на магистральных улицах остановочных пунктов, относящихся к городскому электротранспорту и автобусным маршрутам, в г. Волгограде составляет 493.

Т а б л и ц а 1

Количество остановочных пунктов по виду общественного транспорта

Вид общественного транспорта	Количество остановочных пунктов
Трамвай	85
Скоростной трамвай	20
Троллейбус	135
Автобус	253
Всего	493

В зоне обслуживания пассажиров для защиты от непогоды, в зависимости от климатического района устраивают автобусный автопавильон закрытого, полужакрытого и или открытого вида по типовому или индивидуальному проекту.



Рис. 3

Т а б л и ц а 2

*Классификация остановочных пунктов, расположенных на магистралях
г. Волгограда, по виду автопавильона*

Материал остановочных пунктов	Количество остановочных пунктов
Кирпичные	27
Бетонные	8
Пластиковые	178
Металлические	—
Деревянные	8
Всего	221



Рис. 4. Остановочный пункт без автопавильона



Рис. 5. Остановочный пункт совмещенный с социально-бытовым сооружением



Рис. 6. Несовмещенный остановочный пункт

Согласно нормативной документации (1980-х гг.) остановочные пункты общественного транспорта должны быть оборудованы *дорожным знаком 5.16. с указателем*, на котором содержится следующая информация:

- вид транспорта;
- название остановочного пункта;
- время использования;
- номера маршрутов;
- название конечной остановки каждого маршрута;
- интервалы движения по периодам суток;
- время начала и конца движения.

Т а б л и ц а 3

Элементы остановочных пунктов

Оборудование	Должно быть	В наличии	Разница
Знак и информация о движении	307	203	101
Остановочный карман	307	142	165
Мусорный бак	307	155	152
Скамья	307	236	71
Телефон	307	—	—
Освещение	307	221	86
Разметка проезжей части	307	—	—

Анализ обустройства остановочных пунктов общественного транспорта по г. Волгограду показал (см. табл. 2, 3):

- 1) наличие основных элементов остановочных пунктов не превышает 50 %;
- 2) 30 % остановочных пунктов не оборудованы остановочными павильонами;

3) около 65 % остановочных пунктов без специальных площадок — карманов, что приводит к снижению пропускной способности и уровня удобства.

Также следует заметить:

1) в большинстве случаев автопавильон остановочного пункта *совмещен с продуктовым павильоном* (около 35...40 %), что повышает привлекательность не только для пешеходов-пассажиров, но также для водителей частного попутного транспорта и приводит к образованию заторных ситуации в зонах остановочных пунктов;

2) в тех случаях, когда стоящие на остановочных пунктах троллейбусы и автобусы создают заторы движения и когда для этого есть соответствующие условия, должны устраиваться специальные площадки (карманы) для заезда к остановочным пунктам троллейбусов и автобусов;

3) необходимо рассмотреть каждый остановочный пункт индивидуально с учетом места расположения (до или после перекрестка), необходимости дублирования в обратном направлении (в случае отсутствия остановочного пункта) и всех особенностей осуществления движения попутного транспорта;

4) размещение остановочных пунктов должно создавать возможность кратчайшего движения пешеходов на магистралях по переходам, в направлениях, совпадающих с направлениями принятого безопасного обхода стоящего пассажирского транспорта.

Также необходимо отметить, что в основном по г. Волгограду в зонах остановочных пунктов общественного транспорта, как правило, отсутствует разметка 1.17, обозначающая место остановки маршрутных транспортных средств, запрещающая остановку других транспортных средств.

В крупных и крупнейших городах при ограниченной пропускной способности УДС в соответствии с нормативной документацией дальность пешеходных подходов до ближайшей остановки общественного пассажирского транспорта допускается принимать не более 500 м.

В целях выявления территорий жилых застроек, расположенных в черте г. Волгограда, но не входящих в зону обслуживания общественного транспорта, были определены площади круга радиусом 500 м от каждого остановочного пункта по всему городу. В качестве примера можно рассмотреть зону жилой застройки, расположенной между первым и вторым продольными магистралями в районе пл. Возрождения (рис. 7).

Площадь зоны недоступности пешеходного хода (расстояние более 500 м) в рассматриваемом случае составляет 1,15 км².

Суммарная площадь аналогичных территорий жилой застройки, зон, не обслуживающихся ГЭТ и автобусами, по всему городу составляет 28 км².

Анализ состояния остановочных пунктов и их расположения показал:

1) 41 остановочный пункт расположен только в одном направлении движения и не дублируется в обратном направлении;

2) при работе остановочного пункта только в одном направлении нельзя рассматривать его как полноценный;

3) расстояние между остановочными пунктами должно обеспечивать доступность зоны обслуживания пешего хода, что составляет 500 м (радиусом) до остановочного пункта общественного транспорта при условии работы остановочного пункта в обоих направлениях.

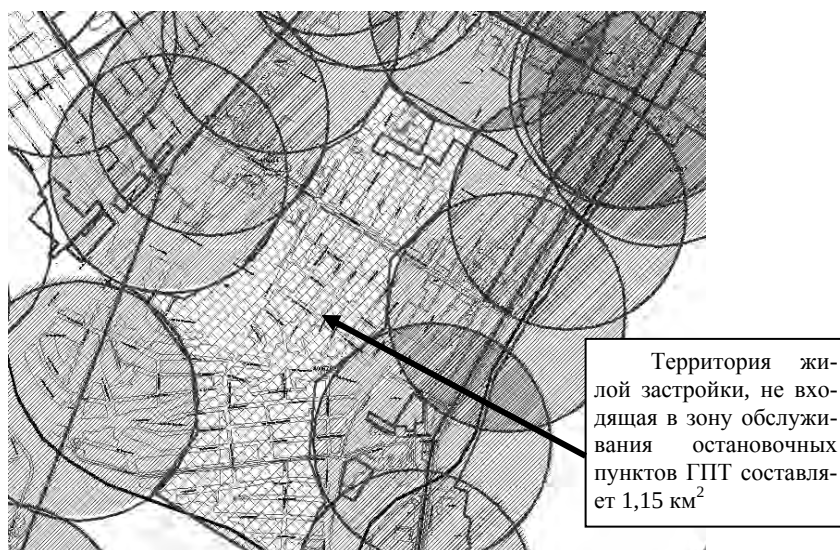


Рис. 7

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технические условия на расположение параметры и оборудование остановочных пунктов городского общественного транспорта. Утв. Министерством автомобильного транспорта РСФСР 31 июля 1973 года, согл. с Управлением ГАИ МВД СССР.

© Саруханян М.В., 2008

*Поступила в редакцию
в октябре 2007г.*

УДК 502.3:504.5:656.13

В. В. Балакин

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В КАНЬОНАХ ГОРОДСКИХ УЛИЦ

По результатам обследования параметров транспортных потоков, измерения метеорологических факторов и химического анализа проб воздуха устанавливаются закономерности и определяются зависимости уровня загазованности каньонов городских улиц отработавшими газами автомобилей от транспортно-градостроительных и метеорологических факторов.

According to the inspection results of traffic flows' parameters, measuring of meteorological factors and chemical analysis of air samples, the regularities are set and the dependences of concentration level of automobiles' exhaust gases in the canyons of city streets on the transportation-and-urban-planning and meteorological factors are determined.

Наблюдения проведены в трех крупных городах III климатической области, характеризующейся умеренно-континентальным климатом с большой годовой амплитудой колебания температуры воздуха [1]. Лето — умеренно-теплое, зима — умеренно-суровая и умеренно-мягкая. Повторяемость скоростей ветра 0...1 м/с составляет 20...40 % в годовом разрезе. Средние скорости ветра находятся в пределах 3...5 м/с.

Основные объемы внутригородских грузовых и пассажирских перевозок осуществляются в городах автомобильным транспортом. Уличная сеть центральной части имеет компактно-прямоугольную структуру с принципиально различным трассированием магистральных улиц по отношению к господствующим ветрам. Ширина межмагистральных территорий в центрах городов составляет в среднем 150...400 м. Плотность квартальной застройки достигла 1500 м²/га.

Предварительно был проведен анализ отчетов предприятий, загрязняющих воздушный бассейн, и произведены расчеты валовых выбросов токсичных веществ автопарками городов. В результате сопоставления данных было установлено, что доля автомобильного транспорта в загрязнении воздушного бассейна оксидом углерода (CO), углеводородами (C_nH_m) и оксидами азота (N_xO_y) составляет 85...95 %.

Натурными наблюдениями охвачены все периоды года. В течение 6 экспедиционных выездов было обследовано более 300 участков магистральных улиц общегородского и районного значения, включая перекрестки с регулируемым и непрерывным движением, где было отобрано и обработано свыше 2000 проб воздуха с определением в них содержания CO и по 4050 пробам сделан анализ концентраций оксидов азота (NO+NO₂).

Обследованные улицы городов отличаются между собой размерами и составом транспортных потоков, характером планировки и этажностью застройки, конструкцией и породным составом зеленых насаждений. Наблюдениям сопутствовали различные микроклиматические условия.

Для выявления зависимости начального уровня загазованности улиц над бордюром проезжей части на высоте 1,5 м в качестве модельного компонента

был избран СО как одна из наиболее токсичных примесей в выбросе отработавших газов (ОГ) — 86...90 %. Кроме того, существует тесная корреляция между содержанием СО в воздухе магистралей и других ингредиентов [2]. Наконец, СО является самым консервативным газом, время жизни которого в атмосфере намного больше, чем других ОГ [3].

Согласно теории рассеивания газовых струй П.И. Андреева [4], нагретая газозоодушная смесь в процессе смешения с окружающим воздухом благодаря турбулентной диффузии, довольно быстро охлаждается, вследствие чего плотности и удельные веса выбрасываемой смеси и атмосферного воздуха выравниваются. При этом отдельные компоненты теряют свою динамическую индивидуальность и в своем движении подчиняются одним и тем же закономерностям. Исходя из этого, можно считать, что закономерности поведения в воздухе магистралей СО и всей смеси газов, выбрасываемых автомобильным транспортом на улично-дорожных сетях (УДС) городов, будут идентичны. Для экспериментального подтверждения данного предположения и уточнения качественной стороны изучаемого процесса параллельно учитывали содержание в воздухе суммарного содержания оксидов азота NO и NO₂.

При определении концентраций NO+NO₂ использован метод раздельного определения этих оксидов, предложенный А.Е. Перегуд и Е.В. Гернет [5] и основанный на окислении NO до NO₂ с последующим поглощением NO₂ раствором иодида калия (KI). Исследуемый воздух протягивали через поглотительные сосуды с пористой перегородкой. В качестве побудителя расхода воздуха использовали электрический аспиратор АЭ-30, работающий от аккумуляторной батареи.

Необходимое число отбираемых проб воздуха n_1 и повторных измерений микроклиматических факторов n_1 в каждой исследуемой точке устанавливалось в результате статистической обработки пробных замеров, выполненных на четырех магистральных улицах (рис. 1), по формуле:

$$n_1 = n (p / p_1)^2,$$

где n и p — число пробных замеров и их точность, %; p_1 — желаемая точность опыта (5 %).

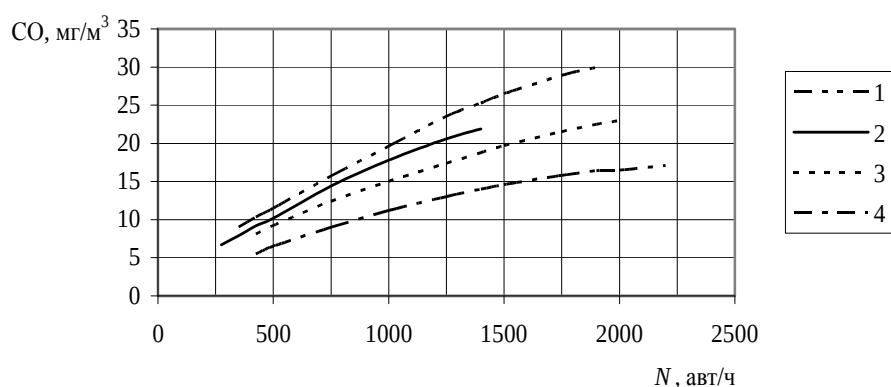


Рис. 1. Изменение начальных концентраций СО в зависимости от интенсивности движения автомобилей на магистральных общегородского значения, отличающихся высотой застройки H и шириной B : 1 — $H = 15$ м, $B = 24$ м; 2 — $H = 15$ м, $B = 45$ м; 3 — $H = 5$ м, $B = 40$ м; 4 — без застройки

В результате были получены следующие значения n_1 : для концентраций СО и NO+NO₂ соответственно 16 и 4, скорости ветра — 7, температуры воздуха — 1.

В соответствии с разработанной нами методикой натурных наблюдений определение интенсивности движения на магистралях длилось в среднем 20 минут, отбор проб воздуха на содержание СО производился в течение 5 минут, анемометры включались также на 5 минут, а воздух протягивался электрическими аспираторами через раствор KI в течение всего времени регистрации проходящих автомобилей. Исходя из требуемой повторности и продолжительности наибольшего цикла, условие синхронности наблюдений выполнялось при одновременном отборе на каждом сечении четырех проб воздуха на СО, использовании четырех пар поглотителей NO и NO₂ и двух анемометров. Для измерения температуры и определения относительной влажности воздуха в исследуемой точке было достаточно одного психрометра.

Уровень фонового загрязнения от промышленных источников учитывали в соответствии с принципом суперпозиции полей концентраций примеси от точечных и передвижных источников. Поле концентраций при взаимовлиянии факелов задымления от отдельных труб, рассредоточенных по территории города, рассчитывали для фиксированных направлений ветра по программе, составленной с использованием методики для одиночного источника [6].

Сравнение результатов пробных замеров концентрации СО показало, что изменение в довольно нешироких пределах таких параметров поперечного профиля улиц, как высота застройки H и ширина в линиях ее регулирования (B) при интенсивности движения автомобилей порядка 500...2000 авт/ч вызывает значительные колебания уровней загрязнения атмосферного воздуха (до 15 мг/м³). Существенное отличие в уровнях загазованности при прочих равных условиях было отмечено на магистралях с разным составом движения.

Последующий анализ данных об изменении концентраций СО, интенсивности движения автомобилей и скорости ветра, полученных в результате выборочного мониторинга на УДС в течение одной недели, показал, что максимальная загазованность воздушного бассейна СО в рабочие дни соответствует пикам суточной интенсивности движения (8—10 и 16—18 ч). В рассеивании этой примеси наиболее отчетлива роль ветра, как правило, усиливающегося в тёплый период года в дневные часы, когда нарушается устойчивость атмосферы вследствие прогрева нижних слоёв воздуха у проезжей части улиц.

При всестороннем анализе результатов массовых натурных наблюдений, включая данные систематических наблюдений на стационарных постах городов, была определена взаимосвязь факторов, определяющих исходные концентрации ОГ в воздухе магистральных улиц (рис. 2) и установлен характер влияния каждого из них на формирование начального уровня загазованности с помощью коэффициентов корреляции r . После этого от всей группы часть факторов была отсеяна ввиду их несущественного влияния на исследуемый процесс.

Наиболее тесная связь исходного уровня загрязнения атмосферного воздуха СО обнаружена с интенсивностью движения автомобилей ($r = 0,85...0,90$), горизонтальной скоростью ветра ($r = 0,70...0,78$) и отношением H/B ($r = 0,60...0,70$).

В результате статистической обработки данных натурных обследований получены частные зависимости начальных концентраций СО от интенсивности и скорости транспортных потоков, геометрического критерия H/B и скорости ветра. Установлено, что связь концентраций СО со всеми факторами носит преимущественно нелинейный характер. Исключение составляет зависимость содержания СО в воздухе от интенсивности движения автомобилей на перекрестках с регулируемым движением, где она прямо пропорциональна (рис. 3). Очевидно, роль потока движущихся транспортных средств как стимулятора рассеивания выбрасываемых газов на участках с установившейся скоростью, а также на магистралях более высоких категорий проявляется в наибольшей степени, чем на перекрестках. Эти результаты согласуются с выводами, сделанными в [7], о благоприятном влиянии на поля концентраций загрязняющих веществ турбулентности воздушных потоков в уличном пространстве, вызванной движением транспорта.

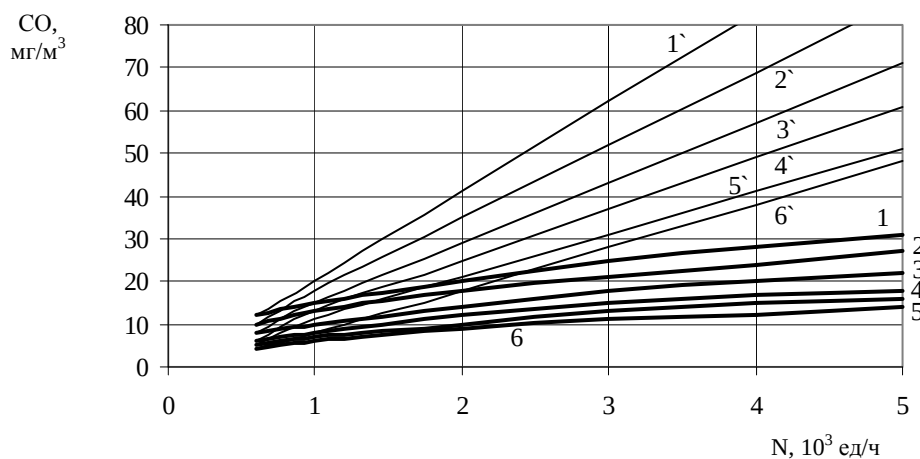


Рис. 3. Зависимость начальных концентраций СО от интенсивности движения на перегоне (1—6) и перекрестке (1'—6') при скорости ветра: 1,1' — 0,5 м/с; 2,2' — 1,0 м/с; 3,3' — 1,5 м/с; 4,4' — 2,0 м/с; 5,5' — 2,5 м/с; 6,6' — 3,0 м/с

Из сравнения графиков рис. 3 видно, что в режиме проветривания от 0,5 до 3,0 м/с разница в уровне загазованности на перекрестках и перегонах изменяется в диапазоне примерно от 3...6 мг/м³ при интенсивности движения 1000 авт/ч до 10...35 мг/м³ — при 3000 авт/ч, что связано с работой двигателей на неблагоприятных режимах, с точки зрения токсичности, при проезде автомобилей через регулируемые пересечения с вынужденной остановкой.

Зависимость начальных концентраций СО от средней скорости потока при различном процентном составе грузового движения показана на рис. 4. Из него следует, что оптимальная скорость, с точки зрения наименьшего выделения СО, для потока, представленного в основном грузовыми автомобилями, находится в пределах 50...55 км/ч. Для потоков, состоящих преимущественно из легковых автомобилей, оптимальная скорость приближается к 70 км/ч.

Влияние застройки на процесс формирования загрязнения воздуха улиц проявляется, с одной стороны, в изменении скорости и направления ветра, а с

другой — в ограничении площади поверхности, через которую происходит диффузия ОГ. Учитывая это, обследованные участки магистральных дорог и улиц мы разделили на 2 группы: участки, связанные с застройкой, и участки, проходящие вне зоны застройки.

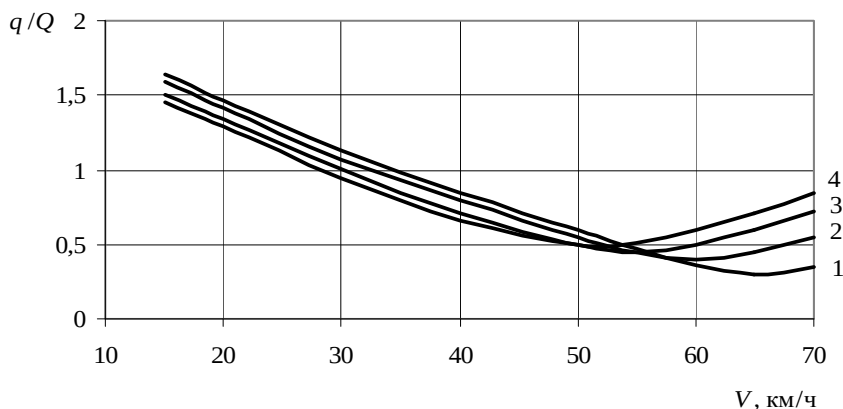


Рис. 4. Влияние средней скорости потока на уровень начальной концентрации СО: 1 — состав грузового движения 10 %; 2 — 30 %; 3 — 50 %; 4 — 70 %

В первую группу включены участки улиц с двусторонней фронтальной застройкой, которая при минимальных разрывах между зданиями, заполненных густой древесно-кустарниковой растительностью, образует на УДС своеобразную систему полузамкнутых объемов в виде каньонов. Поперечный профиль улицы такой формы является наиболее распространенным элементом современной переуплотненной застройки городов, где при поперечном ветре возникают обратные течения воздушных потоков, обуславливая повышенное загрязнение подветренных фасадов зданий [8].

По данным химического анализа проб воздуха, взятых на застроенных и отдельно на свободных от застройки участках, построена линия регрессии (рис. 5). Направление ветра, соответствовавшее периоду отбора проб, изменялось в пределах $45...90^\circ$ к оси улицы.

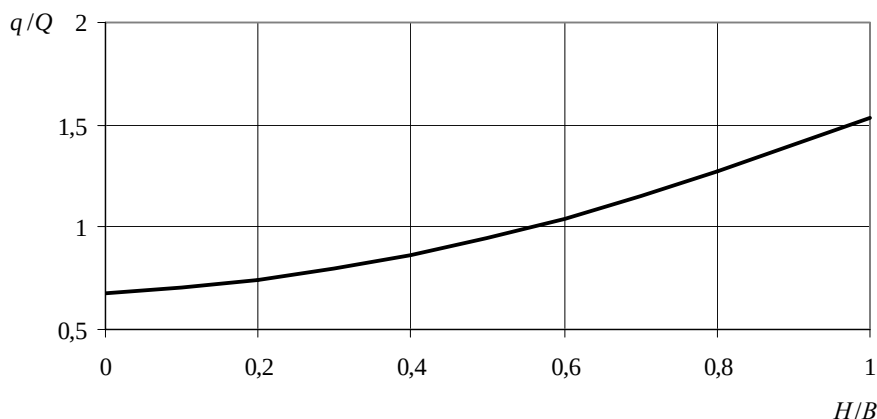


Рис. 5. Изменение начальных концентраций СО в зависимости от отношения высоты застройки (H) к ширине улицы (B)

Из графика полученной зависимости следует, что степень загазованности воздуха на участках магистралей, связанных с застройкой, при отношении $H/B = 1$ более чем в 2 раза превышает уровень, отмечаемый на участках без застройки, когда $H/B = 0$. Здесь же видно, что ширина интервала варьирования параметра H/B не должна выходить за величину 0,3 из условия наименьшего загрязнения уличного каньона.

Зависимость начальных концентраций СО от горизонтальной скорости ветра представлена на рисунке 6. По характеру кривых видно, что в интервале скоростей 3...5 м/с разница уровней загазованности воздуха СО на магистральных улицах с различными по структуре и размеру потоками транспорта сводится до минимума. Это согласуется с результатом, полученным Э.Ю. Веброй и соавт. в Вильнюсе [9], где 2...3-кратное превышение концентраций СО у перекрестка в сравнении с перегонном, обусловленное разницей его количественного выброса (вследствие изменения режима работы двигателей в этих местах), сглаживалось при скоростях ветра свыше 3 м/с, а абсолютные значения концентраций уменьшались. Очевидно, ветер, достигая скоростей 3...5 м/с и более и увеличивая кратность воздухообмена на улицах, осуществляемого через разрывы в застройке, снижает и нивелирует уровень загрязнения воздуха на УДС в целом, выступая в роли фактора, стабилизирующего процесс формирования концентрации ОГ.

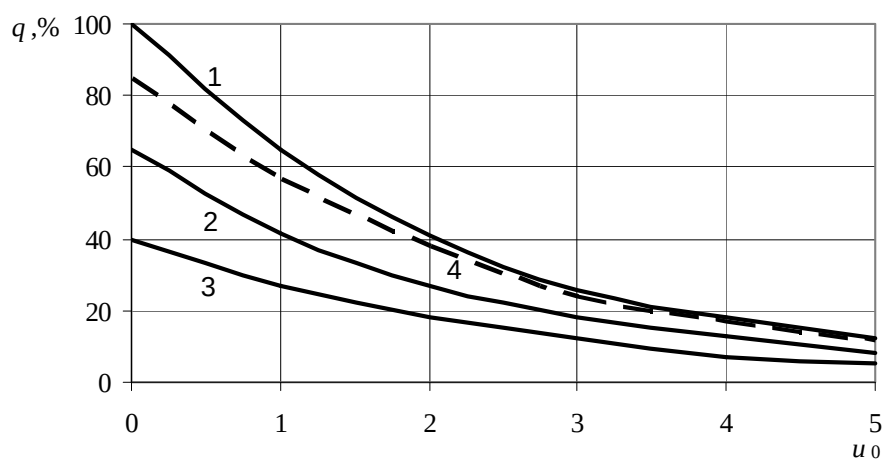


Рис. 6. Уровень загрязнения воздуха оксидом углерода в зависимости от скорости ветра на магистральных улицах летом (А) и зимой (Б): 1, 4 — общегородского значения; 2 — районного значения со смешанным движением транспорта; 3 — то же для легкового и общественного (автобусы) транспорта

Аналогично ведёт себя NO_2 (при изменении аэрационного режима в пределах 0...2,5 м/с и интенсивности движения автомобилей 1000...3000 авт/ч [10]), а также фотооксиданты (в диапазоне скоростей ветра 0...3 м/с при размерах движения 100...600 авт/ч [11]), содержание которых в воздухе в известной мере обусловлено присутствием C_nH_m [12]. С учетом наших данных по содержанию $\text{NO}+\text{NO}_2$ в режиме проветривания улиц в пределах 0...5 м/с можно заключить, что обнаруженные закономерности, раскрывая механизм очищения улиц городов от СО с изменением режима их аэрации, проявляют

репрезентативность в отношении комплекса газов, выбрасываемых автомобильным транспортом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник проектировщика. Градостроительство / ЦНИИП градостроительства. М. : Стройиздат, 1978. 367 с.
2. Bove I.L. Airborne lead and carbon monoxide at 45th street, New York City // I.L. Bove, S.Siebenberg // Science. 1970. 167. P. 986—987.
3. Буренин Н.С. К изучению роли выхлопных газов автотранспорта в загрязнении воздушного бассейна городов // Атмосферная диффузия и загрязнение атмосферы : тр. Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. Л. : Гидрометеиздат, 1973. Вып. 293. С. 231—239.
4. Андреев П.И. Рассеивание в воздухе газов, выбрасываемых промышленными предприятиями. М. : Госиздат, 1952. 81 с.
5. Перегуд Е.А. Химический анализ воздуха промышленных предприятий. Рекомендуемые методы определения предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе / Е.А. Перегуд, Е.В. Гернет. Л. : Химия, 1973. 440 с.
6. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). Л. : Гидрометеиздат, 1987. 93 с.
7. Jicha M. Dispersion of pollutants in street canyon under traffic induced flow and turbulence / M. Jicha, J. Pospisil, J. Katolisky // Measurement, Modeling and Management: Pap. 2nd International Conference on Urban Air Quality, Madrid, March, 1999. Environ. Monit. And Assess. 2000. 65. № 1—2. P. 343—351.
8. Балакин В.В. Влияние застройки на формирование аэрационного режима городских дорог и улиц // Дорожная экология XXI века : тр. Междунар. науч.-практ. симп., Воронеж, 2000. С. 101—108.
9. Закономерности загрязнения и очищения улиц города от выхлопных газов автотранспорта / Э.Ю. Вебра, Б.И. Гедрайтис, А.А. Милукайте и др. // Защита атмосферы от загрязнений. 1978. № 4. С. 12—17.
10. Фельдман Ю.Г. Гигиеническая оценка автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха. М. : Медицина, 1975. 159 с.
11. Даценко И.И. Исследование закономерностей распространения фотооксидантов в воздухе автомагистралей Львова / И.И. Даценко, С.Л. Долошицкий, Ю.Г. Фельдман // Гиг. и сан. 1978. № 7. С. 100—101.
12. Буштуева К.А. О подходах к нормированию озона в атмосферном воздухе населенных мест / К.А. Буштуева, М.Д. Манита, С.А. Ахмедова // Гиг. и сан. 1972. № 5. С. 6—9.

© Балакин В.В., 2008

Поступила в редакцию
в декабре 2008 г.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 658:69.009.12

О. И. Панова

СПЕЦИФИКА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ИХ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ

Рассмотрена специфика организации производства строительных предприятий, их материально-техническая база, конкурентоспособность и факторы, ограничивающие деловую активность.

The article considers the specific character of organization of production at construction enterprises, their material and technical basis, competitiveness as well as the factors confining their business activity.

Последнее десятилетие строительные предприятия в России переживают не лучшее время. Их финансовое положение остается тяжелым. Многие предприятия являются убыточными, хотя в настоящее время ситуация меняется. Финансовое состояние многих подрядных организаций немного улучшилось, то есть вырос уровень объемов работ, увеличился объем собственных финансовых ресурсов.

Условно процесс развития рынка в России можно разделить на два периода: спад (1990—1999 гг.) и подъем (с 2000 г.). Объем валового внутреннего продукта (ВВП) в 1990—1999 гг. уменьшился на 40,5 %. Если сравнивать объем валовых инвестиций в основной капитал Российской Федерации, то в 1999 г. он составил 22,5 % от уровня 1990 г. Объем строительных работ в 1990—1999 гг. упал в 3,2 раза и составил в 1999 г. 31,3 % от уровня 1990 г. Определенное оживление и рост инвестиционной активности в 1999 г. отмечен в сфере жилищного строительства.

Строительству принадлежит ведущая роль в развитии и перевооружении всех отраслей хозяйства страны. Все участники капитального строительства объединяются в межотраслевую целенаправленную систему, располагающую нужными материалами, финансовыми и природными ресурсами, которые обеспечивают создание, реконструкцию, модернизацию и освоение промышленных объектов, зданий и сооружений различного назначения.

Структура строительного комплекса носит межотраслевой характер и сложные взаимосвязи отдельных подсистем. Для достижения нужного результата строительный комплекс должен обладать не только эффективно функционирующими экономическими и организационными механизмами, но

и целевой направленностью единой технической политики, наличием собственной специализированной материально-технической базы, многообразием связей, комплексностью, пропорциональностью и сбалансированностью развития.

В строительном производстве функционируют различные коллективы, объединенные в предприятия (строительные организации, фирмы). При этом они находятся в определенных производственных и экономических отношениях.

Строительству в настоящее время присущи все черты промышленного производства, функционирующего в рыночных условиях. Однако оно имеет ряд особенностей. Так, в процессе производства строительная продукция остается неподвижной, а орудия и предметы труда перемещаются. Строительство, как правило, ведут на открытом воздухе, в разнообразных климатических и природных условиях с различной длительностью цикла (от нескольких месяцев до нескольких лет). Оно отличается повышенной зависимостью строительных процессов от внешних факторов.

В строительстве различают основные, вспомогательные, обслуживающие сторонние предприятия, а также участки, цехи, хозяйства, отделы, входящие в состав строительного предприятия (организации, фирмы).

Их совокупность — производственная структура предприятия (строительной организации, фирмы), которая представлена на рис. 1.

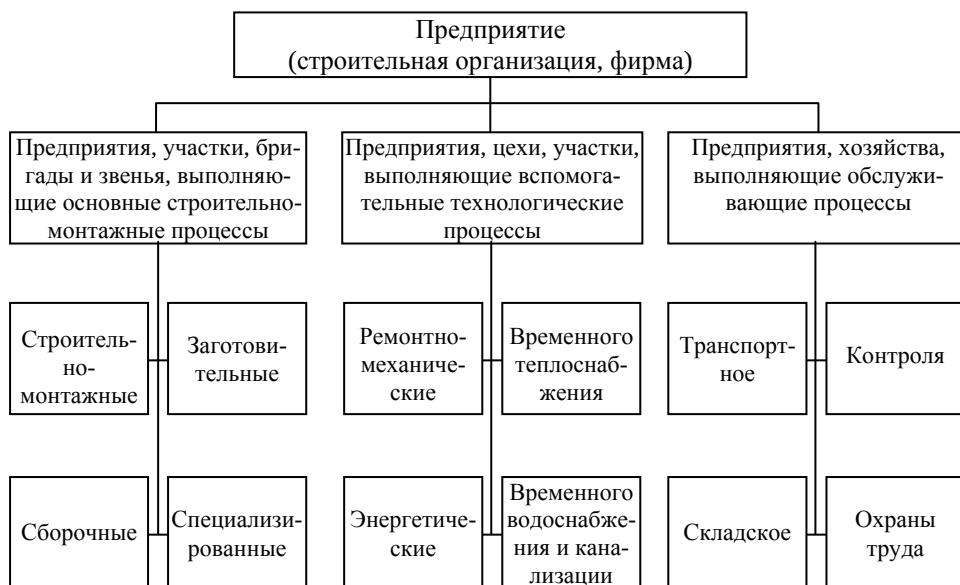


Рис. 1. Примерная производственная структура предприятия (строительной организации, фирмы)

Строительные организации располагают большим числом различных видов машин и механизмов. Их применение значительно облегчает труд строителей и делает его более производительным. В настоящее время почти полностью механизированы наиболее трудоемкие работы в строительстве (например, земляные работы, работы по приготовлению бетона и т.п.), стала

более широко внедряться комплексная механизация строительства, которая предполагает ведение всех основных производственных операций при помощи машин и механизмов.

Материально-техническая база включает в себя, прежде всего, предприятия, обеспечивающие производство изделий, конструкций и строительных материалов, предприятия по содержанию, эксплуатации и ремонту строительных машин и транспортных средств, объекты производственно-технологической комплектации и складского хозяйства, учебные комбинаты по подготовке и переподготовке кадров и др. Важным звеном материально-технической базы строительства являются предприятия по производству строительных материалов, сборных изделий и конструкций.

Применение механизации в строительстве позволяет повысить темпы строительного производства, сократить сроки строительства, снизить трудоемкость работ, повысить производительность труда и снизить себестоимость строительно-монтажных работ.

Специфика управления строительством определяется особенностями строительного производства. К ним следует отнести:

- неподвижность и территориальную разбросанность строительной продукции;

- мобильность исполнителей и орудий труда, усложнение координации деятельности строительных организаций на площадках, иногда децентрализация;

- большую продолжительность производственного цикла;

- разнообразие возводимых объектов и, следовательно, многовариантность технологических, организационных и управленческих решений, необходимость их проработки и сопоставления;

- большое влияние природных факторов, что увеличивает вероятностный характер системы, необходимые специфические управленческие решения.

Организационно-техническая подготовка (согласно СНиП 3.01.01—85 «Организация строительного производства») должна включать: обеспечение стройки проектно-сметной документацией; отвод в натуре площади (трассы) для строительства; оформление финансирования строительства; заключение договора подряда и субподряда на строительство; оформление разрешений и допусков на производство работ; решение вопросов о переселении лиц и организаций, размещенных в подлежащих сносу зданиях; обеспечение строительства подъездными путями, электро-, водо- и теплоснабжением, системой связи и помещениями бытового обслуживания для строителей; организацию поставки на строительство оборудования, конструкций, материалов и готовых изделий.

Реально происходящие в строительстве процессы — это конкуренция между взаимозаменяемыми собственниками капитала на всех стадиях до, во время и после завершения строительства [1].

Факторами, ограничивающими деловую активность строительных предприятий, являются:

- высокий уровень налогов;

- платежеспособность заказчиков;

- высокая стоимость материалов, конструкций, изделий;

- недостаток заказов на работы;

конкуренция со стороны других строительных предприятий;
недостаток квалифицированных кадров;
нехватка и изношенность машин и механизмов;
высокий процент коммерческого кредита.

Если проанализировать факторы, ограничивающие деловую активность строительных предприятий по данным Госстатистики с 1995 по 2005 г., то можно отметить, что максимально высокий уровень налогов приходился на 2001 г. и составлял 73 %.

В 2005 г. произошло снижение налогового бремени, оно составило 47 %. В 1995 г. недостаток квалифицированных кадров составлял 10 %, а в 2005 г. — 25. Средний уровень использования производственных мощностей строительных организаций остается на низком уровне. Практика показывает, что данный показатель колеблется от 50 до 70 %.

Основная цель конкурирующих субъектов на рынке строительных услуг — реализовать свою продукцию с целью удовлетворения потребностей общества и получения наибольшей прибыли.

Для достижения своих целей организация выбрасывает на рынок новые виды продукции и услуги более высокого качества, устанавливает более высокую цену и стимулирует других переналаживать свое производство, выпуская хорошо зарекомендовавшую себя продукцию. При этом снижаются цены, а при насыщении рынка они стабилизируются на определенном уровне. В условиях отсутствия спроса на продукцию и услуги цены опускаются ниже себестоимости. Однако в условиях рынка конкуренция сбивает равновесие между спросом и предложением и создает новую рыночную ситуацию.

Конкурентоспособными являются строительные предприятия, которые удовлетворяют максимально эффективно потребности заказчиков, умело используют финансовые результаты для дальнейшего развития и повышения уровня внутриорганизационной культуры, что способствует, в свою очередь, привлечению новых платежеспособных заказчиков и сохранению долговременных связей со старыми.

Очень важно каждой строительной организации повышать свою конкурентоспособность с целью получения капитала инвесторов. Инвесторы, в свою очередь, заинтересованы отдавать капитал именно тем подрядным организациям, которые способны его максимально эффективно использовать. Ошибки в инвестировании, не создавая прибыли, требуют дополнительный капитал, который часто невозможно найти. Поэтому необходимо определить наиболее конкурентоспособного подрядчика, который сможет максимально эффективно использовать капитал, качественно и быстро построить необходимые объекты [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Королев А.Г.* Реструктуризация строительных организаций в современных условиях хозяйствования : дис. ...канд. экон. наук. М., 2002. С. 65—66.

© Панова О.И., 2008

Поступила в редакцию
в ноябре 2007 г.

УДК 621.643.053

С. Г. Абрамян

СИНЕРГЕТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕКОНСТРУКЦИЕЙ И КАПИТАЛЬНЫМ РЕМОНТОМ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Строительное производство впервые рассматривается как синергетическая система. Приведена модель системы экологического управления линейными объектными ремонтно-строительными потоками (ЛОРСП) с точки зрения синергетики. Впервые дано определение понятия строительная синергетика.

Building manufacture for the first time is considered as synergetic system. In article is given the model of system of ecological management of linear object repair-building streams from the point of synergetic. For the first time is given the definition of concept building synergetic.

Достижение экологизации реконструкции и капитального ремонта магистральных трубопроводов возможно только при интеграции нескольких направлений науки, техники и человеческого мышления, призванных существенно снизить экологические потери в природе при выполнении ремонтно-строительных процессов.

Предпосылками для интегрированного экологического подхода реконструкции и капитального ремонта магистральных трубопроводов являются:

- 1) новое понимание механизмов рыночной экономики в области природоохранной деятельности для реализации экологических решений;
- 2) ретроспективные и современные тенденции, реальные перспективы в интеграции не только научных накоплений по проблемам экологизации строительного производства, но и участников хозяйственных связей между собой, развитии новых организационных форм и методов производства работ;
- 3) использование возможностей в области новейших информационных технологий, открывающих принципиально новые направления экологизации строительного производства.

Речь идет о процессе становления качественно нового, того, что в природе не существовало и предсказать которое невозможно, но позволяющее, с одной стороны, свести к минимуму техногенные воздействия в период строительства, реконструкции, капитального ремонта магистральных трубопроводов, с другой — ослабить отрицательное влияние природных компонентов на их надежность. То есть должна происходить самоорганизация системы «ремонтно-строительный объект — природа». Известно, что подход, в котором процессы самоорганизации изучаются с позиций теории диссипативных структур, получил название «синергетика» [1, 2].

В настоящее время трудно найти область знания, в которой не проводились бы исследования под рубрикой синергетики. Что касается строительного производства, реконструкции и капитального ремонта магистральных трубопроводов — подобные исследования почти отсутствуют, и это многие связывают с отсутствием достаточной определенности относительно основоположений синергетики.

В семидесятые годы XX в. закладывались основы нового междисциплинарного подхода — синергетики, теории самоорганизации, теории диссипа-

тивных структур, где слово «самоорганизация» является первостепенным. Главным достижением этого научного подхода является понимание того, почему многие сложные системы могут вести себя просто.

Под самоорганизацией в динамических системах (и таких, как реконструкция и капитальный ремонт магистральных трубопроводов) понимается образование вдали от состояния равновесия пространственных и пространственно-временных структур (аттракторов), получивших название диссипативных. Именно диссипативные структуры, сопровождаемые бифуркациями и хаотическими явлениями в сложных системах, играют существенную роль.

В современной науке слово «хаос» применяют для описания систем, поведение которых кажется совершенно случайным. Но методы математического анализа в них тоже находят скрытый порядок, потому что через некоторое время хаос превращается в порядок, в случайных событиях предусматривается закономерность, после бесцелевого, беспричинного, несвязанного события наступает цель, смысл и взаимосвязь. Смело можно сказать, что относительно к реконструкции и капитальному ремонту магистральных трубопроводов понятие хаос приобретает новый смысл, хаос в данном случае становится детерминированным хаосом.

Синергетика реконструкции и капитального ремонта магистральных трубопроводов — самоорганизация, целенаправленный процесс, в ходе которого создаются, воспроизводятся или совершенствуются организация и управление такой сложной динамической, вероятностной системой, как строительное производство.

Синергетический метод управления экологичностью реконструкции и капитального ремонта магистральных трубопроводов позволяет выяснить, когда управляемая система может быть устойчивой, и условия реализации устойчивости могут быть определены различными вариантами синергетического моделирования.

Основная задача управления динамическими объектами состоит в том, что оно должно гарантировать асимптотическую устойчивость систем и удовлетворять определенной совокупности инженерных требований (иногда даже противоречивых) к качественным свойствам систем в переходных процессах и установившихся режимах движения, а также к их технико-экономическим показателям [3].

Ошибочно считается, что синергетическое управление занимается управлением открытыми, нелинейными, неравновесными системами.

В популярных учебниках пишут: «Синергетика изучает открытые неравновесные системы, способные к самоорганизации за счет обмена веществом, энергией и информацией с окружающей средой. В ее рамках уменьшение энтропии любой системы, т.е. поддержания ее равновесия, объясняется увеличением энтропии вне системы» [4].

«С синергетикой связано формирование науки нового типа — «нелинейной науки» (nonlinear science), которая изучает нелинейные, открытые и неравновесные системы» [4].

В связи с этим сегодня в мире существуют два подхода к пониманию условий и источников развития: кибернетический и синергетический. Одни считают, что развитие сложных систем обеспечивают механизмы управления, а другие отдают предпочтение механизмам самоорганизации.

Основанием для возражений против применения классической кибернетики к исследованию систем большой сложности служит, главным образом, сложившаяся в теории управления практика некорректного переноса представлений об управлении техническими системами на системы, возникшие эволюционным путем [5].

В другой работе [6] отмечают, что синергетика близка к кибернетике, науке об оптимальном управлении и связи, которая выявила общие закономерности управления и информационного обмена, действующие в живых системах, технике и обществе. Кибернетическая система рассматривается с точки зрения генерирования, преобразования и использования сигналов.

К сказанному добавим, что синергетика не просто близка к кибернетике, они просто дополняют друг друга, потому что любая система достаточно большой сложности содержит и использует для адаптации и развития оба механизма: управления и самоорганизации. Для анализа процессов развития необходимо обращение к научному инструментарию обеих наук.

Продуктивным и перспективным является не выяснение отношений между парадигмами, а исследование взаимодействия между двумя реально существующими механизмами адаптации и развития сложных систем, ибо всякая система и закрыта, и открыта одновременно, и утверждение, что развиваться могут только открытые системы, является бессодержательным.

Под управлением экологической ситуацией в сфере реконструкции и капитального ремонта трубопроводных магистралей понимается целенаправленный, комплексный, постоянный, планомерный и целеустремленный процесс воздействия на факторы и условия, обеспечивающие должный уровень экологической безопасности производства и потребления, воспроизводства качества окружающей среды.

Отличительной особенностью любой системы управления является целостность структуры, функций и способа действий данной системы по достижению поставленной цели. Изучая любой объект как систему, необходимо рассматривать его с точки зрения целостности, организованности, слаженности внутренних и внешних связей, охватывающих организационные, социальные, экономические и технические аспекты управления.

Цель управления реконструкцией и капитальным ремонтом ЛОРСП — сохранение экологического равновесия природы, обеспечение должного уровня экологической безопасности производства и потребления, воспроизводства качества и окружающей среды).

Виды управления — кибернетический способ задания целей и выработки критериев эффективности управления и синергетические принципы управления самоорганизующейся системы.

Достижение целей возможно при прохождении следующих ступеней системы управления экологической ситуацией.

Первая ступень управления — это наиболее простой случай управления. Вторая ступень — предполагает экстраполяцию в результате сложившихся тенденций и основана на перспективном планировании для достижения требуемого уровня экологической безопасности. Третья ступень основана на рассмотрении и анализе различных вариантов и тенденций развития экологической ситуации, на стратегическом планировании, которое предполагает самые различные варианты изменений и применяется при невозможности

регулирования экологической ситуацией с помощью второй ступени управления. Четвертая ступень, в отличие от третьей, предполагает не только разработку и выбор стратегии, но и ее изменение. Сущность всех четырех ступеней управления экологической ситуацией состоит в том, чтобы путем целенаправленных организационно-технических воздействий предупредить появление опасных нарушений устойчивости экологической системы и обеспечивать сохранность ее экологической безопасности.

Указанные ступени управления экологической ситуацией при реконструкции трубопроводных магистралей совершенно справедливо рассматриваются в некоторых работах как отдельные системы управления [7].

Основными звеньями механизма экологического управления при реконструкции и капитальном ремонте магистральных трубопроводов является совокупность следующих административно-хозяйственных и экономических инструментов:

- экологическое и природно-ресурсное законодательство;

- экологический мониторинг;

- экологический анализ;

- экологические стандарты и нормативы (нормативы и лимиты на сброс или выброс загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками загрязнения, лимиты водозабора и лесопользования, запреты на размещение в конкретных местах загрязняющих видов деятельности, использования токсичных веществ, тяжелых металлов и т.д.);

- оценка воздействия на окружающую среду и экспертиза рабочих проектов, проектов производства работ;

- экологический аудит.

Модель системы экологического управления применительно к ЛОРСП при реконструкции и капитальном ремонте магистральных трубопроводов, разработанная нами согласно требованиям Международного стандарта 180 14001, приведена на рис. 1. В ней четко рассматриваются главные принципы синергетического управления и особенности самоорганизующихся систем: интеграция научных знаний, обеспечение необходимого разнообразия, сочетание управления с закономерностями самоорганизации и т.д.

Приведенная модель носит превентивный характер. Специфические черты системы целей этой модели следующие: избегать нежелательных воздействий посредством проведения исследований (инноваций); уменьшать нежелательные воздействия посредством ограничений и оптимизационных мероприятий; реализовывать разработанный комплекс оптимизационных задач; избавляться от всех вредных действий.

Синергетика имеет продуктивное системообразующее значение для научного познания и может оказать прогрессивное, направленное воздействие на научное сообщество для решения экологических задач строительного производства.

По мнению автора, строительная синергетика — разумно действующая в комплексности и динамичности технология, организация, механизация, автоматизация строительного производства, экология, экономика и управление природопользованием, задача которой — плавно и разумно выбрать экологически безопасную технологию производства работ, материальные и энергетические ресурсы, методы организации работ, позволяющие сохранить эко-

логическое равновесие природы в худшем случае, а в лучшем — дать природе более качественную, совершенную форму во имя сохранения человечества и планеты, во имя достижения высшей степени цивилизации — гармоничности во всем.

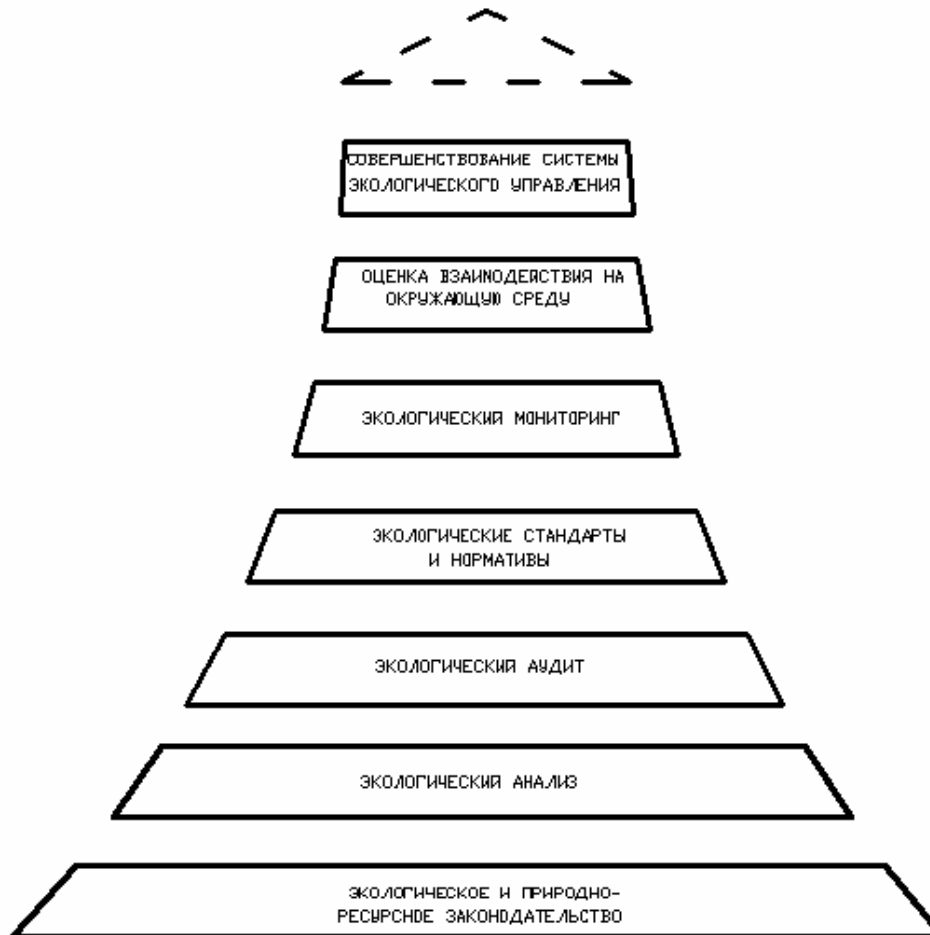


Рис. 1. Модель системы экологического управления линейными объектами ремонтно-строительными потоками

Объектами исследования строительной синергетики могут быть открытые системы в неравновесном состоянии, характеризующиеся обменом веществом и энергией между подсистемами строительного производства, между строительным производством и окружающей средой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хакен Г. Синергетика. М. : Мир, 1980.
2. Хакен Г. Синергетика: Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М. : Мир, 1985.
3. Вохрышев В.Е. Синергетический синтез субоптимальных систем управления динамическими объектами // Информационная среда региона как условие формирования информационной культуры личности. Самара, 1999.
4. Лось В.А. Основы современного естествознания (концепции, теории, проблемы) : учеб. пособ. М. : Инфра, 2000.

5. *Шабров О.Ф.* Развитие сложных систем. Кибернетика или синергетика? // Анализ систем на рубеже тысячелетий: теория и практика : тез. Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 16—18 декабря 1997 г. М. : Интеллект, 1997. С. 26—28.

6. *Атопов В.И.* Россия: стратегия прорыва. Синергетические идеи развития / В.И. Атопов, А.В. Антюфеев, Н.М. Галиярова, В.Н. Кабанов ; науч. ред. В.И. Атопов. Волгоград : Издатель, 2003. 520 с., ил.

7. *Бурлаченко О.В.* Технологическое обеспечение работоспособности машин : монография / ВолгГАСА. Волгоград, 2002.

© *Абрамян С.Г.*, 2008

*Поступила в редакцию
в октябре 2007 г.*

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 665.45

К. М. Страчков

НЕПРЕРЫВНЫЙ СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОВЫХ СМЕСЕЙ С ДИСПЕРСНЫМ БИТУМОМ

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по применению и совершенствованию технологии приготовления холодной асфальтовой смеси, отличительной особенностью которой является образование в ней битумной эмульсии на твердых эмульгаторах в процессе смешения составляющих на шнековом диспергаторе-смесителе.

The article is dedicated to the uninterrupted technology of preparing of asphalt cold-mix. Bitumen emulsified is received in the volume of asphalt cold-mix in the process of components' mixing on the screw disperser-mixer.

Технология производства органоминеральных смесей циклическим способом признана изобретением [1]. Ее отличительная особенность заключается в том, что в процессе смешения увлажненных минеральных составляющих с вяжущим нагретым до рабочей температуры 140...150 °С происходит диспергирование битума, образуется прямая битумная эмульсия (БЭТЭ), стабилизированная частицами твердого эмульгатора, роль которого обычно выполняют гидрофильные минеральные порошки.

Впервые асфальт с дисперсным битумом исследовал Н.А. Горнаев [2], а более глубокие исследования осуществил А.Ф. Иванов [3]. В результате выполненных исследований была разработана циклическая технология производства асфальтовых смесей с дисперсным битумом; составлены технические рекомендации [4]. В развитие технологии асфальта с дисперсным битумом были выполнены исследования цементасфальта и холодного регенерированного асфальта с вязким диспергированным битумом [5, 6].

В СГТУ впервые было начато исследование технологии производства органоминеральных смесей непрерывным способом с использованием шнекового диспергатора-смесителя [7, 8]. При этом была установлена принципиальная возможность получения асфальтовых смесей с дисперсным битумом. Однако глубокие исследования не проводились.

Анализ состояния выполненных исследований позволил выявить имевшие место недостатки циклической технологии: 1) технология на стандартном оборудовании АБЗ трудоемка вследствие большой длины технологической линии и значительного количества операций; 2) конструкция мешалки

громоздка, так как предназначена для смешения больших объемов, что приводит к повышенному расходу энергии, необходимости использования двигателя большой мощности, затратам времени; 3) влажные минеральные материалы забивают грохот и бункеры по фракциям; 4) в использующихся мешалках не обеспечиваются оптимальные условия для протекания процесса диспергирования битума.

Основой технологии асфальта с дисперсным битумом является образование в ее объеме БЭТЭ. Условия получения, количество, качество, состав и свойства БЭТЭ определяют процессы структурообразования и конечные свойства асфальта с дисперсным битумом.

С учетом этого были сформулированы задачи исследования: 1) рассмотреть теоретические аспекты процессов структурообразования в асфальтовых смесях с дисперсным битумом, применительно к непрерывной технологии их получения; 2) сконструировать и изготовить лабораторную установку для получения БЭТЭ и асфальтов с дисперсным битумом; 3) исследовать технологию получения БЭТЭ непрерывным способом на применяемых в асфальтах минеральных порошках; 4) исследовать технологию получения асфальтов с дисперсным битумом непрерывным способом и их свойства; 5) исследовать формирование сплошной битумной пленки в асфальтовой смеси; 6) определить технико-экономическую эффективность получения асфальтовых смесей с дисперсным битумом непрерывным способом.

Процессы структурообразования рассмотрены с позиции изменения суммарной поверхностной энергии системы. В соответствии со вторым законом термодинамики процессы структурообразования в асфальтах происходят в направлении уменьшения общей поверхностной энергии системы и снижения вероятности физико-химических процессов, то есть в направлении стабильности. Асфальт с дисперсным битумом является системой открытого типа, которая, после смешения компонентов, проходит через ряд равновесных состояний и обменивается с окружающей средой веществом (испарение воды) и энергией (нагрев асфальта солнцем). Процессы структурообразования происходят в направлении достижения состояния устойчивого равновесия и носят самопроизвольный характер. Фактором интенсивности является разность поверхностных энергий составляющих. Пределом формирования структуры асфальтов является образование бинарной системы «битум — минеральные материалы».

Теоретически были рассмотрены: 1) смачивание водой минеральных составляющих; 2) диспергирование битума с образованием лиофобной системы с огромной общей энергией; 3) стабилизация битумных глобул частицами твердого эмульгатора, при этом в основу были положены представления Б.В. Дерягина о граничных слоях [9]; 4) уплотнение асфальтовой смеси; 5) образование сплошной битумной пленки.

При введении воды в смесь минеральных составляющих на границах раздела последних образуются слои воды с особой ориентированной структурой толщиной 0,01...0,001 мкм [9]. Область ориентированной структуры отделена от остального объема воды резкой границей раздела с более низкой поверхностной энергией, чем у свободной воды, что учитывалось при рассмотрении процессов стабилизации эмульсии, адгезии и растекания битума. Для производства асфальта с дисперсным битумом по непрерывной технологии смесь воды и минеральных составляющих должна обладать текучестью.

Текущая смесь должна полностью заполнять объем смесителя, создавать объем дисперсионной среды в объеме смеси без разрыва сплошности.

При введении битума происходит его эмульгирование через образование в смеси битумных нитей длиной до нескольких десятков миллиметров и их распад на глобулы по достижению критической толщины нитей. При этом общая поверхностная энергия системы возрастает за счет образования огромной поверхности «битум — вода». Вытягиванию нитей и наилучшей диспергируемости битума способствуют оптимальная скорость вытягивания, наличие сдвиговых напряжений и давления, создаваемых вращением шнека смесителя-диспергатора.

Процесс диспергирования делает систему неустойчивой из-за увеличения границы раздела фаз «битум — вода». Понижение общей поверхностной энергии системы осуществляется путем самопроизвольного физико-химического процесса — стабилизации битума, причем чем больше убыль энергии системы в ходе самопроизвольного процесса, тем более стабильна система. В результате анализа установлено, что стабилизация битума осуществляется путем адгезии глобул битума к частицам твердого эмульгатора через граничный слой воды.

В покрытии в процессе испарения воды происходит концентрационный распад БЭТЭ, обращение фаз, образование обратной эмульсии. Формирование битумных пленок на поверхности твердых минеральных материалов происходит в результате смачивания битумом воды, а затем по мере испарения воды, и твердых поверхностей. Процесс смачивания представляет собой комплекс процессов, происходящих одновременно, и состоит из адгезии и растекания. Смачивание характеризуется краевым углом смачивания, представляющим собой угол наклона смачивающей поверхности к смачиваемой; адгезия характеризуется работой адгезии, численно равной убыли энергии системы; растекание характеризуется величиной и направлением действия суммарной силы поверхностных натяжений. Битумные пленки формируются тем быстрее, чем выше степень дисперсности битума и его частичная концентрация и ниже его вязкость.

В первый момент за счет повышенного содержания воды асфальтовая смесь легко уплотняется. Однако вода, заполняя все поры смеси, препятствует сближению частиц. Поэтому уплотнение должно продолжаться по мере испарения воды.

По завершении формирования структуры асфальта образуется бинарная система «твердое — битум», что соответствует минимуму общей энергии системы, и, следовательно, максимальной стабильности.

Для получения асфальтовых смесей и БЭТЭ использовалась лабораторная установка непрерывного действия, которая представляет собой трубу с внутренним диаметром 44 мм с приемочной воронкой и отверстием выгрузки. Внутри трубы находится рабочий орган — шнек, вращающийся от электродвигателя с частотой 760 об/мин (0,8...1,6 м/с по высоте винтообразной лопасти). Параметры шнека: исходный материал — Ст 30 ХВГ, длина шнека — 700 мм, максимальный диаметр шнека — 38 мм, шаг лопасти — 20 мм, высота лопасти — 10 мм. В приемочную воронку одновременно подается смесь щебня, песка и минерального порошка (при приготовлении БЭТЭ щебень и песок отсутствуют) естественной влажности и воды, и битум. Приго-

товление асфальтовых смесей и БЭТЭ производилось в диапазоне температур 10...80 °С для суспензии эмульгатора и 110...160 °С для битума. На выходе получается готовая асфальтовая смесь или БЭТЭ.

Применение шнекового смесителя-диспергатора непрерывного действия для производства БЭТЭ и асфальтовых смесей с дисперсным битумом дает следующие преимущества: 1) перемешивание небольшого объема смеси в смесителе, не требующее больших затрат энергии; 2) смеситель-диспергатор имеет небольшие габариты и массу; 3) непрерывная технология по сравнению с циклическими технологиями обладает большей производительностью при меньшей металлоемкости; 4) нет разрыва сплошности среды, смесь заполняет весь объем смесителя; 5) форма шнека, при его вращении, создает оптимальные условия для вытягивания битума в нити; 6) постоянная линейная скорость перемешивания в условно ламинарном потоке, создающая оптимальные условия для диспергирования битума; 7) однородность размеров глобул в эмульсии, приближающейся к монодисперсной; 8) непрерывная загрузка компонентов; 9) диспергирование битума в небольшом объеме смеси за несколько секунд; 10) технологическая линия обслуживается 1-2 рабочими (при приготовлении БЭТЭ); 11) возможна полная автоматизация процесса.

В экспериментальной части был выполнен большой объем исследований по условиям получения, составам и свойствам БЭТЭ на различных эмульгаторах. Исследования БЭТЭ, полученных непрерывным способом, сводились к изучению зависимости степени дисперсности битумных глобул и максимальных коэффициентов концентрации. В качестве твердых эмульгаторов использовались: известь, известняковый минеральный порошок, доломит, карбид кальция, монтмориллонитовая глина. Использовался вязкий битум трех марок БНД 91/130, БНД 131/200, БНД 201/300. Было установлено: 1) возможно производство БЭТЭ непрерывным способом при температуре дисперсионной среды от 10 до 80 °С; 2) диспергирование битума в БЭТЭ осуществляется через вытягивание нитей длиной 35...85 мм и толщиной от 20 мкм и выше, которые распадаются на глобулы диаметром 20...60 мкм; 3) степень дисперсности битума увеличивается при повышении температур битума и дисперсионной среды, при понижении исходной вязкости битума, при введении в битум ПАВ (1 % олеиновой кислоты); 4) степень дисперсности битума уменьшается при введении в битум добавок дегтя Д-1 и сланцевого битума БСД 250/330; 5) наилучшими условиями для диспергирования является максимально возможное содержание воды в суспензии эмульгатора (20...30 % для различных эмульгаторов по массе БЭТЭ); 6) по эмульгирующей способности эмульгаторы можно записать в ряд: известь — лучшие показатели, монтмориллонитовая глина, известняковый минеральный порошок, карбид кальция, доломит; 7) максимально возможное содержание битума в БЭТЭ зависит от его степени дисперсности. Чем меньше степень дисперсности, тем больше максимальное содержание (для одного и того же эмульгатора).

При исследованиях БЭТЭ было осуществлено получение БЭТЭ в сухом порошкообразном состоянии, что было признано изобретением. Сухие БЭТЭ можно хранить продолжительное время и эффективно использовать для получения асфальтов на эмульсиях на твердых эмульгаторах путем простого смешения с водой, щебнем и песком, а также в качестве активированных минеральных порошков для получения асфальтовых смесей горячим способом [10].

Выполненные исследования БЭТЭ позволили прогнозировать характер диспергирования и степень дисперсности битумов в асфальтовых смесях, получаемых непрерывным способом.

В результате проведенных исследований зависимости степени дисперсности битума от различных факторов: температуры битума и увлажненных минеральных составляющих, исходной вязкости битума, содержания в битуме ПАВ, содержания в битуме добавок сланцевого битума и дегтя, содержания в асфальтовой смеси извести, цемента, старого фрезерованного асфальта, а также физико-механических свойств асфальтов было установлено: 1) диспергирование битума в объеме асфальтовой смеси осуществляется через вытягивание нитей длиной до 125 мм и распада их на глобулы величиной 25...70 мкм; 2) степень дисперсности битума увеличивается при повышении температуры битума и увлажненных минеральных составляющих, при уменьшении вязкости битума, при содержании в битуме ПАВ (олеиновой кислоты), при использовании щебня кислых пород (гранита), введении в смесь минеральных составляющих добавки извести (3 %); 3) степень дисперсности битума уменьшается при введении в нефтяной битум 15 % сланцевого битума и дегтя, введении в смесь добавок цемента (3...5 %) и частиц старого фрезерованного асфальта (60 %), при использовании щебня основных пород (известняка); 4) возможно приготавливать асфальтовые смеси при температуре битума 95...100 °С, что позволяет применять необезвоженный битум; 5) асфальты, полученные по непрерывной технологии удовлетворяют ГОСТ 9128-97 по прочности на горячий плотный асфальт 1—2-й марки для 4-5 ДКЗ, по водостойкости — на горячий плотный асфальт 2-й марки для 4-5 ДКЗ; 6) присутствие в асфальтовых смесях извести, цемента, частиц старого асфальта, ПАВ в битуме улучшает физико-механические свойства асфальта.

Проводились исследования интенсивности растекания битума по поверхности воды в зависимости от его исходной вязкости и температуры, температуры воды, от содержания в битуме ПАВ, сланцевого битума и дегтя. 1) экспериментально подтвержден теоретический вывод о том, что в системе вода — битум — газ процесс идет только в одном направлении: битум смачивает воду; 2) скорость растекания выше у менее вязких битумов, при повышении температуры битума и воды, при наличии в битуме ПАВ; 3) исследована картина растекания битумных глобул по поверхности воды, установлено, что в процессе испарения воды битумные глобулы обнажаются над поверхностью воды и растекаются по ней; в ходе растекания происходит адгезионный отрыв глобул от поверхности твердого и растекание продолжается до образования пленки непостоянной толщины в виде линзы с утолщенной средней частью; 4) составленные вяжущие горячим способом из нефтяных битумов и дегтя и сланцевого битума растекаются быстрее, чем нефтяные битумы; 5) экспериментально доказано, что возможно растекание битумов при температурах, близких к 0 °С, что имеет важное практическое значение для формирования асфальта в весенне-осенний период.

По сравнению с идентичными асфальтовыми смесями, полученными по циклической технологии, асфальтовые смеси непрерывного приготовления на шнековом смесителе-диспергаторе имеют степень дисперсности битума и его частичную концентрацию в 2-3 раза выше, что позволяет говорить о более

благоприятных условиях для формирования битумной пленки в покрытии и более высоких физико-механических свойствах асфальта.

Для проверки выводов, полученных на основе теоретических и экспериментальных исследований, оценки эксплуатационных свойств и отработки технологии укладки асфальтовых смесей с дисперсным битумом в 2003—2005 гг. в г. Саратове осуществлялся ямочный ремонт асфальтового покрытия на проезжей части и тротуарах. Визуальные наблюдения показали, что до настоящего времени отсутствуют деформации и разрушение уложенного покрытия. Сцепление нового покрытия со старым остается достаточно прочным, а швы сопряжения монолитными.

Таким образом, установлена возможность применения асфальта с дисперсным битумом, полученного непрерывным способом для осуществления ямочного ремонта дорог и тротуаров. Ремонт является технологически простой операцией и может выполняться одним человеком.

Установлена технико-экономическая эффективность применения непрерывной технологии производства асфальта с дисперсным битумом по сравнению с горячей технологией. Экономический эффект складывается из экономического эффекта от экономии энергетических и материальных ресурсов, экологического эффекта от снижения ущерба окружающей среде, социального эффекта за счет улучшения условий труда и сокращения общей численности работников, и составляет приблизительно 50 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. № 883221 СССР. Способ приготовления битумо-минеральной смеси / Н.А. Горнаев, В.П. Калашников, А.Ф. Иванов. Оpubл. 23.11.1981.
2. Горнаев Н.А. Процессы формирования структуры асфальтового бетона с дисперсным битумом // Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов : тезисы докладов. Харьков, 1977. С. 68—70.
3. Иванов А.Ф. Технология, структурообразование и свойства асфальтобетона с дисперсным битумом. : дис. ...канд. техн. наук. Саратов, 1986. 172 с.
4. Рекомендации по технологии производства и применения холодных асфальтобетонных смесей с диспергированным битумом. М., 1987. 18 с.
5. Потапов А.В. Процессы структурообразования и структурно-механические свойства цементасфальтобетона. : дис. ...канд. техн. наук. Саратов, 1987. 241 с.
6. Никишин В.Е. Технология регенерированного асфальта с дисперсным битумом : дис. ...канд. техн. наук. Саратов, 2000. 182 с.
7. Горнаев Н.А. Диспергатор для получения битумных паст / Н.А. Горнаев, В.П. Калашников // Автомобильные дороги. 1977. № 7. С. 143—148.
8. А. с. № 969806 СССР. Устройство для приготовления битумного шлама / Н.А. Горнаев, В.П. Калашников. Оpubл. 30.10.1982.
9. Дерягин Б.В. О влиянии поверхностных сил на фазовые равновесия полимолекулярных слоев и краевой угол смачивания / Б.В. Дерягин, Л.М. Щербаков // Коллоидный журнал. 1961. Т. 23. № 1. С. 40—52.
10. Пат. № 2285707 Российская Федерация. Способ изготовления битумосодержащих смесей с минеральным компонентом / А.В. Светенко, К.М. Страчков, Н.А. Горнаев. Оpubл. 16.05.2005.

© Страчков К.М., 2008

Поступила в редакцию
24.12.07

УДК 620.1:691.32

Т.Ф. Чередниченко**О КИНЕТИКЕ ПОДРАСТАНИЯ ТРЕЩИН И РАЗРУШЕНИИ БЕТОНА**

Рассмотрены причины образования микротрещин и закономерности их подрастания с учетом микроструктуры бетона. Исследованы влияние скорости нагружения на изменение удельной энергии разрушения бетона и изменение времени до разрушения τ при различных уровнях нагружения σ/f_t образцов. Показано, что экспериментальные данные, представленные в координатах « $m_{бдл}/m_{бкр} — \ln \tau$ », можно использовать для определения $m_{бдл}$ при заданном значении τ .

The core of the microcracks formation and the appropriateness of their growing with clue regard for the concrete microstructure are observed.

The loading velocity impact on the specific energy of the concrete destruction changing and the destruction time τ changing at the different levels of the specimen loading σ/f_t are investigated. The experimental data in the « $m_{бдл}/m_{бкр} — \ln \tau$ » — coordinates are shown to be used for $m_{бдл}$ determination at the fixed τ volume.

Обычный бетон является неоднородным квази-хрупким композиционным материалом. При этом его можно рассматривать как трехфазный материал, включающий в себя пористый цементный камень (матрица), мелкий и крупный заполнители, а также микротрещины и пустоты (полости) на контакте матрицы и заполнителя.

Основными продуктами гидратации портландцемента являются гидросиликаты кальция, гидроксид кальция, гидроалюминаты и гидросульфалюминаты кальция [1, 2, 3]. Субмикрорекристаллы гидросиликатов кальция, размер которых не превышает 1 мкм, занимают до 2/3 объема гидратированного цементного камня. Кристаллы гидроксида кальция гексагональной формы размером от 0,01 до 0,1 мм занимают до 20...25 % объема цементного камня, а гидросульфалюминаты кальция, имеющие игольчатое кристаллическое строение с размером кристаллов 10-0,5 мкм — до 10...15 % от объема цементного камня в зависимости от степени гидратации вяжущего.

Важным элементом микроструктуры портландцементного камня (матрицы) являются поры, которые в соответствии с моделью Т. Пауэрса подразделяются на гелевые и капиллярные. Гелевые поры размером от 0,5 до 10 нм являются составляющей гидросиликатов кальция, а капиллярные поры размером от 0,01 до 10 мкм представляют собой пространство между продуктами гидратации портландцемента. В процессе гидратации происходит перераспределение объемов пор по их размерам, а общий объем пор уменьшается. При этом дифференциальная пористость существенно зависит от минералогического состава цемента, наличия поверхностно-активных добавок, условий твердения и др. факторов.

Причины образования микротрещин в бетоне еще до его нагружения различны [2, 4, 5, 6]. Твердение бетонной смеси сопровождается водоотделением, экзотермией цемента и неравномерным изменением влагосодержания по объему материала. Возникающие при этом внутренние тепло-влажностные и усадочные напряжения провоцируют появление микротрещин. Кроме того, матрица и заполнитель имеют различные модули упругости

и коэффициенты температурного расширения, а усадка цементного камня сдерживается наличием заполнителя, что также способствует зарождению микротрещин в бетоне до приложения внешней нагрузки.

Результаты электронно-микроскопических исследований цементного камня, раствора и бетона показывают [2—6], что иерархия размеров зарождающихся трещин соответствует размерам новообразований твёрдой фазы, формирующей материал, и дефектов в контактной зоне с заполнителем.

Например, трещины, зарождающиеся в матрице, и новообразования портландцементного камня имеют наноразмеры, а размер трещин и дефектов в растворной части и на контакте с крупным заполнителем измеряется, соответственно, в микронах и миллиметрах.

Зарождение и динамика подрастания микротрещин на границе раздела фаз являются основными факторами, определяющими длительность процесса разрушения (долговечность) бетона при его нагружении или высокотемпературном воздействии. В [6, 7, 8] показано, что существенное значение на процесс разрушения бетона оказывает зона предразрушения (разупрочнения), образуемая со стороны устья макротрещины, прорастающей в процессе его разрушения. При этом с увеличением крупности заполнителя длина зоны предразрушения возрастает.

Полная диаграмма деформирования бетона (а) и схема образования зоны предразрушения и микротрещин со стороны устья макротрещины, развивающейся в процессе его разрушения в условиях нормального отрыва (б) приведены на рис. 1.

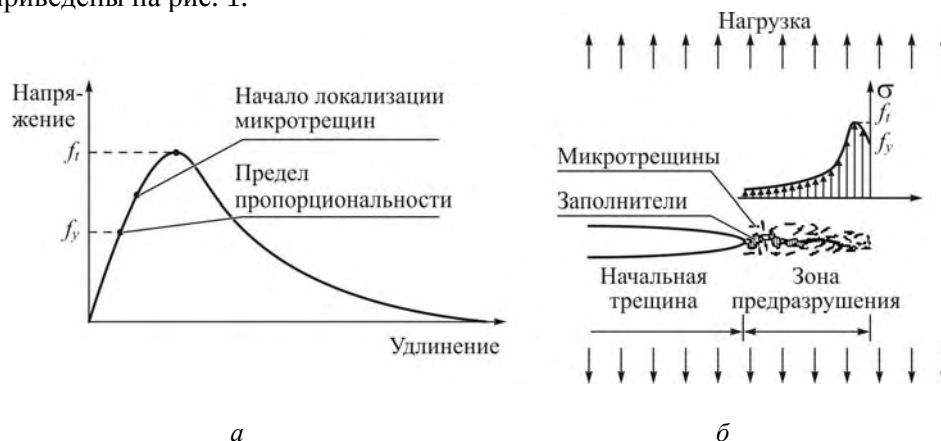


Рис. 1. Полная диаграмма деформирования бетона (а) и схема образования зоны предразрушения и подрастания макротрещины в процессе разрушения образца (б)

Линейный участок до предела пропорциональности f_y (рис. 1, а) соответствует упругому деформированию. Нелинейный участок на восходящей ветви до предела прочности при растяжении f_t образуется за счет микротрещинообразования и неупругих деформаций, а нисходящая ветвь соответствует развитию локальной макротрещины в процессе исчерпания несущей способности испытуемого образца. Насыщение зоны предразрушения микротрещинами со стороны устья макротрещины в процессе разрушения вызывает изменение растягивающих напряжений (рис. 1, б). При этом напряжения со стороны устья трещины возрастают до максимальных значений f_b , а затем пада-

ют до значений, соответствующих пределу пропорциональности f_y в зоне предразрушения, развивающейся за счет образования микротрещин при ее продвижении.

В работах по механике разрушения бетона установлено, что свойства зоны предразрушения являются основным фактором, определяющим характер его разрушения и масштабный эффект [5, 6, 7].

Условия нагружения оказывают существенное влияние на изменение характеристик трещиностойкости бетона. Испытания бетонных образцов показывают, что при одноосном растяжении трещины развиваются в направлении, перпендикулярном прикладываемой нагрузке, а при одноосном сжатии — в направлении прикладываемой нагрузки. Известно, что предел прочности обычного бетона при растяжении не превышает 15 % от его прочности при сжатии.

Исследование закономерностей зарождения и развития трещин при различных условиях нагружения является важной задачей для понимания процесса разрушения бетона и разработки методов количественной оценки его долговечности.

Экспериментальная часть работы включала определение предела прочности при сжатии R_b , центральном растяжении f_t и растяжении при изгибе f_f удельной энергии разрушения G_f и модуля упругости E бетона. Кроме того, исследовали также влияние скорости нагружения (деформирования) $\dot{u}$ на изменение G_f и времени до разрушения τ при воздействии постоянных значений нагрузки (напряжений) σ .

Методика испытаний и образцы. Состав бетона на портландцементе марки 400, кварцевом песке и гранитном щебне: 1:1,30:3,20 при В/Ц= 0,50. Значения E , f_b , R_b определяли по результатам испытаний образцов-балочек размером 50×50×320 мм. Вначале определяли динамический модуль упругости E . Затем на тех же образцах проводили испытания при центральном растяжении и определяли значения f_t . Оставшиеся после разрушения половинки образцов использовали для определения R_b .

Значения G_f определяли по методике РИЛЕМ [9] по результатам испытания геометрически подобных образцов высотой $h = 40, 80, 160$ мм с надрезом толщиной 2,0 мм при трехточечном изгибе (сила посередине). Для всех образцов длина $l = 2,5h$. Методика испытаний не требует определения полных диаграмм деформирования бетона.

Влияние $\dot{u}$ на изменение значений энергии разрушения бетона определяли на образцах размером 50×50×320 мм с надрезом при трехточечном изгибе. В процессе испытаний фиксировали нагрузку на образец и прогиб. Скорость изменения прогиба (под силой) составляла от 0,05 до 50 мкм/с при длительности испытаний от 10 с до 1,5 ч.

Для определения τ использовали балочки размером 50×50×320 мм при трехточечном изгибе без надреза и с надрезом. Вначале определяли предел прочности бетона при изгибе f_f при стандартной скорости нагружения 0,05±0,02 МПа/с, а затем проводили испытания при длительном воздействии постоянно приложенной нагрузки (при уровне напряжений в диапазоне $\sigma/f_f = 0,6...0,9$). Время до разрушения определяли при действии заданных постоянных напряжений. Все образцы доводили до разрушения. Свойства бетона: $R_b = 38,00$ МПа, $E = 30$ ГПа и $f_t = 2,8$ МПа.

Результаты испытаний. Опыты показали, что скорость нагружения (деформирования) в исследованном диапазоне скоростей приводит к повышению энергии разрушения бетона (рис. 2).

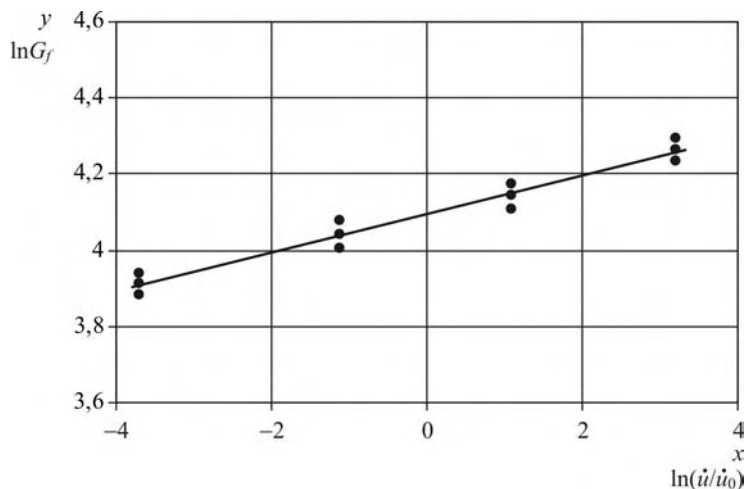


Рис. 2. Влияние относительной скорости деформирования $\dot{u}/\dot{u}_0$ на изменение удельной энергии разрушения бетона G_f

При изменении скорости деформирования $\dot{u}$ от 0,05 до 50 мкм/с значения G_f возросли соответственно от 50 до 68 нм/м², что соответствует данным других авторов [6, 8].

Согласно графику (рис. 2), построенному в логарифмической шкале, влияние $\dot{u}$ на изменение энергии разрушения бетона можно описать степенной зависимостью

$$G_f/G_{f0} = (\dot{u}/\dot{u}_0)^{0,05}, \quad (1)$$

где $\dot{u}_0$ — нормированная (2 мкм/с) скорость деформирования; G_{f0} — постоянная нормирующая величина, имеющая размерность удельной энергии.

Из наших и других данных [4, 5, 6, 10] следует, что при нагружении образцов с возрастанием скорости напряжений в диапазоне от 0,01 до 2000 МПа/с получаемые значения прочности бетона при растяжении также возрастают. Причиной могут быть различные условия зарождения и субкритического подрастания трещин в процессе испытаний, что позволяет по данным испытания образцов-близнецов на прочность (в широком диапазоне скоростей нагружения) определять время до разрушения τ методами механики разрушения бетона [11].

Прямые опыты для определения τ проводили в условиях контролируемого нагружения. Время до разрушения образцов фиксировали от момента достижения заданного уровня нагружения σ/f_f . Результаты испытаний приведены в таблице.

σ/f_f	0,94	0,91	0,84	0,80	0,75
τ, c	12	300	900	5000	10000

Данные таблицы, графически представленные на рис. 3, подтверждают наличие степенной зависимости между приложенной нагрузкой и временем

до разрушения в соответствии с кинетической концепцией прочности твердых тел, предполагающей существование линейной зависимости между прочностью и логарифмом времени при заданной температуре:

$$\tau = 7,3 \left(\frac{\sigma}{f_f} \right)^{-27}. \quad (2)$$

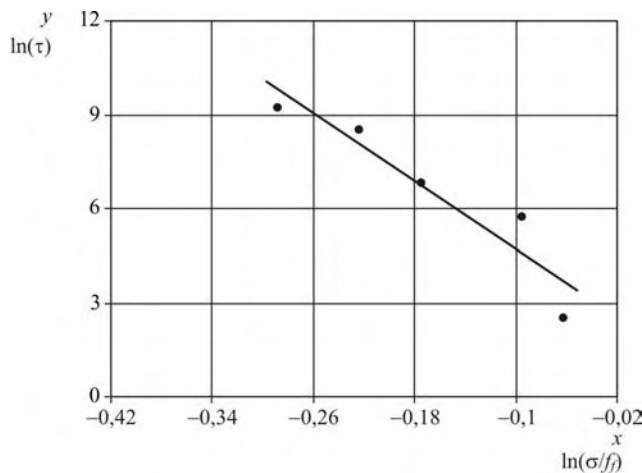


Рис. 3. Время до разрушения τ , с, в зависимости от уровня приложенной нагрузки σ/f_f

Ранее нами было показано наличие линейной зависимости прочности жаростойких бетонов от логарифма времени при температурах нагрева до 800 °С по данным испытания образцов на прочность при различных скоростях нагружения [10, 11].

В соответствии с нормативными документами для оценки прочности бетонов, работающих при воздействии высоких температур, предусмотрено использование коэффициентов, учитывающих изменение прочности при кратковременном $m_{b_{\text{ткр}}}$ и длительном $m_{b_{\text{дл}}}$ воздействии температуры и нагрузки. Значения $m_{b_{\text{ткр}}} = R_{bt}/R_{b20}$ определяют по опытным данным (R_{b20} и R_{bt} — соответственно прочность образцов не подвергавшихся нагреву и при нагреве). Коэффициент $m_{b_{\text{дл}}}$ фактически представляет собой относительное напряжение, при котором через определенное время τ деформации ползучести бетона достигают своих предельных значений. Поэтому экспериментальные данные, представленные в координатах « $m_{b_{\text{дл}}}/m_{b_{\text{ткр}}} — \ln \tau$ » можно использовать для определения $m_{b_{\text{дл}}}$ при заданном значении τ .

При этом следует иметь в виду, что на результаты определения долговременной прочности бетона оказывает влияние методика испытания образцов на прочность. В наших опытах при трехточечном изгибе с надрезом и без надреза (на малых образцах при одинаковой площади поперечного сечения) не зафиксировано значительного различия при определении τ . Однако, значения τ , определенные по данным испытания компактных образцов на растяжение получаются выше, чем при испытании образцов на изгиб при одинаковых значениях σ/f_f .

Выводы. Для количественной оценки параметров разрушения бетона во времени при силовом и высокотемпературном воздействии необходимы новые данные и универсальная модель, учитывающая различия в поведении бетона при различных сочетаниях высокой температуры и нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Powers T.C. The physical structure and engineering properties of concrete // PCA Bul. 1958. N 90. 28 p.
2. Волженский А.В. Колокольников. Минеральные вяжущие вещества // А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. М. : Стройиздат, 1979. 476 с.
3. Шевченко В.И. Влияние нагрева на пористую структуру жаростойкого бетона // Физико-химические и технологические основы жаростойких цементов и бетонов. М. : Наука, 1986. С. 64—72.
4. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. М. : Высшая школа, 1991. 288 с.
5. Proceedings of FRAMCOS-5 Conf.: Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. Band vol. 1-2. Vail Colorado, USA, April, 2004.
6. Bazant Z.P. Fracture and size effect in concrete and other quasibrittle materials / Z.P. Bazant, J. Planas. CRC Press, Boca Raton. Fla., 1996.
7. Шевченко В.И. Определение прочности, характеристик трещиностойкости и хрупкости бетона с учетом влияния масштабного эффекта / В.И. Шевченко, Т.Ф. Чередниченко // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2002. Вып. 2(5). С. 160—165.
8. Shah S.P. Fracture Mechanics of Concrete: applications to concrete, rock and other quasi-brittle materials / S.P. Shah, S.E. Swartz, C. Ouyang. J.W.&Sons, Inc., 1995.
9. RILEM Recommendations. Size effect method for determining fracture energy and process zone size of concrete // Materials and structures. 1990. 23. No. 138. Pp. 461—465.
10. Шевченко В.И. Определение времени до разрушения (долговечности) жаростойких бетонов по параметрам субкритического подрастания трещин / В.И. Шевченко, Т.Ф. Чередниченко // Изв. вузов. Строительство. 2005. № 10. С. 120—124.
11. Рекомендации по оценке долговечности бетона с учетом масштабного фактора / В.В. Жуков, В.И. Шевченко, К.А. Пирадов, Т.Ф. Чередниченко М. : Изд-во МГОУ, 2002. 20 с.

© Чередниченко Т.Ф., 2008

Поступила в редакцию
в декабре 2007 г.

УДК 539.612:691.4

Р. П. Заднепровский, М. В. Трохимчук

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проведен анализ адгезионных свойств дисперсных пород, результаты которого показали, что электрическая часть работы адгезии значительна при очень тонких пленках влаги и высокой макропористости грунтовых массивов.

The authors carried out the analysis of the adhesion properties of dispersed rocks and revealed that the electric part of the adhesive work is considerable when moisture films are very thin and the soil bodies are highly macroporous.

Дисперсные горные породы, содержащие глинистые минералы занимают до 70...80 % верхнего слоя земной коры. Этот слой является основным объектом хозяйственного использования в строительстве, сельском хозяйстве. В сельскохозяйственном производстве в этом слое (называемом почвой) протекают сложные биопроцессы развития растений. В силу этой особенности будем употреблять общий термин для указанных верхних слоев — почвогрунты.

Многие строительные материалы (цемент, асфальт, строительные смеси и растворы, материалы для покрытий и т.п.) относятся к дисперсным.

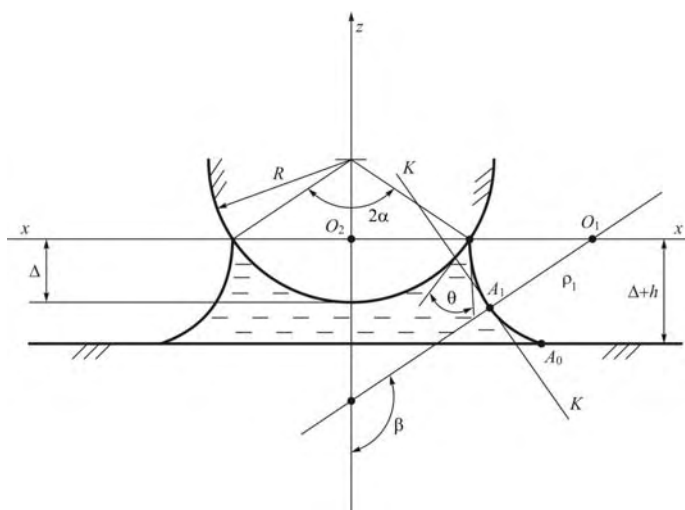
Адгезионные свойства таких сложных, полиминеральных, полидисперсных многофазных систем изучены еще недостаточно, хотя их практическая значимость в технологических процессах разработки почвогрунтов, производства строительных материалов и изделий весьма значительна.

Следует отметить и экологическую значимость проблемы изучения адгезионных свойств, поскольку они коррелируют с критериями экологической защищенности, играют существенную роль в чрезвычайных природных катаклизмах (оползнях, устранения последствий наводнений и т.п.).

Проблема изучения адгезионного (поверхностного) взаимодействия имеет аналогии в изучении когезионных свойств (внутреннего сцепления атомов, молекул, ионов) и в этом смысле смыкается с проблемой прочности тел различного физического состояния.

Общетеоретические проблемы адгезии изучались многими исследователями (Е. Лифшиц, Г. Гамакер, Б. Дерягин, Н. Кротова, Н. Фуко, А. Зимон, С. Нерпин, П. Ребиндер, А. Ахметов и др.). Рассматриваемые дисперсные тела типа почвогрунтов и строительных материалов, как правило, содержат три основных фазы: твердые частицы (агрегаты), жидкость и газ (большей частью вода и воздух).

Адгезия подобных систем рассматривалась в работах В.Я. Калачёва, С.А. Гончарова, Р.П. Заднепровского, А.И. Мильцева, П.У. Бахтина, А.И. Зеленина, А.С. Кондры, И.Г. Горячевой и ряда других исследователей. Известные математические и физические модели адгезии недостаточно или неполно отражают поведение 2—3-фазной системы применительно к рассматриваемым. С учетом обобщения и уточнения известных уравнений адгезионного взаимодействия рассматривается модель, показанная на рис.



При взаимодействии тел 1 и 2 в области контакта появляется разность потенциалов, зависящая от разности работ выхода электронов тел различной природы и структуры поверхностей, наличия электростатического поля (кулоновского взаимодействия) и специфического адсорбционного взаимодействия (лондоновских дисперсионных сил). При наличии жидкой фазы 3 на гранях раздела 1—3 и 2—3 появляются диффузные слои ионной атмосферы (с преимущественным положительным знаком) в жидкой фазе, которая, по существу, является раствором электролита. На фазовых границах образуются двойные электрические слои в соответствии с представлениями Фрейндлиха — Смолуховского — Фрумкина [1].

Двойной электрический слой характеризуется так называемым j -потенциалом, который отличается от термодинамического потенциала (полного скачка потенциала между твердой фазой и нулевой точкой в глубине раствора), и тем, что определяет падение потенциала в границах плоскости скольжения, — Δ_1 . Вблизи твердых фаз имеются неподвижные слои, толщина которых $\Delta_2 = \Delta - \Delta_1$, где Δ — общая толщина жидкого слоя (фазы 3). Двойной электронный слой приближенно уподобляется конденсатору. Общий заряд двойного слоя

$$Q = D(\varphi_0 - \varphi_1)/4\pi\delta = q_1 + q_2, \quad (1)$$

где q_1 и q_2 — заряды, определяющие электростатические притяжения ионов раствора (от границ скольжения) и адсорбцию первого слоя противоионов поверхности твердой фазы; φ_0 и φ_1 — соответствующие потенциалы; δ — толщина двойного слоя; D — диэлектрическая проницаемость.

Общая энергия адгезионного разрыва

$$\mathcal{E}_a = p_k \Delta V + Q\Delta\varphi, \quad (2)$$

где p_k — капиллярное давление; ΔV — объем формоизменения жидкостной прослойки при ее разрыве за счет увеличения зазора h и уменьшения единичной площади соприкосновения пары частиц с диаметром жидкостного контакта $D = 2O_2A$ (см. рис.). Отметим, что физический объем здесь не меняется, а изменяется форма прослойки.

В частном случае для двух одинаковых частиц диаметром d приближенная величина

$$\Delta V = \pi[2 D d(h - h_0) - d^2(h - h_0) - D^2 h_0]/4. \quad (3)$$

Второе слагаемое уравнения $Q\Delta\phi$ — электрическая часть работы адгезии, где Q — удельное количество электричества в системе (общий заряд); $\Delta\phi$ — разность потенциалов в системе «грунт (1) — влага (2) — грунт (3)». Система 1—2—3 моделируется электрическим конденсатором.

По теории плоского конденсатора (с учетом того, что 1 кулон = $4,77 \cdot 10^9$ э.е.) работа электрических сил

$$\mathcal{E} = D\Delta\phi^2 / k \pi 4,77 \cdot 10^9. \quad (4)$$

Энергия на преодоление капиллярного давления для 2 плоских частиц

$$\mathcal{E}_{\text{кп}} = p_{\text{к}} \cdot \pi[2 D d(h - h_0) - d^2(h - h_0) D^2 h_0]/4. \quad (5)$$

Капиллярное давление по Лапласу

$$p_{\text{к}} = \sigma(\rho_1 + \rho_2) / (\rho_1 \rho_2),$$

где ρ_2, ρ_1 — главные радиусы кривизны поверхности раздела фаз.

В идеальной капиллярной системе, где поры капилляров в виде цилиндрических трубочек обычно принимаются $\rho_1 = r$ (r — радиус цилиндрического капилляра), $\rho_2 = \infty$ и $p = 2\sigma/r$, но в полидисперсной системе грунт — вода — воздух ρ_2 не равно ∞ .

Рассмотрим схему контакта частицы радиуса R с плоскостью (см. рис.) при толщине слоя влаги Δ (при угле смачивания θ), $AO_1 = \rho_1$.

Согласно теореме Ж. Менье $\rho_2 = x_1 / \sin \beta$, где β — угол между нормалью (для касательной $K-K$ к мениску AA_0) и осью $z-z$. Координата x проходит через верхний обрез мениска.

Из геометрических соотношений (см. рис.) получаем

$$\sin \beta = \sin(90^\circ + \alpha) = \cos \alpha.$$

$$\text{Величина } \Delta = R(1 - \cos \alpha) \text{ и } x_1 = R \sin \alpha, \rho_2 = R \sin \alpha / \cos \alpha; R > \rho_2 > 0.$$

$$\rho_2 = R((\Delta/R) - (\Delta/R))^{1/2} / (1 - \Delta/R), \quad (6)$$

т.е. является функцией радиуса частицы и толщины водной прослойки.

При контакте двух шаровидных частиц в формуле (6) используется приведенный радиус $R = 2R_1R_2/(R_1 + R_2)$.

Капиллярные силы — вторичные следствия проявления молекулярного и ионно-электростатического взаимодействия на границе 3 фаз.

При наличии зазора между частицами $\rho_{2\text{min}} = \Delta + h$. В этом случае предел изменения $h + R \geq \rho_2 \geq h + \Delta$. В упрощенной задаче $\rho_{2\text{ср}} = (2h + R + \Delta)/2$; капиллярная сила адгезии парных частиц на единице площади жидкостного контакта:

$$P_{\text{ак}} = \pi \sigma B \rho_2^2 \cos \theta (\rho_1 + \rho_2) / (\rho_1 \rho_2), \quad (7)$$

где B — коэффициент, учитывающий отклонение формы сечения по $x-x$ от окружности; θ — угол смачивания частиц.

Анализ формулы показывает, что при $0 < \rho < \infty$, фактическое капиллярное давление будет существенно больше вычисленного по формуле

$$P_k = 2\sigma/\rho.$$

Здесь основной радиус ρ обычно принимается равным r (эквивалентному радиусу частицы) [2]. Фактически величина $r = V/S$, где S — поверхность частиц в объеме V .

Удельная поверхность $S = B/r$, где B — коэффициент формы микроагрегатов. С термодинамической точки зрения величина S стремится к минимуму. Наименьшее значение коэффициента B имеют шарообразные и пластинчатые частицы, у которых поперечные размеры превышают толщину в 10 и более раз, а соотношение ширины и длины — более чем вдвое. В этом случае $B=2\dots4$.

Эквивалентный радиус грунтовых или почвенных частиц r можно определить из условия равенства гравитационного γgh и капиллярного потенциалов. Для нормальной температуры приблизительно (при $\gamma = 1000 \text{ Кт/м}^3$ и $\sigma = 75 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$) $r = 14/10^6 h$, где h — высота капиллярного поднятия влаги в почвогрунте.

Соответственно, удельная поверхность $S = 1,3 \cdot 10^5 B h$. Теоретически для самой плотной упаковки частиц с условным эквивалентным радиусом коэффициент пористости $\varepsilon = 0,26$, а для тетраэдрической упаковки $\varepsilon = 0,46$. Фактически грунт представляет собой глобулярную структуру, составленную из частиц неодинаковых размеров.

Если часть пор между наиболее крупными агрегатами заполнена микро-частицами так, что образующиеся микропоры имеют размер, близкий к толщине адсорбированного слоя влаги (или обменного комплекса), то все равно приходим к возможности наиболее вероятного структурно-агрегатного состава из шарообразных и коротко-пластинчатых частиц с поровыми промежутками. Это определяет правомерность указанных выше формул для интегрального анализа физических процессов в почве.

Размер адсорбированной пленки воды, вовлекаемой в капиллярное перемещение, составляет более 10^{-6} м , а удельная поверхность для глинистых минералов связана с емкостью обмена E эмпирической зависимостью $S = 5,72E \text{ м}^2/\text{г}$ [2].

При объемном весе почв $1300\dots1500 \text{ кг/м}^3$ величина $S = (7\dots9) \cdot 10^6 \text{ 1/м}$. Эта величина соответствует для плотных глинистых минералов слоистого сложения, где $B > 4$. Показатели r и S связаны с энергетикой почвогрунтов. Под термином «энергетика почв» понимается количественная оценка энергии для процессов адгезионно-когезионного разрушения и структуризации (естественной — под воздействием изменяющихся факторов окружающей среды и искусственной).

Для действительного перехода от ρ к r (при расчете $P_{кп}$) необходимо учесть пористость ε и относительную влажность W (в долях от полной влагоемкости $W_b = \varepsilon$). С этой целью предлагается параметр $\Pi = W(\varepsilon - W)$, имеющий экстремальное значение $\varepsilon = 0$ или $W = 0$, капиллярное давление отсутствует. Можно принять за основу равенство:

$$P_{кп} = \sigma \cdot S \cdot \Pi. \quad (8)$$

Общая удельная работа адгезионных сил

$$\mathcal{A} = \Pi \sigma / r + D(\Delta\phi/\Delta h)^2 = \mathcal{A}_1 - \mathcal{A}_2. \quad (9)$$

Для воды поверхностное натяжение $\sigma = 75 \cdot 10^{-3}$ Н/м, диэлектрическая постоянная $D \approx 80$, опытная разность потенциалов в системе грунт — материал [1, 3] $\Delta\phi = 0,1 \dots 0,5$ В. Приняв толщину пленки воды $\Delta h = 10^{-7}$ м параметр $\Pi = 0,25$ (при $\varepsilon = W = 0,5$) и $r = 10^{-5}$ тогда $\mathcal{A}_1 \approx 2 \cdot 10^3$ Н/м², $\mathcal{A}_2 = 10 \dots 10^4$ Н/м² (при изменении толщины слоя от 10^{-6} до 10^{-8} м).

Как видим, электрическая часть работы адгезии велика при очень тонких плёнках влаги и высокой дисперсности пород. При толщине влаги, соизмеримой с размерами частиц, превалируют капиллярные силы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев О.Н. Электрокинетические явления. Л. : ЛГУ, 1973. 275 с.
2. Заднепровский Р.П. Энергетические показатели межфазных процессов в глинистых породах и закономерности изменения электродных потенциалов грунт-металл // Геоэкология, инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2005. № 1. С. 64—67.
3. Заднепровский Р.П. О природе и оценке адгезионного взаимодействия грунтов с рабочими поверхностями землеройных машин // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1974. № 11. С. 152—157.

© Заднепровский Р.П., Трохимчук М.В., 2008

Поступила в редакцию
в декабре 2007 г.

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ. ВЕНТИЛЯЦИЯ,
КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА. ГАЗОСНАБЖЕНИЕ
И ОСВЕЩЕНИЕ**

УДК 620.92

В. М. Фокин, Б. В. Панасов, Е. П. Окунева, О. Ю. Самойлова

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ПРОЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА
ГИБРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Рассмотрены энергоэффективные технологии одновременного рационального использования альтернативных низкопотенциальных геотермальных ресурсов и ветроэнергетических установок без нарушения экологии окружающей среды.

The article considers energy-efficient technologies for simultaneous rational use of alternative low-potential geothermal resources and wind-energy plants which helps avoid environment violation.

В настоящее время все большее распространение в мире получают энергоэффективные технологии жизнеобеспечения на базе одновременного использования альтернативных низкопотенциальных геотермальных ресурсов и ветроэнергетических установок. Преимущества таких гибридных технологических систем заключаются не только в сокращении затрат энергии с высокими тарифами, но и в автономности локальных объектов без нарушения экологии окружающей среды. Наибольшее распространение локальные объекты, использующие теплоту грунта, получили в США, Швеции, Швейцарии и др. По данным опубликованной информации суммарный ежегодный прирост объемов эффективного использования геотермальных ресурсов в мире достигает 10 %.

Развитие и процветание регионов России в известной мере зависит от активного использования собственных энергетических ресурсов, для того чтобы минимизировать дорогостоящие поставки угля, мазута и природного газа для местных региональных нужд. К сожалению, в России построены и эксплуатируются только единичные локальные объекты, использующие теплоту приповерхностных слоев земли и неглубоких пластов. Одновременно подчеркивается, что основным препятствием, сдерживающим эффективное внедрение гибридных технологических систем, является недостаточно разработанное математическое, программное и нормативное обеспечение проектирования и строительства локальных объектов в различных почвенно-климатических условиях России.

Геотермальные установки. Геотермальные установки используют энергию недр Земли. Геотермальные энергетические ресурсы относятся к низкопотенциальным, невозобновляемым, но неисчерпаемым. В различных регионах мира (Исландия, Новая Зеландия, Филиппины, Камчатка, Предкавказье и др.) отмечаются аномально высокие температурные потенциалы геотермальной энергии, где на глубине до 3000 м получают: сухой пар, горячую подземную воду под пластовым давлением с температурой от +100 до +150 °С и выше. От общего объема мировых геотермальных энергетических ресурсов около 88 % приходится на низкотемпературные источники энергии с температурой менее +100 °С [1].

Направления использования теплоты гидроминерального флюида многочисленны и разнообразны: отопление, нагрев вентиляционного воздуха, горячее водоснабжение, различные технологические установки и сельское хозяйство. Желательно организовать комплексное использование горячей воды, чтобы ее температурный потенциал был сработан по возможности более полно. Вначале воду, имеющую температуру на выходе из скважины до 100 °С, следует направлять в системы отопления зданий и теплиц, где она охладится до 50...60 °С, затем эту воду можно подать в калориферы для подогрева воздуха, используемого для сушки сельскохозяйственного сырья, на животноводческие фермы для подогрева полов, приготовления теплого питья или корма. После этой степени использования термальной воды, уже весьма остывшей, если она не оказалась загрязненной на предшествующих участках технологического тракта, можно направить в рыбопродукционные пруды или на полив огородных культур, выращиваемых на открытом грунте.

При использовании наземных технологических гидротермальных тепловых сетей следует решать вопрос о применении отработанной термальной воды. Если производительность гидротермальных скважин высока, то произвольный сброс отработанной воды может привести к заболачиванию местности и к тепловому и химическому загрязнению окружающей среды, поскольку сама вода имеет повышенную температуру и насыщена вредными для человека, флоры и фауны компонентами. Поэтому по экологическим соображениям необходимо отработанную воду по специальным скважинам закачивать в недра Земли: несмотря на то, что бурение опускных скважин и закачка отработанной воды требуют дополнительных затрат средств и энергии, это позволяет сохранить в чистоте среду обитания, поддерживать внутрипластовое давление и обеспечить стабильную работу действующей скважины в течение длительного периода времени.

При температуре геотермальных вод до 100...150 °С и слабой их минерализации возможно их прямое использование в системе теплоснабжения. При более высоких температурах и давлениях применяется двухконтурная схема, в которой геотермальная вода часто в виде пара под давлением до 20 МПа и температуре до 200 °С подается в сетевой теплообменник, где охлаждается, и затем сбрасывается, как правило, в подземные естественные пустоты — хранилища. Если же минерализация геотермальных вод высока, то используют различные способы очистки геотермальных вод. На рис. 1. приведена принципиальная схема геотермальной установки с промежуточной очисткой пара и воды.

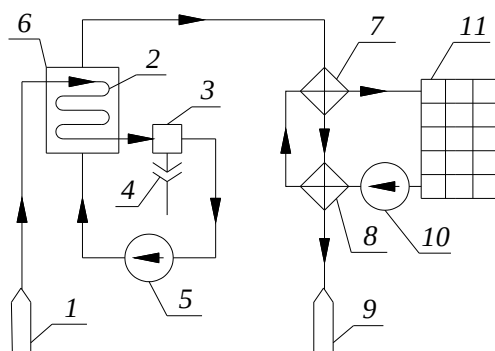


Рис. 1. Принципиальная схема геотермальной установки: 1 — действующая скважина; 2 — теплообменник; 3 — сепаратор; 4 — дренаж; 5 — насос; 6 — парогенератор; 7, 8 — подогреватели сетевой воды; 9 — неработающая скважина; 10 — сетевой насос; 11 — потребитель

Водяной пар или горячая вода из действующей скважины 1 под собственным давлением направляются в теплообменник 2 парогенератора, охлаждаются и конденсируются, а образовавшаяся вода поступает в сепаратор 3, где из нее выделяются вредные соединения. Примеси, удаленные из воды, отводятся в дренаж 4, а очищенная термальная вода насосом 5 вводится в испарительную зону парогенератора 6, где нагревается паром и исходной горячей геотермальной водой. Образовавшаяся пароводяная смесь из парогенератора 6 идет в подогреватели 7 и 8, где передает теплоту сетевой воде, охлаждается и затем сбрасывается в неработающую скважину 9. Обратная вода из теплотрассы насосом 10 прокачивается через подогреватели 8 и 7, где нагревается, и идет к потребителю 11 на отопление и горячее водоснабжение.

Геотермальные технологические установки по утилизации подземной энергии Волгоградской области. В некоторых локальных геотермальных зонах Волгоградской области в термобарических пластовых условиях недр до +100 °С нами рекомендуется проведение комплекса исследований потенциальных пилотных демонстрационных зон, в первую очередь — в Котовском районе, где на Котовском нефтяном месторождении наиболее благоприятные термобарические условия недр для предварительной технико-экономической оценки гибридного проекта [3]. Согласно научной информации по результатам многолетних исследований геотермического режима недр Нижнего Поволжья [2, 3] некоторые локальные зоны Волгоградского региона обладают достаточным тепловым потенциалом. Наиболее перспективные локальные зоны для утилизации геотермальной энергии по геологическим данным расположены в Котовском, Камышинском, Ольховском и некоторых других районах. В пределах деятельности территориального производственного предприятия «Котовнефтегаз» (ТПП «Котовнефтегаз») имеются значительное количество скважин, выполнивших свое нефтегазодобывающее назначение и в настоящее время ликвидированных, ожидающих ликвидации или законсервированных.

По технико-экономическим показателям для гибридного проекта утилизации геотермальной энергии наибольший интерес представляет отбор геотермальной энергии из нефтегазодобывающих скважин (в поверхностных действующих промысловых коммуникациях), а также ожидающих ликвидации или законсервированных скважин.

Пилотный проект по утилизации геотермальной энергии на нефтяном месторождении, в первую очередь, требует технико-экономической оценки

предлагаемого способа опытно-промышленной эксплуатации технологической системы. После этого по результатам оценки проекта можно решать вопросы технического восстановления и дальнейшего рационального вторичного использования категории ликвидированных скважин, с учетом приемлемых инвестиций, особенно из фонда большого числа ликвидированных и законсервированных разведочных или выбывших из нефтегазовой эксплуатации скважин. Очевидно, что потребуются комплексные исследования для научно обоснованных решений этой важной современной проблемы.

Первоочередные варианты пилотных гибридных проектов на Котовском нефтяном месторождении сводятся к экономичному отбору геотермального потенциала суточного объема пластового теплоносителя, равного 720 м^3 в сутки, без вложения больших инвестиций, и в начальный период могут быть сведены к двум технологическим схемам, приведенным на рис. 2, 3.

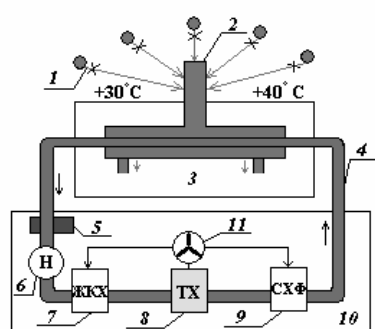


Рис. 2. Принципиальная схема гибридной технологической системы на базе отбора геотермальной энергии от действующих нефтегазопромысловых коммуникаций Котовского месторождения: 1 — нефтегазодобывающие скважины; 2 — сборный коллектор нефти и пластовой воды; 3 — основной байпасный подогреватель рабочего антикоррозийного теплоносителя замкнутого контура; 4 — рабочий контур антикоррозийного теплоносителя на основе Волгоградского бишофита (антифриза); 5 — дополнительный подогреватель на базе утилизации попутного газа от горящих факелов; 6 — циркуляционный насос замкнутого контура рабочего теплоносителя; 7 — коммунальные объекты жилых и производственных помещений пилотного полигона демонстрационной зоны; 8 — тепличные хозяйства; 9 — сельскохозяйственные фермы; 10 — условная территория полигона; 11 — ветроэлектростанция или газомоторгенератор на базе утилизации попутного газа

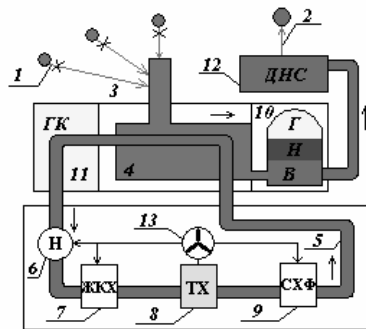


Рис. 3. Автономная принципиальная технологическая схема на базе выбывших из фонда нефтегазовой эксплуатации ликвидированных или законсервированных скважин для утилизации геотермальной энергии: 1 — геотермальные действующие скважины; 2 — поглощающая скважина отработанной пластовой воды; 3 — сборный коллектор геотермальной воды; 4 — основной подогреватель рабочего антикоррозийного теплоносителя замкнутого контура; 5 — замкнутый контур рабочего теплоносителя; 6 — циркуляционный насос замкнутого контура рабочего теплоносителя; 7 — комплекс помещений персонала и производственных зданий ЖКХ; 8 — тепличные хозяйства; 9 — сельскохозяйственные фермы; 10 — сепарационная установка (газ, нефть, пластовая вода); 11 — газовая котельная установка; 12 — дожимная насосная станция для подачи отработанной пластовой воды в поглощающую скважину (2); 13 — ветроэлектростанция или газомоторгенератор на базе газа сепарационной установки (10)

Первый вариант технологического процесса базируется на двухконтурной схеме прямого отбора теплоты от циркулирующей пластовой жидкости с

температурой 30...40 °С в действующих нефтепромысловых поверхностных коммуникациях непосредственно на головном сборном пункте сепарации добываемой продукции (см. рис. 2).

Второй вариант — автономный, предусматривает отдельное использование только выбывших из нефтепромысловой эксплуатации скважин для отбора геотермальной пластовой воды и обратной закачки отработанного пластового флюида в поглощающую скважину (см. рис. 3).

Таким образом, для реализации пилотных вариантов утилизации геотермальных пластовых вод рекомендуется провести комплексные гидродинамические, геотермические и термобарические исследования выбывших из нефтегазодобывающей эксплуатации скважин, а также провести анализ геотермического режима недр Волгоградского Поволжья. Результаты комплексных исследований геотермической характеристики недр всего региона дадут реальную возможность объективно оценить потенциальные ресурсы геотермальной энергии и выявить перспективные демонстрационные зоны для рациональных решений по энергосбережению.

Наиболее перспективным и первоочередным объектом в настоящее время, на наш взгляд, является Котовское нефтяное месторождение с фондом выбывших из нефтегазовой эксплуатации геотермальных скважин. Следует отметить, что решение социально-экономических проблем соответствует национальным и региональным программам повышения энергоэффективности на реальной геолого-технической базе. Одновременно необходимо гармонично совместить в интересах дела федеральные, региональные и корпоративные интересы, чтобы получить возможности повышения благосостояния населения и дополнительного роста числа рабочих мест муниципальных образований Волгоградской области.

Использование ветроэнергетических установок (ВЭУ) для утилизации геотермальных ресурсов Котовского месторождения. С целью повышения эффективности гибридных проектов первоочередных гибридных технологических систем в двух вариантах предлагается рациональное использование ветроэлектростанций (ВЭС) газомоторгенераторов на базе утилизации попутного газа Котовского нефтяного месторождения. Предлагается в этих проектах строительства гибридных технологических систем (см. рис. 2 и 3) использовать разработанные кафедрой энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ оригинальные конструкции автономных ВЭС мощностью от 30 до 100 кВт (рис. 4 и 5).

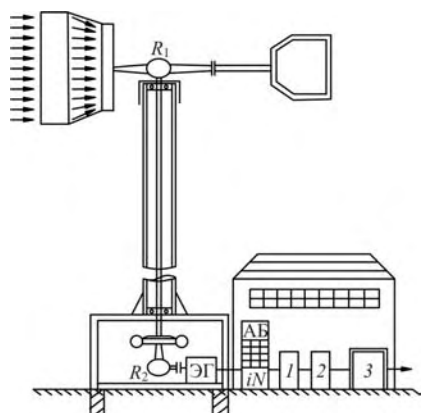


Рис. 4. Конфузорная многофункциональная ветроэнергетическая установка А-КМ-ВЭУ-30: 1 — мукомольная мельница; 2 — крупозернорушка; 3 — насосная станция водоснабжения; ЭГ — электродвигатель; АБ — аккумуляторная батарея; IN — инвертор для преобразования постоянного тока в переменный 380 и 220 вольт (50 Гц); R_1 и R_2 — механические редукторы

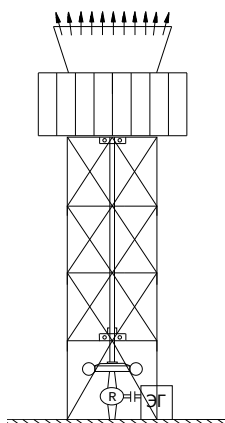


Рис. 5. Диффузорная многофункциональная ветроэнергетическая установка А-ДМ-ВЭУ-100: R — механический редуктор; ЭГ — электрогенератор

В предлагаемом пилотном проекте предусмотрено внедрение двух типов А-КМ-ВЭУ-30 «Турбина» и А-ДМ-ВЭУ-100 «Турбина», которые должны обеспечить эксплуатацию погружных электроцентробежных насосов в геотермальных скважинах, а также циркуляционных насосов в замкнутом контуре теплоносителя и дожимного насоса в поглощающую скважину (см. рис. 3). Вместе с тем в гибридном энергосберегающем проекте в дальнейшем будет рассмотрен вариант тандема, именно, вспомогательная функция газомоторгенератора, за счет утилизации попутного нефтяного газа Котовского месторождения.

Таким образом, в пилотном проекте первой локальной демонстрационной зоны Волгоградской области впервые предлагается рациональное использование альтернативных источников энергии: геотермальной энергии и энергии ветра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. М. : Машиностроение-1, 2006. 256 с.
2. Панасов Б.В., Ключин В.Н. Подземные ресурсы энергосбережения / Б.В. Панасов, В.Н. Ключин // Энергоэффективность Волгоградской области. 2007. № 2. С. 58—59.
3. Анисимов Л.А. Геотермальные районы Нижнего Поволжья // Труды ВолгоградНИПИ-нефть. 1973. № 19. С. 18—24.
4. Сухарев Г.М. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М. : Недра, 1979. 379 с.
5. Сухарев Г.М. Подземные воды — огромный источник геотермальной энергии. М. : Недра, 1968. 48 с.

© Фокин В.М., Панасов Б.В., Окунева Е.П., Самойлова О.Ю., 2008

Поступила в редакцию
в ноябре 2007 г.

УДК 621.3.01

*Л.Р. Куш, В.Н. Злобин, В.М. Фокин***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРПУСКУЛЯРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ
ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ
ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ**

Предложен метод корпускулярного легирования поверхностей деталей газовых горелочных устройств, в результате применения которого токсичные вещества, образуемые при сжигании топлива, окисляются на поверхности катализатора до безвредных соединений.

The authors suggest a method for corpuscular alloying of the parts' surfaces of gaseous burner devices; as a result toxic substances produced during fuel burning are oxidized on the catalyst's surface to harmless compounds.

При сжигании топлива продукты сгорания (дымовые газы) содержат вредные для здоровья людей, животных и растений вещества: сернистый ангидрид SO_2 , оксиды азота NO_x , продукты неполного сгорания CO и неиспользованный при горении кислород воздуха. Поэтому уже многие годы в Российской Федерации, как и в других развитых странах, существует законодательное ограничение по допустимой концентрации токсических компонентов (CO_2 , NO_x , SO_2) в продуктах сгорания. Если выбросы сернистого ангидрида определяются содержанием серы в исходном топливе, то количество NO_x и CO во многом зависит от конструкции горелки и режима работы.

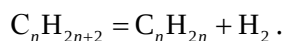
На сегодняшний день совершенствование горелок развивается по пути повышения качества подготовки смеси в горелке путем интенсификации процессов распыления, смешения и горения топлива. Однако все эти меры позволяют снизить количество образующихся окислов азота на 70...90 % при сжигании газа и мазута, на 55...60 % при сжигании угля.

Многообразные объекты применения газообразного и жидкого топлива: котельные агрегаты, технологические печи, коммунально-бытовые установки — имеют каждый свои специфические особенности, а следовательно, и требования к горелочным устройствам.

Различают множество конструкций горелочных устройств в зависимости от вида сжигаемого топлива, способа подачи воздуха на горение, локализации пламени и др. В котлах малой производительности, а также в небольших печах и сушилах применяют диффузионные горелки, отличающиеся простотой конструкции и высокой надежностью. Горелки с инжекцией воздуха газом низкого и среднего давления широко применяют в котлах различной производительности, для нагревательных и термических печей, обогрева различных предметов. Технические данные некоторых типов горелок различных производителей приведены в таблице.

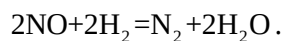
Наименование производителя	Тип горелки	Тепловая мощность, кВт	Содержание оксидов при 3 % O_2 , мг/м ³	
		min/max	NO_x газ	CO газ
ОАО «БикЗ»	ГМГ-1,5	0,35/1,76	145	50
	ГМ-2,5	0,58/2,9	210	
Гипрониигаз	ГТВ-10	116/	250	625
Сормово	СГ-70	20/70	80	50

Известно, что в процессе горения вредные примеси образуются в различных зонах сгорания. Например, углеводороды образуются вблизи относительно холодных зон в области горения, когда сгорающее топливо контактирует с относительно холодным воздухом в зоне сгорания. Вследствие этого наблюдается прекращение реакции горения. Помещение в эти зоны катализатора дегидрирования углеводородов дает возможность снизить их образование. Воздействие катализаторов определяется реакцией дегидрирования углеводородов, которое заключается в отщеплении водорода от молекулы углеводорода, что ускоряет процесс сгорания и уменьшает концентрацию несгоревших углеводородов.

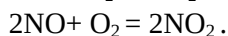
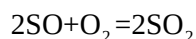
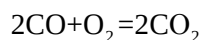


В результате отрыв одного или нескольких атомов водорода от молекулы алкана приводит к образованию углеводородных радикалов — алкилов. Например, метан расщепляется на метилен и водород.

Водород, образованный при этом в зонах, богатых топливом, может восстанавливать оксиды азота, серы и углерода на катализаторе по реакции:



На катализаторах окисления происходит доокисление оксидов:



В этих целях в работе предлагается использовать корпускулярное легирование, как один из наиболее перспективных способов модификации поверхности. Для этого на некоторые детали наносятся каталитические и жаропрочные покрытия. Теоретически для каталитического воздействия достаточно слой катализатора глубиной в один атом.

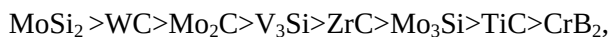
Таким образом, вредные вещества, которые содержатся в топочных газах, окисляются на поверхности катализатора до безвредных соединений — окислов, а топливо дожигается до углекислого газа, водяных паров и азота.

В качестве катализаторов могут использоваться благородные и неблагородные металлы.

За рубежом и в странах СНГ нашли широкое применение катализаторы с содержанием благородных металлов, таких как платина и палладий. Однако широкое использование таких катализаторов в процессах нейтрализации токсичных газов сдерживается дефицитностью и высокой стоимостью благородных металлов.

Катализаторы из неблагородных металлов по воздействию на углеводороды превышают по эффективности платину, в этих целях используются медь, кобальт, молибден, хром, церий, вольфрам и др.

Снижение эффективности реакции дегидрирования подчиняется следующей последовательности:



где $MoSi_2$ — дисилицид молибдена; WC — карбид вольфрама; Mo_2C — карбид молибдена; V_3Si — силицид ванадия; ZrC — карбид циркония; Mo_3Si — силицид молибдена; TiC — карбид титана; CrB_2 — борид хрома.

Кроме высокой каталитической активности боридов хрома отмечается использование карбида и силицида хрома в качестве катализаторов.

Корпускулярное легирование представляет собой процесс, в котором посредством пучка высокоскоростных ионов практически любой элемент может быть внедрен в поверхность твердого тела, помещенного в вакуумную камеру, независимо от предела растворимости легирующих ионов в обрабатываемом материале.

Ионы различных элементов ускоряются в вакууме электрическим полем до высоких потенциальных энергий от 10 до 40 кэВ (килоэлектронВольт) и направляются на обрабатываемую деталь. Внедряясь в поверхность, легирующие ионы тормозятся серией столкновений с атомами вещества, создавая на своем пути дефекты, дислокации и кластеры из внедренных атомов, которые проникают на глубину от 0,01 до 1 мкм.

Устройство для осуществления корпускулярного легирования состоит из вакуумной рабочей камеры, в которой установлен источник ионов, управляемый блоком электропитания, и рабочий стол с обрабатываемыми горелками. К камере подсоединены вакуумные насосы, система охлаждения источника ионов и стенок рабочей камеры, а также система подачи плазмообразующего инертного газа — азота или аргона.

В основу работы источника ионов положен принцип электрического разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях в парах легирующего элемента и плазмообразующего газа. Заменяя в источнике ионов материал мишени (центральную сменную часть), получают ионы необходимого легирующего элемента.

Интерес к этому способу вызван рядом положительных особенностей, которыми он обладает по сравнению с традиционными способами нанесения покрытий (диффузией, сплавлением, легированием из расплава, легированием в процессе эпитаксии).

Преимущества этого способа, в основном связанного с нетепловым характером легирования, состоят в следующем:

химические и физические свойства поверхности могут изменяться в широком диапазоне без связи с объемными свойствами образца, такими, как предел растворимости;

процесс, в противоположность обычному легированию, применим к самым разным материалам (металлам, керамике);

отсутствуют поверхности раздела между внедренным слоем и материалом основы, которые часто являются причиной коррозии за счет контактной разности потенциалов или источником ухудшения механических свойств за счет недостаточных адгезионных свойств между слоями;

расходуется очень малое количество добавки, поэтому, при необходимости, можно использовать дорогие и редкие элементы без значительного повышения стоимости процесса (для катализаторов, наносимых корпускулярным легированием, на газомазутные горелки достаточно нанести 0,02 % платины от веса внутреннего экрана горелки для получения эффективного дожигания топлива и вредных примесей);

поверхность после имплантации может повышать свою каталитическую активность за счет образования более развитой удельной поверхности из-за ее аморфизации при ионной бомбардировке;

процесс технологичен, хорошо контролируется и воспроизводится.

© Куц Л.Р., Злобин В.Н., Фокин В.М., 2008

Поступила в редакцию 14.12.07

УДК 636.24:697.2:628.336.6

С. М. Биркин

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ СИСТЕМ ОБОГРЕВА БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Приведено описание способа определения коэффициента теплопередачи систем обогрева биореакторов животноводческих комплексов при расположении змеевика труб на поверхности стенки или в толще конструкции. Сформулированы принципы подбора диаметра и шага труб в зависимости от требуемого среднего коэффициента теплопередачи системы обогрева.

The paper presents a method for the determination of the heat-transfer coefficient of bioreactor's heating systems at farming complexes with the coil pipe located on wall's surface or in the bulk of the structure. The principles of the diameter and pipe pitch dimensioning dependent on the demanded average heat-transfer coefficient of the heating system have been formulated.

Биогазовые установки (БГУ) на животноводческих комплексах являются одним из основных потребителей тепловой энергии. Процесс производства биогаза по технологии метанового сбраживания требует до 35 % энергии от производительности установки направлять на собственные нужды. Основным потребителем энергии в конструкции БГУ является биореактор. Одна из основных статей расхода тепла при работе реактора — теплопотери в окружающую среду через конструкцию стенки. Большое влияние на величину этих теплопотерь оказывает количество реакторов и их форма. На практике наибольшее распространение получили биореакторы цилиндрической формы. На сегодняшний день отечественной промышленностью выпускаются биореакторы небольшой мощности, объединяемые по модульной схеме. Для стабильности работы всей установки применяются как минимум два биореактора. Применение БГУ на основе большого количества модулей приводит к увеличению затрат тепла на собственные нужды установки, усложнению процесса загрузки и выгрузки, общему удорожанию всей установки и эксплуатации. Такие БГУ можно применять на небольших фермерских хозяйствах и животноводческих комплексах малой производительности. Биореакторы больших объемов изготавливают значительного диаметра и сравнительно небольшой высоты. Применение биореакторов в форме правильных цилиндров (диаметр равен высоте) целесообразно только в небольших животноводческих комплексах, биореакторы крупных комплексов должны быть, как правило, больших диаметров и относительно небольшой высоты. Это связано с тем, что основные теплопотери проходят через цилиндрические стенки биореактора, удельные теплопотери через верхнее и нижнее основания будут меньше.

Для изготовления реакторов могут применяться различные строительные материалы: кирпич, бетон, металл и т.д. Биогазовые установки заводской готовности изготавливаются из стали и покрываются слоем тепловой изоляции. Толщина несущих конструкций составляет, как правило, 10...14 мм. Толщина изоляции изменяется в зависимости от климатических условий и свойств материала. Для подсчета теплопотерь через конструкции реактора следует использовать уравнение теплопередачи для многослойной цилиндрической

стенки. Однако, в связи с тем что диаметр реактора значительно превышает толщину стенки, при практическом расчете целесообразно применять уравнение для плоской стенки [1]:

$$q_l = k \pi d_x (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) = \frac{\pi d_x (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})}{1/\alpha_{\text{вн}} + \delta/\lambda + 1/\alpha_{\text{нар}}}, \quad (1)$$

где q_l — удельные теплотери биореактора на 1 м высоты, Вт/м; k — коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C); $t_{\text{вн}}$ — температура в реакторе, 35...55 °C; $t_{\text{нар}}$ — расчетная температура окружающей среды, относительно которой ведется расчет, °C, принимается равной расчетной температуре наиболее холодной пятидневки по [3]; d_x — диаметр исследуемого реактора, м; $\alpha_{\text{вн}}$, $\alpha_{\text{нар}}$ — коэффициент теплоотдачи соответственно на внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции биореактора, Вт/(м²·°C); δ — толщина ограждающей конструкции, м; λ — коэффициент теплопроводности ограждающей конструкции, Вт/(м · °C).

Погрешность расчета в этом случае не превышает 4 % [1].

На работу биореактора значительное влияние оказывает конструкция теплообменника системы обогрева, поддерживающей заданный температурный режим. Для обогрева биореакторов в основном применяются змеевики из труб, располагаемые внутри цилиндров либо по стенкам, либо внутри объема. Расположение змеевиков по наружной поверхности зачастую не рассматривается в связи с предположительной неэффективностью таких систем (для подогрева используется только половина поверхности труб, коэффициент теплопередачи системы значительно ниже [3]). Для реакторов, возводимых непосредственно на объекте из бетона или других массивных материалов, возможно размещение труб внутри стен, при этом глубина закладки труб и подбор их диаметра остается задачей дополнительных исследований.

При использовании стальных труб внутри реактора процесс теплопередачи определяется, в основном, величиной коэффициента теплоотдачи субстрата, при использовании же труб из других материалов и расположении их в конструкции стен реактора коэффициент теплопередачи снижается, и особое влияние оказывает уже конструкция разделительной стенки. По данным [6] коэффициент теплоотдачи субстрата $\alpha_{\text{субстр.}} = 200...400$ Вт/(м²·°C). При влажности 91...93 % достигается оптимальное соотношение объема реактора, затрат тепла на собственные нужды установки и газообразования. В этом случае $\alpha_{\text{субстр.}} = 240$ Вт/(м²·°C). При известном коэффициенте теплопередачи системы обогрева расчет сводится к определению площади поверхности нагрева (или длины труб). Кроме того, следует учитывать размещение теплообменника и геометрические параметры биореактора. Использование для обогрева змеевиков из металлополимерных или полипропиленовых труб также имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при подборе параметров и расчете систем обогрева. Расчет системы обогрева сводится к решению уравнения:

$$q_l h = k_{\text{тепл}} F \Delta t, \quad (2)$$

где h — высота реактора, м; $k_{\text{тепл}}$ — коэффициент теплопередачи теплообменника, Вт/(м²·°C); F — площадь поверхности контакта, м²; Δt — разность температур теплоносителя и субстрата, °C.

Для решения уравнения (2) необходимо знать коэффициент теплопередачи, который определяется по уравнениям цилиндрической и плоской стенки. Однако данные уравнения не учитывают различные варианты размещения теплообменников. Для определения коэффициента теплопередачи в зависимости от размещения змеевика труб, рассмотрим схему (рис. 1).

Рассматривая систему обогрева в виде змеевика труб, для удобства обработки целесообразно принять ряд допущений, которые впоследствии сводятся к общему случаю (от частного к общему). Для построения графика и вывода зависимости тепловой поток разбит по направлениям.

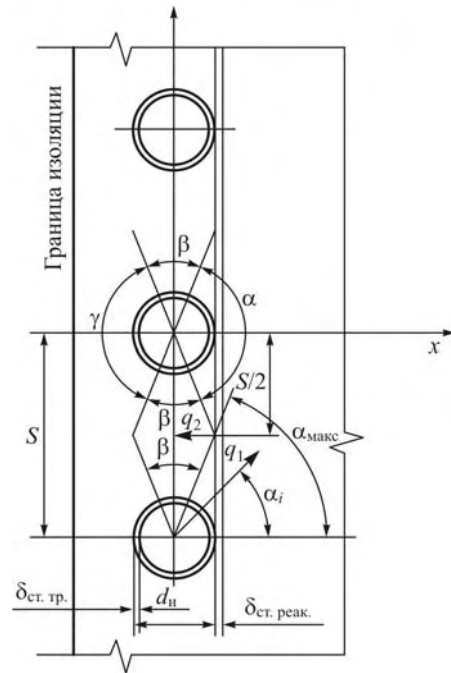


Рис. 1. Геометрическая схема распределения тепловых потоков змеевика системы обогрева, расположенного снаружи реактора

Тепловой поток изменяется по направлениям. Ось Y разделяет распространение тепловых потоков, направленных на нагрев субстрата и потери в окружающую среду. В области угла α тепло передается субстрату. В области угла β тепловой поток q_1 препятствует распространению тепла от субстрата в окружающую среду q_2 и оказывает дополнительное влияние на потоки тепла в окружающую среду и на нагрев субстрата. В области угла γ тепловой поток направлен в окружающую среду. Величина теплового потока определяется коэффициентом теплопередачи, который изменяется от максимальной величины при $\alpha_i = 0^\circ$ до минимальной — при $\alpha_i = \alpha_{\text{макс}}$.

Поверхность реактора покрывается слоем изоляции. В идеальном случае труба плотно прижата к поверхности стенки реактора, а межтрубное пространство заполнено изоляцией. Коэффициент теплопередачи в точке контакта трубы и стенки реактора будет зависеть от прижимной силы и контактной пары (материалов), при размещении в толще конструкций это не учитывается.

Коэффициент теплопередачи для теплового потока, направленного на нагрев субстрата, будет определяться по следующей зависимости:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{ТН}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{изол}}}{\lambda_{\text{изол}}} + \frac{\delta_{\text{р}}}{\lambda_{\text{р}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{суб}}}}, \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{ТН}}$ — коэффициент теплоотдачи от теплоносителя внутренней поверхности змеевика труб, зависит от режима движения жидкости. Для теплоносителя — горячей воды — $\alpha_{\text{ТН}} = 4000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $\delta_{\text{ст}}$, $\delta_{\text{изол}}$ и $\delta_{\text{р}}$ — соответственно толщина стенки трубы теплообменника, толщина изоляции на рассматриваемом направлении и толщина стенки реактора, м; $\lambda_{\text{ст}}$, $\lambda_{\text{изол}}$ и $\lambda_{\text{р}}$ — соответственно коэффициенты теплопередачи материала труб, выбранного материала изоляции и материала стенки реактора, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; $\alpha_{\text{субстр}}$ — коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки реактора субстрату. Зависит от влажности жидкости, однородности среды, подвижности (скорости перемешивания), для влажности 92 % и ламинарном движении жидкости (скорости перемешивания до 2 м/с) $\alpha_{\text{субстр}} = 240 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [3].

В связи с тем, что величины $\alpha_{\text{ТН}}$, $\lambda_{\text{ст}}$, $\delta_{\text{ст}}$, $\lambda_{\text{изол}}$, $\lambda_{\text{р}}$, $\alpha_{\text{суб}}$ не изменяются по направлению, то зависимость (3) можно записать в виде:

$$k(\vartheta) = k(\delta_{\text{изол}}, \delta_{\text{р}}). \quad (4)$$

Величины $\delta_{\text{р}}$ и $\delta_{\text{изол}}$ изменяются по направлению по зависимости:

$$\delta_{\text{р}}(\alpha) = \frac{\delta_{\text{р}}}{\cos \alpha_i}, \quad (5)$$

$$\delta_{\text{изол}}(\alpha) = \frac{d_{\text{н}}}{2 \cos \alpha_i} - \frac{d_{\text{н}}}{2}, \quad (6)$$

где α — угол направления распространения теплового потока; $d_{\text{н}}$ — наружный диаметр труб системы обогрева, м.

При замене постоянных слагаемых величиной

$$C = \frac{1}{\alpha_{\text{ТН}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{суб}}}, \quad (7)$$

уравнение коэффициента теплопередачи будет выглядеть следующим образом:

$$k = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{р}}}{\lambda_{\text{р}} \cos \alpha} + \frac{\frac{d_{\text{н}}}{2 \cos \alpha} - \frac{d_{\text{н}}}{2}}{\lambda_{\text{изол}}} + C}. \quad (8)$$

Для металлополимерных труб величина C будет равна:

$$C = \frac{1}{\alpha_{\text{ТН}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{суб}}} \approx 0,0094 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Исследуя уравнение (8), можно построить график зависимости коэффициента теплопередачи от угла α . На рис. 2 представлены графики изменения коэффициента теплопередачи в зависимости от угла α для металлопластиковых труб и стального реактора.

Подставляя значение диаметра, можно получить зависимости для различных диаметров труб, например, для $d_n = 14$ мм:

$$k = \frac{9,31 \cdot \cos \alpha}{2,177 - \cos \alpha}. \quad (9)$$

Из графиков видно, что при значении угла α более 75° значение коэффициента теплопередачи очень близко к нулю независимо от диаметров труб.

Величина угла $\alpha_{\text{макс}}$, определяющего границы зоны теплового потока, направленного на нагрев субстрата, зависит от шага труб и может быть представлена следующим уравнением:

$$\alpha_{\text{макс}}(S) = \arctg \frac{d_n}{S}, \quad (10)$$

где S — шаг труб системы обогрева, м.

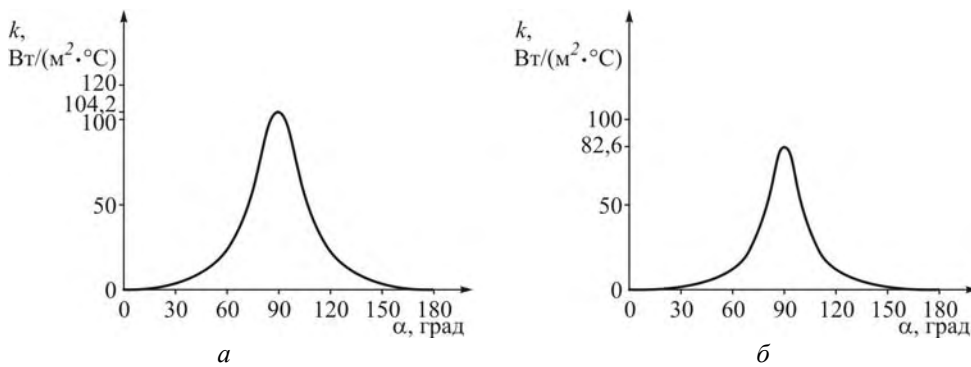


Рис. 2. Изменение коэффициента теплопередачи и теплового потока в зависимости от направления угла α для металлополимерной трубы диаметром, мм: а — 14; б — 32

Определение расчетного (среднего) коэффициента теплопередачи на участке, равном шагу труб, для таких теплообменников сводится к решению определенного интеграла (11) и построению зависимостей коэффициента теплопередачи от шага труб (рис. 3):

$$\int_{-S/2}^{+S/2} k(d_n, S) dS. \quad (11)$$

Средний коэффициент теплопередачи таких систем на участке S будет равен:

$$k_{\text{сред}} = \frac{\int_{-S/2}^{+S/2} k(d_n, S) dS}{S}. \quad (12)$$

Из графика можно установить, что для диаметра труб 14 мм средний коэффициент теплопередачи меньше при равном шаге расположения труб, чем для диаметра 32 мм. Добиться равных значений среднего коэффициента теплопередачи можно изменяя шаг труб змеевика. На величину теплового потока существенное влияние оказывает разность температур теплоносителя и субстрата. При применении теплообменника с более высоким коэффициентом теплопередачи разность температур снижается в связи с ограничением температуры на поверхности стенки теплообмена.

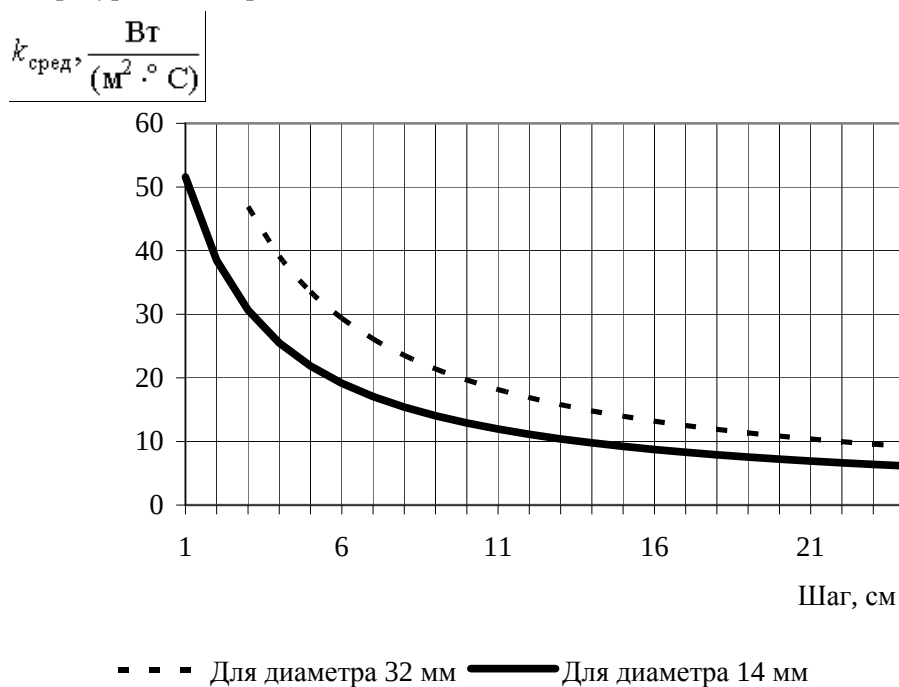


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопередачи от диаметра и шага труб

Требуемая величина коэффициента теплопередачи и соответственно параметры теплообменника определяются после нахождения требуемой мощности системы обогрева, определяемой из расчета допустимых затрат тепла на собственные нужды.

Выводы. Использование зависимости для определения среднего коэффициента теплопередачи позволяет подбирать требуемую систему обогрева биореактора при различных схемах размещения трубчатого теплообменника, а также устанавливать соответствующие значения шага и диаметра труб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. М. : Энергия, 1973. 320 с.
2. Мариненко Е.Е. Биогаз и его рациональное использование в тепловых установках : дис. ...канд. техн. наук. Л., 1991. 180 с.
3. Куталадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление : справочное пособие. М. : Энергоатомиздат, 1990. 367 с.

© Биркин С.М., 2008

Поступила в редакцию в декабре 2007 г

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.345.1

Т. М. Мягкая, Л. И. Гридасова, Д. А. Ерохина

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПОСЛЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Приведены схема оборотного водоснабжения кремнепреобразовательной подстанции металлургического завода, концентрация загрязняющих веществ в воде после охлаждения теплообменников, а также результаты исследований стабильности воды экспериментальным и аналитическим способами.

The article presents a scheme for recycling water supply at silicon-transforming substation of metallurgical plant, the concentration of water contaminants after cooling heat-exchange equipment, as well as the results of the experimental and analytical investigations of water stability.

В производственно-технологическом комплексе завода имеется система оборотного водоснабжения (СОВ), которая является одним из важнейших элементов в технологическом процессе. От качества и эффективности работы зависят производительность теплообменного оборудования выпрямительных агрегатов кремнепреобразовательной подстанции (КПП), качество и себестоимость вырабатываемой продукции, удельный расход сырья и электроэнергии.

В процессе эксплуатации СОВ нередко возникают большие затруднения, обусловленные образованием в теплообменных аппаратах и трубопроводах различных отложений и обрастаний, которые снижают их пропускную способность и препятствуют нормальной работе. Эти отложения и обрастания образуются вследствие физико-химических и биологических процессов, происходящих в СОВ. Большой ущерб может наносить также процесс коррозии теплообменного оборудования и трубопроводов.

Вопросы обработки производственной воды для предотвращения солевых отложений, биологических обрастаний и коррозии являются весьма актуальными на современном этапе развития промышленного производства.

Нами были проведены исследования качества воды из СОВ и после охлаждения теплообменного оборудования КПП завода. Схема оборотного водоснабжения КПП представлена на рис. 1. Для охлаждения технологического оборудования (кремнепреобразователей) используется охлажденная дистиллированная вода. После нагревания она подается в пластинчатые теплообменники 5 для охлаждения, а затем поступает в емкость для дистиллиро-

ванной воды 8. Охлажденная и отстоянная вода из пруда-накопителя 1 насосами, установленными на насосной станции оборотной воды 3, подается в теплообменники, где она нагревается, отнимая тепло от нагретой дистиллированной воды 10. Вода после охлаждения теплообменников через самотечную водоотводящую сеть 6 поступает в пруд-накопитель 1 СОВ завода, где происходит ее охлаждение. Затем оборотная вода снова подается в теплообменные аппараты КПП, и цикл повторяется.

Анализ качества воды из СОВ и после охлаждения теплообменников проводился согласно действующим ГОСТам по следующим показателям: сухой остаток; pH; жесткость (общая); сульфаты; хлориды; железо (общее); щелочность.

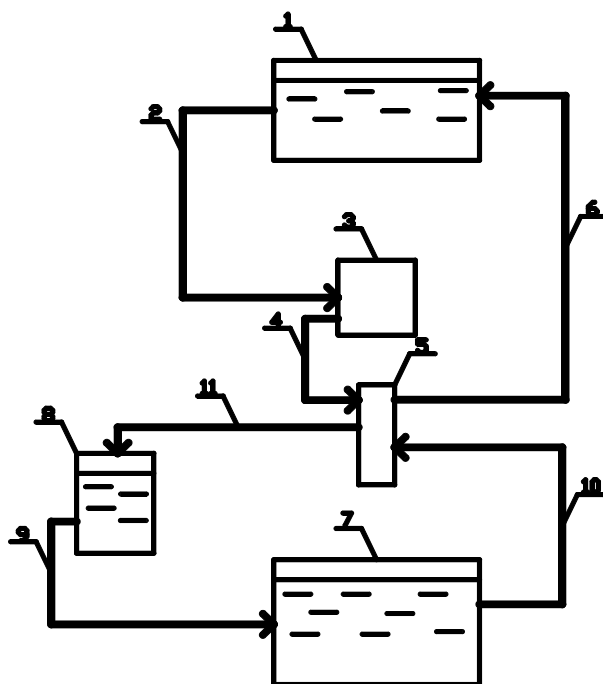


Рис. 1. Схема оборотного водоснабжения кремнепреобразовательной подстанции: 1 — пруд-накопитель; 2 — всасывающий трубопровод; 3 — насосная станция оборотной воды; 4 — напорный трубопровод; 5 — пластинчатый теплообменник; 6 — самотечная водоотводящая сеть; 7 — технологическое оборудование (кремнепреобразователь); 8 — емкость для дистиллированной воды; 9 — подача дистиллированной воды на технологическое оборудование; 10 — отвод нагретой дистиллированной воды в пластинчатый теплообменник; 11 — поступление охлажденной дистиллированной воды в емкость

Исследования показали, что вода после охлаждения теплообменников является наиболее загрязненной по сравнению с исходной водой из СОВ.

Концентрация загрязняющих веществ в воде после охлаждения теплообменников колебалась: сухой остаток — 471,73...577,16 мг/дм³; pH — 7,83...8,14; жесткость (общая) — 4,10...4,70 мг-экв/дм³; сульфаты — 80,13...95,06 мг/дм³; хлориды — 91,83...121,16 мг/дм³; железо (общее) — 0,41...0,84 мг/дм³; щелочность — 2,50...2,62 мг-экв/дм³. Увеличение концентраций некоторых загрязнений по средним показателям составило: сухой

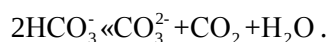
остаток — 1,2...1,3 раза; железо (общее) — 1,15...1,25 раза. В это же время наблюдалось снижение pH в 1,2...1,25 раза. Температура исходной воды из СОВ находилась в пределах 28...32 °С, после охлаждения теплообменников — 35...39 °С.

Для предотвращения негативных процессов, влияющих на работу СОВ в целом, требуется специальная обработка воды, выбор методов которой определяется такими показателями качества воды, как коррозионность и агрессивность.

Понятие «коррозионность» относится к коррозионным свойствам воды, определяющим отношение к металлу технологического оборудования и трубопроводов. Различают абсолютную и относительную коррозионность воды. Абсолютная коррозионность определяется химическим составом и температурой воды, а относительная зависит от условий нахождения металла в СОВ и режима ее работы. При этом учитывается, что ионы железа, сульфаты и хлориды усиливают процесс коррозии. Коррозионная агрессивность по количеству прокорродировавшего металла классифицируется по группам: невысокая $< 0,15 \text{ мг/см}^2$; средняя $0,15...0,25 \text{ мг/см}^2$; высокая $> 0,25 \text{ мг/см}^2$.

Понятие «агрессивность» воды связано с содержанием в ней соединений угольной кислоты, присутствующих в форме недиссоциированных молекул H_2CO_3 (незначительные концентрации), молекулярно растворенного газа CO_2 , бикарбонатных ионов HCO_3^- и карбонатных ионов CO_3^{2-} (при $\text{pH} > 8,4$). Согласно п. 10.5 [1, с. 245] соотношение между соединениями угольной кислоты в воде при данной температуре зависит от pH. При этом необходимо считать, что концентрация свободной углекислоты, представляющей собой сумму H_2CO_3 и CO_2 , соответствует концентрации CO_2 .

Между различными формами угольной кислоты в воде имеется динамическое равновесие:



Кислота, необходимая для поддержания в воде бикарбонатов HCO_3^- , называется равновесной свободной углекислотой. Вода, содержащая свободную углекислоту в концентрации, превышающей равновесную, называется агрессивной, а в концентрации, совпадающей с равновесной — стабильной.

Стабильность — свойство воды не выделять и не растворять осадок карбоната кальция CaCO_3 . Наличие соединений CO_2 , O_2 или H_2S , низкое значение pH, перенасыщенность карбонатом кальция или гидроокисью магния, повышенное содержание хлоридов или сульфатов приводит к нарушению стабильности воды. Стабильность воды определяется по показателю стабильности.

В приводимых исследованиях показатель стабильности определялся согласно ГОСТ 3318-86 экспериментальным и аналитическим способами.

Экспериментальное определение стабильности воды сводилось к тому, что испытуемую воду из СОВ и после охлаждения теплообменников встряхивали вместе с введенным в нее карбонатом кальция в течение 1 часа на специальной машине для встряхивания (шутель-машине). При этом до и после встряхивания определяли щелочность воды и pH.

Сущность этих исследований заключается в том, что если в воде имеется избыток свободной углекислоты (признак коррозионности), то такая вода будет переводить часть соприкасающегося с ней карбоната кальция в бикарбо-

нат кальция. Это приводит к повышению щелочности и pH воды. Если же вода представляет собой перенасыщенный раствор карбоната кальция, то последний выделяется на зернах карбоната кальция, введенного в воду перед ее встряхиванием на шутель-машине. При этом щелочность воды и pH понизится.

Показатель стабильности J определялся:

по изменению щелочности воды:

$$J = \frac{\text{Щ}_0}{\text{Щ}_0'}, \quad (1)$$

где Щ_0 и $\text{Щ}_0'$ — величина щелочности исследуемой воды соответственно до ее встряхивания и после встряхивания с карбонатом кальция, мг-экв/дм³;

по изменению pH воды:

$$J' = \frac{pH_{\text{иссл}}}{pH'_{\text{иссл}}}, \quad (2)$$

где $pH_{\text{иссл}}$ и $pH'_{\text{иссл}}$ — величина pH исследуемой воды соответственно до встряхивания и после встряхивания с карбонатом кальция.

Если значение J , подсчитанное по формулам (1) и (2), равно 1, то вода считается стабильной. При J или $J' > 1$ вода нестабильна и способна к отложению карбоната кальция, при J или $J' < 1$ вода также нестабильна и обладает коррозионной способностью.

Результаты экспериментального определения показателей стабильности воды приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Определение показателей стабильности воды экспериментальным способом

Оборотная вода до охлаждения теплообменников						Вода после охлаждения теплообменников					
До встряхивания		После встряхивания		Показатель стабильности		До встряхивания		После встряхивания		Показатель стабильности	
Щелочность, мг-экв/дм ³	pH	Щелочность, мг-экв/дм ³	pH	По изменению щелочности	По изменению pH воды	Щелочность, мг-экв/дм ³	pH	Щелочность, мг-экв/дм ³	pH	По изменению щелочности	По изменению pH воды
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2,62	7,94	2,62	8,27	1,0	0,96	2,61	7,83	2,61	8,16	1,0	0,94
2,54	8,01	2,54	8,21	1,0	0,97	2,53	7,88	2,53	8,29	1,0	0,95
2,50	8,22	2,50	8,38	1,0	0,98	2,50	8,04	2,50	8,37	1,0	0,96
2,60	8,16	2,60	8,26	1,0	0,98	2,50	8,01	2,50	8,28	1,0	0,97

Аналитическим способом стабильность воды определялась с помощью индекса стабильности J по формуле

$$J = pH - pH_s, \quad (3)$$

где pH — pH исследуемой воды; pH_s — pH равновесного насыщения этой воды карбонатом кальция.

Согласно [2] pH_s определялась по формуле

$$pH_s = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(\text{щел}) + f_4(P), \quad (4)$$

где $f_1(t)$ — функция температуры воды; $f_2(Ca^{2+})$ — функция концентрации в воде катионов кальция; $f_3(\text{щел})$ — функция щелочности воды; $f_4(P)$ — функция общего солесодержания.

Величины $f_1(t)$, $f_2(Ca^{2+})$, $f_3(\text{щел})$ и $f_4(P)$ определялись по номограмме [2].

Если значение индекса стабильности J близко к нулю, то вода считается стабильной. При $J < 0$ вода коррозионна, при $J > 0$ вода способна отлагать карбонат кальция на стенках труб и теплообменников, соприкасающихся с водой.

Т а б л и ц а 2

Определение индекса стабильности воды аналитическим способом

Оборотная вода до охлаждения теплообменников						Вода после охлаждения теплообменников					
Температура, град	pH	Кальций, мг/дм ³	Щелочность общая, мг-экв/дм ³	Сухой остаток, мг/дм ³	Индекс стабильности J	Температура, град	pH	Кальций, мг/дм ³	Щелочность общая, мг-экв/дм ³	Сухой остаток, мг/дм ³	Индекс стабильности J
32	7,94	54,70	2,62	475,00	0,4	39	7,83	54,70	2,62	464,00	0,68
28	8,01	49,64	2,50	471,73	0,32	35	7,88	49,64	2,50	460,00	0,58
31	8,22	46,60	2,50	469,00	0,46	38	8,04	46,60	2,50	458,00	0,62
29	8,16	46,60	2,60	468,00	0,37	35	8,14	46,60	2,50	452,00	0,59

Выводы. 1. Выполненные исследования показали, что вода после охлаждения теплообменников кремнепреобразовательной подстанции является более загрязненной по сравнению с водой из СОВ. 2. Показатель стабильности воды, полученный экспериментальным способом, составил 0,96...1,0 для воды из СОВ и 0,94...1,0 — после охлаждения теплообменников (табл. 1). В этом случае вода считается относительно стабильной. 3. При аналитическом определении стабильности воды с учетом температурного фактора индекс стабильности равен 0,32...0,46 для воды из СОВ и 0,58...0,68 — после охлаждения теплообменников (табл. 2). Так как индекс стабильности $J > 0$, вода является нестабильной и способна отлагать карбонат кальция на стенках труб и теплообменников. 4. Для предотвращения карбонатных отложений могут применяться химические методы обработки воды, к которым относятся подкисление, рекарбонизация, фосфатирование, комбинированная фосфатно-кислотная обработка, умягчение воды: реагентное или посредством ионного обмена.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : в 3-х т. Т. 2. Очистка и кондионирование природных вод / общ. ред. М. Г. Журбы ; ВоГТУ. Вологда ; М., 2001.
2. Апелцин И.Э. Подготовка воды для заводнения нефтяных пластов. М. : Гостоптехиздат, 1960.

© Мякая Т.М., Гридасова Л.И., Ерохина Д.А., 2008

Поступила в редакцию в ноябре 2007 г.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 504.5:628.4.047(470.45)

А. В. Добряков

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЕЕ ФОРМИРОВАНИЕ

Проведен анализ радиационной обстановки на территории Волгоградской области, рассмотрены основные источники радиационной опасности для населения, и дана краткая характеристика процессов формирования радиационной обстановки на территории области с учетом атмосферных выпадений, транспортно-терминального и водного переносов.

The analysis of the Radiation Environment in the territory of the Volgograd region has been carried out, the main sources of radiation hazard for population have been considered, brief characteristics of the processes of radiation environment formation in the territory of the region is presented taking into account atmospheric precipitations, transportation-and-terminal and water transfers.

В результате реализации программ использования атомной энергии в военных и народно-хозяйственных целях существенно возросло воздействие источников радиационного загрязнения на население и окружающую среду, увеличилась вероятность возникновения аварийных ситуаций на радиационно-опасных объектах (РОО) и ухудшения экологической обстановки вблизи них вследствие плановых сбросов и выбросов радиоактивных веществ (РВ), а также нештатных ситуаций.

Несмотря на отсутствие объектов ядерно-топливного цикла (ядерные реакторы, уранодобывающие и обогатительные производства и т.п.) на территории Волгоградской области, такие и подобные им РОО находятся в соседних регионах, гидрологически, атмосферно и транспортно связанных с объектами окружающей среды и жизнедеятельности человека в Волгоградской области:

объекты атомной энергетики (Балаковская, Нововоронежская и Ростовская АЭС);

подземные хранилища в Астраханской области и в Прикамье (п. Оса), созданные ядерными взрывами и содержащие долгоживущие продукты деления.

Кроме того, на территории области находятся 55 объектов, занятых обращением с радиоактивными веществами, из них 12 — использующих радионуклидные источники излучения в открытом виде.

Общее количество учтенных радионуклидных источников превышает 4000 единиц.

Суммарная активность захороненных в спецмогильнике радиоактивных отходов более 9000 Кюри.

Существенное радиационное воздействие на население оказывают природные радионуклиды, накапливающиеся в окружающей среде в результате производственной деятельности человека.

Так, на территории области (Фроловский, Котовский, Жирновский районы) действуют объекты нефтедобычи, переработки и складирования отходов своего производства. В силу характера производства эти объекты являются непосредственными источниками загрязнения окружающей среды естественными радионуклидами.

Наличие между подобными объектами потенциальных и реальных технологических связей типа «поставщик — получатель» объективно подтверждает вероятность присутствия радиационно-опасных грузов (изделия, материалы, отходы) в транспортных грузопотоках на территории России и Волгоградской области в частности.

Кроме того, существует большая вероятность попадания отходов в открытые водоемы и водозаборы, а также проникновения радиоактивных частиц в грунтовые воды и артезианские бассейны, откуда производится водозабор для обеспечения питьевой водой населения.

Характер формирования радиационной обстановки на территории Волгоградской области с учетом атмосферных выпадений. Атмосферные выпадения радионуклидов на территории области обусловлены сегодня пятью основными факторами:

1) ветровым переносом радона и продуктов его распада, которые повсеместно выделяются из почвы независимо от деятельности людей;

2) ветровым переносом естественных радионуклидов (ЕРН), постоянными источниками которых являются производства местных нефтедобывающих и перерабатывающих предприятий. В состав этих выпадений входят природные: уран, радий, торий с продуктами их распада и калий, обладающие радиоактивностью;

3) выбросами местных тепловых электростанций, сжигающих природное топливо (уголь, сланец), также содержащее ЕРН;

4) вероятностными выбросами соседствующих с территорией области атомных электростанций, в состав выбросов которых входят продукты коррозии (изотопы кобальта, марганца, циркония, ниобия, хрома), йод 131, а также радиоактивные благородные газы, такие, как изотопы аргона, ксенона и криптона;

5) стратосферными выпадениями продуктов ядерных испытаний в атмосфере и некоторыми космогенными радионуклидами (7-Be, 14-C, 3-H), образующимися в атмосфере под действием космических лучей [2].

Анализ изложенной выше информации позволяет дать следующую характеристику процессам формирования радиационной обстановки на территории Волгоградской области, обусловленным факторами атмосферных выпадений радионуклидов:

1) радиационная обстановка на территории области формируется как вследствие глобальных процессов формирования радиоактивности внешней среды, путем трансграничного переноса загрязняющих воздушных масс (внешние факторы), так и вследствие производственной деятельности мест-

ных предприятий, использующих радиационные технологии или сырье, содержащее естественные радионуклиды (внутренние факторы);

2) радиационное загрязнение окружающей среды происходит в основном путем переноса и рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере и последующих выпадений радионуклидов на местности в районах хозяйственной деятельности человека. Радиационные выпадения приводят к устойчивому повышению уровня естественного гамма фона для данной местности;

3) в состав радиационных загрязнений входит довольно широкий круг как естественных, так и техногенных радионуклидов, обладающих различной радиотоксичностью, а следовательно, дающих различные вклады в степень и характер опасности формируемой радиационной обстановки;

4) существуют вероятностные сочетания метеорологических условий, при которых радионуклидные выбросы от удаленных источников могут достигать территории Волгоградской области;

5) радиационные параметры в зонах контроля имеют непосредственную, в том числе и временную, зависимость от температуры, давления, влажности, направления и скорости ветра не только в этих зонах, но и в зонах расположения прогнозируемых удаленных источников загрязнения;

6) процессы формирования радиационной обстановки на территории Волгоградской области имеют вероятностный, накопительный и быстротекущий (аварийный) характер.

Характер формирования радиационной обстановки, обусловленный транспортно-терминальным переносом. Существующие областные грузопотоки можно охарактеризовать для целей радиационного контроля следующим образом.

По характеру движения:

авиационный, железнодорожный и автомобильный грузопотоки имеют общий характер движения — постоянный (круглосуточный), с неопределенной периодичностью;

водный грузопоток — непостоянный (сезонный), с неопределенной периодичностью.

По степени разветвленности и скорости движения объектов грузопотоки имеют следующий характер:

авиационный грузопоток — ввоз, вывоз и транзит всех грузов на территории области производится через один грузовой терминал. Скорость движения грузов при поступлении на терминал и вывозе с него не превышает 5...7 км/ч;

водный грузопоток — ввоз, вывоз и транзит всех грузов производится через несколько грузовых терминалов. Скорость движения грузов при поступлении на терминал и вывозе с него не превышает 5...7 км/ч;

железнодорожный грузопоток — ввоз, вывоз и транзит всех грузов производится через несколько грузовых терминалов. Скорость движения грузов при поступлении на терминал и вывозе с него не превышает 5...7 км/ч;

автомобильный грузопоток — ввоз и вывоз грузов производится через неопределенно большое число грузовых терминалов, однако, как и транзит подавляющего большинства грузов по территории области, производится по шести основным автомобильным путепроводам через постоянные посты ГАИ БДД. Грузопотоки как сплошные, так и с неопределенной периодичностью, при скоростях движения в зонах постов ГАИ БДД не менее 40 км/ч, что при-

водит к необходимости дополнительной идентификации объекта для дальнейшего его выделения из общего грузопотока.

В связи с взаимосвязью радиационно-опасных объектов с другими объектами промышленности и народного хозяйства, существует большая доля вероятности появления в грузопотоке транспортных средств с радиоактивными грузами. Согласно требованиям нормативных документов транспортируемые радиационно-опасные грузы должны учитываться как у поставщика, так и у получателя, а значения их радиационных параметров не должны превышать значений, установленных нормативными документами. Однако практика показывает, что в силу аварийных, субъективных или иных причин, имеется вероятность бесконтрольного поступления радиационно-опасных грузов в общий грузопоток.

Характер формирования радиационной обстановки с учетом водного переноса радиоактивных веществ. По территории Волгоградской области протекает четыре крупных реки: Волга, Дон, Хопер и Медведица. При этом по двум из них (Волга и Дон) осуществляется судоходство, поэтому существует потенциальная опасность попадания радиоактивных веществ, находящихся среди грузов, в воду этих рек. Кроме того, радиоактивные вещества могут попасть в воду рек вместе с потоками дождевых вод, стекающих с прилегающих территорий. Еще один потенциальный источник попадания радиоактивных веществ в воду — стоки промышленных предприятий, расположенных по берегам рек.

С точки зрения радиационной опасности наиболее безопасными являются реки Хопер и Медведица. Это обусловлено тем, что они мелководны и на их берегах не расположено практически никаких промышленных предприятий, и радиоактивные вещества могут попасть в воду только со стоками с полей и дождевыми водами.

Наиболее опасной рекой является Волга. Это обусловлено несколькими факторами: по ней осуществляется регулярное судоходство, на берегах реки расположено большое количество крупных промышленных городов и, кроме того, русло реки имеет огромную протяженность, и радиоактивные вещества могут быть перенесены течением на большие расстояния.

Наличие радиоактивных веществ в воде рек создает потенциальную опасность попадания радиоактивных изотопов в питьевую воду, т.к. основной водозабор питьевой воды происходит именно из этих четырех рек. Кроме того, в населенных пунктах, удаленных от рек, водозабор ведется из артезианских бассейнов, расположенных в недрах земли. Здесь также существует вероятность попадания радиоактивных веществ в питьевую воду, т.к. подпитка данных бассейнов идет либо из открытых водоемов, либо дождевыми водами, которые могут вымывать радиоактивные вещества из почвы (в большинстве случаев это продукты распада радия, содержащиеся в почве в виде радона).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Областная целевая программа «Создание автоматизированной системы контроля радиационной обстановки на территории Волгоградской области» на 2003—2006 годы.
2. Экология антропогена и современности: природа и человек : сб. науч. докл., представленных на Междунар. конференцию (Волгоград — Астрахань — Волгоград, 24—27 сентября 2004 г.). СПб. : Гумманистика, 2004.

Поступила в редакцию в ноябре 2007 г.

© Добряков А.В., 2008

**ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ
И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ.
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

УДК 72.01

А. Ю. Заславская

РОЛЬ ОБОЛОЧКИ В ФОРМИРОВАНИИ НОВЕЙШИХ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Проведена аналогия изменений в живой природе с изменениями и трансформацией в архитектуре. Автором затронуты вопросы выявления органического подхода в контексте формообразующих и структурно-конструктивных принципов. Представлен метод создания органической целостности архитектуры с помощью включения в оболочку множества функций, сценариев и программ, формирования крупномасштабных объектов современной архитектуры.

An analogy is drawn between the changes in animate nature and the changes and transformation in architecture. The author also considers the issues of revealing an organic approach within the context of form-shaping, structural and design principles. The paper presents a method for creating an organic integrity of architecture with the help of providing the enclosure with multiple functions, scenarios and programs to form large-scale objects of modern architecture.

Любой живой организм обладает внутренней конструктивно-структурной основой и поверхностными покровами — оболочкой. Обыкновенно, в архитектуре оболочка означает внешнюю сторону объекта — его форму; кроме того, она может быть независима от структуры, и представлять собой границу между пространствами. В природе оболочки могут варьироваться в своих размерах от минимального масштаба, например, от капли, до максимального, к примеру, атмосферный слой вокруг земли. Независимо от размеров, их объединяет структурное сходство и функциональное качество — способность вмещать и охватывать. Тот же принцип распространяется и на архитектуру, представляющую объекты, которые организуются стихийно, вмещая в себя исторически сложившиеся в данном месте, или же запланированные функции, либо и то, и другое сразу. Назовем этот метод вмещения и охватывания объектов и мест с целью создания единой структуры методом «оболочки», который, подобно природным процессам, может быть представлен в разном контексте и различных масштабах. Такие архитектурные системы охватывают и вмещают множество различных функций, действий и событий под одной пластичной оболочкой, которая выполняет следующие функции: 1) несущую; 2) пространственно-изолирующую; 3) пространственно-образующую; 4) объединяющую.

Как известно из физики, оболочка и наполнение совместно образуют несущее-способную конструктивную систему, так называемую пневмоконтрук-

цию. Форма пневматических конструкций во многом определяется формой и эластичностью оболочек, а также количеством и свойством наполнителей. В архитектуре, наполнителем являются функции, объекты, места, люди, растения. Именно они воплощают собой силы, на которые так называемая «оболочка» реагирует изменением своей формы. А грамотный материальный подбор и использование эффектов: света, звука, запаха, помогает создавать наиболее пластичные и универсальные пространственные границы. Кроме того, оболочки являются полем деятельности дигитального проектирования, так как компьютер позволяет создавать любые формы, а виртуальная поверхность обладает максимальной гибкостью и пластичностью.

Дробная архитектурная среда, которая обыкновенно складывается в наших городах, кажется абсолютно неорганичной, неудобной и разорванной. Совершенно разномасштабные функции и события происходят в этой среде без всякого сценария и связей. Метод включения в оболочку множественных программ как раз позволяет связать все функции и события в единую систему. Причем форма сможет существовать отдельно от внутренней структуры, или, другими словами, оболочка сможет сама формировать себя в зависимости от функций и независимо от структурной основы или конструктивных принципов. Например, это может быть «пузырчатое» формообразование, к которому со временем присоединятся другие «пузыри»; или каплевидная форма, которая разрастется, чтобы вместить дополнительные функции, изменив кривизну и занимаемую оболочкой площадь.

Этот метод означает в основном крупномасштабную органическую архитектуру, охватывающую большие пространства. Так, Кансайский аэропорт Осаки архитектора Рензо Пиано в Японии (1988—1994), построенный на искусственном острове, представляет собой структуру в милю длиной, которая является абстрактной волной, смешивающей образы авиакрыльев самолета и движения воды. Громадные пространства, накрытые оболочкой, свободны и оживлены пользователями, и впечатление от них должно освободить пассажиров от земных забот и подготовить для полета.

Роджерс и Фостер и их сотрудники и последователи, как например, Николас Grimshaw и Уильям Элсоп, представляют способы деформации неживых и природных объемов, также увлекаясь большими масштабами. Из всех членов этого в основном британского движения, Лорд Фостер наиболее сдержанный. Его большая «подушка» из стали и стекла, огромное стеклянное здание при Национальном ботаническом саду Уэльса (1995—2000) приближается к утопическим идеалам, в которых использование новейших технологий играет не последнюю роль. Скромный вход в это здание обнаруживает мир расходящихся скал и полей, сконструированных ландшафтным художником Катрин Густафсон. Форма Фостера сравнима с «салфеткой архитектуры», брошенной поверх выдуманной версии природы.

Тема объектов-оболочек проходит красной линией в проектах Уильяма Элсопа, который в своей работе придерживается формулы: форма — функция — миф. В проекте Института современного искусства в Лондоне (1997) архитектурного бюро Элсоп & Стормер четко прослеживается вышеуказанный подход к работе. Здание охватывает существующий, но не функционирующий мост, соединяющий районы Сити и Саутуорк. Музей расширяется на северном берегу, чтобы включить такие общественные функции, как театр,

кино и другие зоны для встреч и рекреации. Таким образом, результатом проектирования становится огромный комплекс, объединяющий различные функции под одной крышей.

На самом деле, лишь последовательное движение от формообразований евклидовой геометрии к новым экспериментальным формам дизайна, генерированным с помощью компьютера, приведет к созданию новых форм, новых строительных технологий и новым ощущениям архитектурного пространства, как в проектах Ричарда Роджерса «Здание Ллойда», Моста Миллениума Нормана Фостера и проектах Уильяма Элсопа.

Так, его проект Центра трансляции ВВС в Лондоне (2001) представляет комбинацию «контейнеров», содержащих различные функции для разных отделов компании. Полупрозрачные и отражающие пространства, служащие источниками естественного света, также используются как интерактивные пространства между информационными и коммуникационными видами деятельности и основной публикой. Различные ветви компании собраны вместе в здании, сделанном из других зданий, — комбинация пространств, взаимодействие которых создает новый характер городской среды. Таким образом, мы получаем несколько объемов в отдельных оболочках, объединенных в одну общую систему еще одной общей оболочкой.



Центр Трансляции ВВС, Уильям Элсоп

«Четвертая Грация» Уильяма Элсопа должна стать новым общественным пространством в Ливерпуле. Это живая комбинация плавных и мягких структур с кривыми и округлыми формами, разработанными из диаграммы-матрицы функциональной организации, и в то же время своего рода эстетический эксперимент. Таким образом, это будет грандиозное сооружение, вмещающее жилье, магазины, рестораны, гостиничные функции, выставочные пространства, ландшафт и так далее, состоящее из сплошных оболочек, выполненных в разном материале.

Анализируя работы Уильяма Элсопа, мы можем смело отнести их к новому направлению органической архитектуры, основанному на методе включения множества функций в единый объем, способный меняться, разрастаться и перетекать, занимая все большие площади и объединяя, обволакивая пространства цельной «оболочкой».

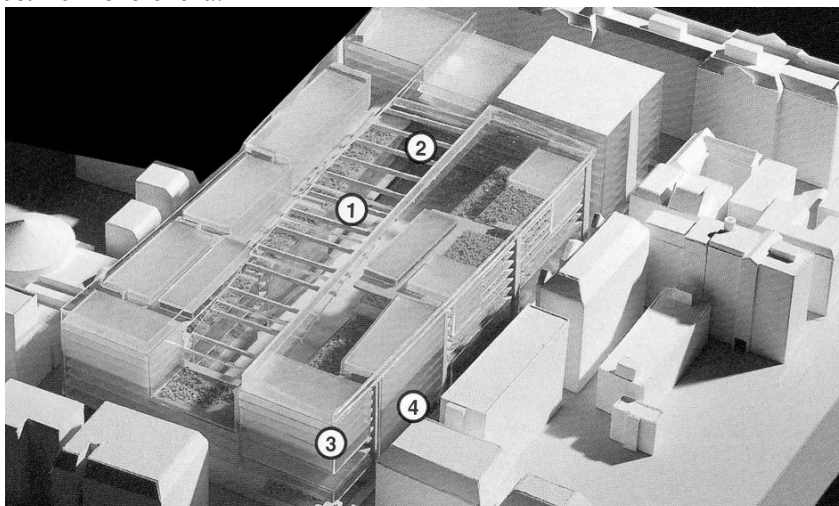


«Четвертая Грация», Уильям Элсоп

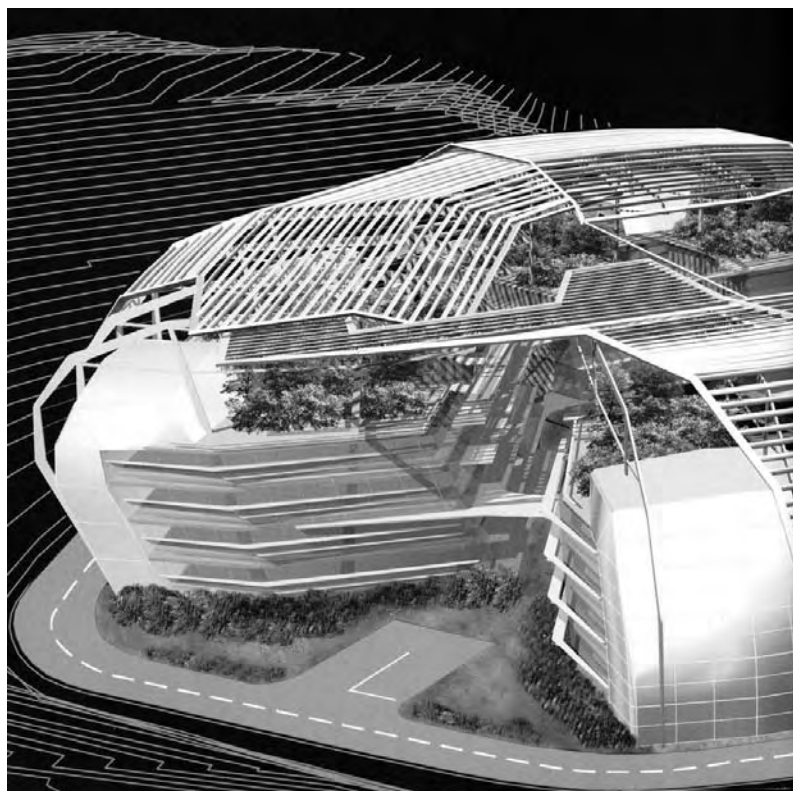
Создание масштабных объектов-оболочек не всегда происходит с нуля и на открытом ровном месте. Архитекторам зачастую приходится проектировать свои объекты, вписывая их в уже сложившуюся существующую среду. Так, воплощенные и неосуществленные проекты архитектора Кена Йенга в основном охватывают территории между зданиями. Это средовой дизайн в масштабах улиц и площадей, то есть на уровне города: его конструкции, подвижные кровли и навесы, включение ландшафта и организация движения на всех уровнях инфраструктуры позволяет объединять совершенно различные по своему функциональному составу и внешнему виду здания, включая их в единую систему с новыми объектами.

В проекте «городского дизайна улицы Маршам» Йенг создает массивную многофункциональную площадь внутри биоклиматического атриума. Атриум имеет подвижную кровлю, которая может открываться в зависимости от сезонных климатических и отопительных условий, а центральная площадь формируют большой городской двор, подходящий для проведения огромного числа различных мероприятий и спектаклей. Пожалуй, именно этот биоклиматический внутренний двор и позволяет классифицировать данный проект как многофункциональный объем, который объединяет оболочка, представленная подвижной кровлей.

«Представительское здание 4» является частью серии малоэтажной архитектуры Йенга, и состоит из пространственных контейнеров, объединенных структурой навесов. Структура, кровли и покрытые ландшафтом террасы крыш - все оторваны от поверхности земли, создавая защитный панцирь, как у насекомого, который защищает от внешних воздействий и излишнего прямого солнечного света.



Улица Маршам, Кен Йенг

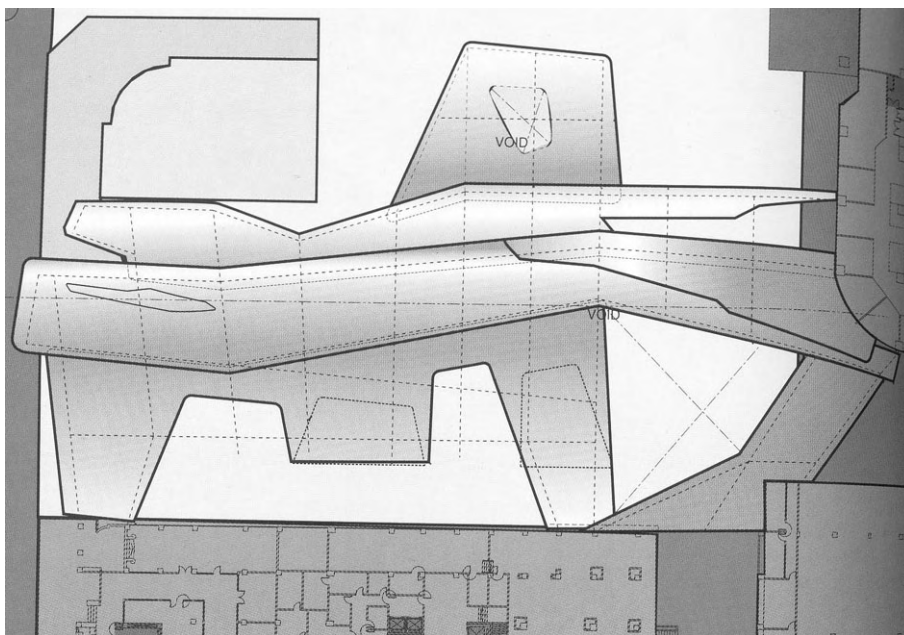


Представительское здание 4, Кен Йенг

Идеи создания так называемой «кровли-мембраны», крытых переходов, площадей и структур, и вообще объединения дробных частей в единое целое за счет создания срединных, переходных, общественных зон являются характерными для Кена Йенга и применяются в разных его проектах. Например, в проекте Ноттингемского университета в Малайзии, WIPO или ББ Парка в Куала Лумпур, который своим местоположением задействовал пространство между крупными существующими зданиями. Плавающая кровля — «тропический зонтик» Йенга — является био-климатической защитой соответствующего масштаба и играет роль оболочки, которая как панцирь несет под собой органы-функции. Навес часто имеет несколько уровней или «листьев» кровли, которые обеспечивают перекрестную вентиляцию, приводя к охлаждению пространств под ними.



Б парк, Кен Йенг (фрагмент), Куала Лумпур



ББ парк, Кен Йенг (план), Куала Лумпур

Как уже упоминалось, принцип включения в одну оболочку множественных программ в основном распространяется на крупно-масштабную архитектуру. Но оболочка как формообразующий принцип применима и в куда более мелких масштабах. Например, здание архитектурной группы Системы будущего в Уэльсе (1998 г.) является совершенным пузырем, появляющимся из ландшафта, его чистая форма контрастирует с перетекающими формами земли вокруг. Архитекторы поработали с местной геологией и произвели объект, который не столько находится в «саду», сколько вытекает из этого природного окружения.

В итоге, выдуманые, неожиданные формы, невозможные для большинства людей несколько лет назад, теперь активно существуют не только в виртуальной, но и в реальной среде. Метод создания оболочки позволяет генерировать любые формообразования. Заметными примерами являются: лондонский Дом Миллениум (сэр Ричард Роджерс), криволинейное здание мэрии в Лондоне (сэр Норман Фостер), выигравший конкурс Эллиптический дом для Китайской национальной оперы и концертный зал в Бейджине (Paul Ardrean), Медиа Центр в Лондоне и так далее.

Таким образом, метод включения в оболочку множественных программ означает способность этой оболочки менять форму — увеличиваться или уменьшаться, растягиваться или сжиматься, искривляться и пузыриться — в зависимости от набора функций, которые охватывает. Данный метод реализует пространственно-образующую и объединяющую функции оболочки, осуществляя принцип роста и ассимиляции, т.е. способности поглощать, вмещать, охватывать, характерные для органического подхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Добрицына И.А. Нелинейная парадигма в архитектуре 90-х годов XX века // Вопросы теории архитектуры. Архитектурное сознание XX— XXI веков: разломы и переходы / под ред. И.А. Азизян. М. : УРСС, 2001. С. 146—207.
2. Ефимов А.В. Дизайн архитектурной среды / А.В. Ефимов и др. Архитектура-С, 2004.
3. Лебедев Ю.С. Архитектурная бионика. М. : Стройиздат, 1990.
4. Фремpton К. Современная архитектура : Критический взгляд на историю развития / пер. с англ. Е.А. Дубченко ; под ред. В.Л. Хайта. М. : Стройиздат, 1990. 534 с.
5. Abstract. Columbia Architecture Planning Preservation, 2003, the Trustees of Columbia University in the City of New York. 76 p.
6. Abstract. № 01.02, Columbia Architecture Planning Preservation, 2002, the Trustees of the Columbia University, New York.
7. A+U (Architecture & Urbanism) № 413. New University Environments. Japan: A+U Publishing, 2005.
8. l'ARCAPLUS, William Alsop, № 38, l'Arca Edizioni spa, Milano, Italy, 2003.
9. Richards Ivor. Groundscrapers + subscrapers of Hamzah & Yeang, John Willey & Sons Ltd., Great Britain, 2001.

© Заславская А.Ю., 2008

Поступила в редакцию
в ноябре 2007 г.

УДК 72.017.4

Т. М. Потокина-Курилкина

РОЛЬ ЦВЕТА В АРХИТЕКТУРНОМ АНСАМБЛЕ

Часть 2. Цвет в архитектурной системе конструктивизма

Освещена роль цвета в решении проблем архитектурного ансамбля. Рассматриваются особенности использования цвета в организации архитектурной среды и создании интерьеров конструктивизма.

The article covers the role of colour in the solution of the problems of architectural ensemble. The specific features of colour employment in the architectural medium organization and interior creation in constructivism are considered.

Что должно быть объединяющим началом в создании ансамблевости, гармонии упорядоченности в архитектуре, влияющим на образование формы и целостности архитектуры? Синтез всех разнородных начал возможен лишь при образном представлении. Образ всегда целостен. Образ объекта, возникающий в представлении, — не механическое отражение, а результат разнообразной деятельности, активно воспроизводящей содержание объекта. Реальному преобразованию действительности предшествует замысел, образ еще не существующего объекта. Многогранность и противоречивость совокупности факторов, определяющих форму объектов высокого уровня образного творчества, открывают возможность для синтеза. Архитектурный объект становится не только частью действительности, но и воплощением художественного образа.

Архитектурное сооружение воплощает некий образ; образность — необходимая часть его функции и служит необходимым инструментом для приведения архитектурного объекта к целостности, к организованной, гармонической форме, и он выступает как средство решения проблем обогащения и преобразования действительности. Образ сообразной с человеком гармонии, соединяющий накопленный опыт, есть модель рациональной конструкции. Сторонники чистого утилитаризма усматривают в художественной образности некое ненужное дополнение, но отказ от этого означает отказ от одного из важных средств гармонизации и синтеза предметно-пространственной среды. Архитектура не изображает, а выражает содержание образов через знаки и ассоциации, которые вызывает организованная структура целого и его элементов.

Стремительно формировалось новое архитектурное мышление, которое начиналось с острого аскетизма форм. Анализ пространственных структур сооружений будущего увлекал не только архитекторов, живописцы и скульпторы пытались определить законы целесообразности построения композиций. Архитекторы, работавшие в начале 1920-х гг., внесли вклад в развитие нового направления, расширив, в частности, диапазон новой формы. Стремясь создать такие формы и композиции, которые зримо воспроизводят те или иные состояния покоя, движения, они с большой творческой свободой использовали конструктивные возможности техники. Интенсивные художественные поиски в

значительной степени определялись тем, что в единой цепи архитектурных средств и приемов (функционально-конструктивная основа здания, архитектурно-композиционные средства, художественный образ) архитектурная форма оказалась слабым звеном, что явилось проблемой взаимосвязи новой архитектурной формы с объективными закономерностями восприятия человека и взаимоотношений архитектурной формы и новой функционально-конструктивной основы.

Разные группы архитекторов стремились найти новые архитектурные формы, интуитивное предчувствие будущего формотворчества было соединено с научным анализом и изучением основных композиционных средств архитектуры. Порывая со старым искусством, архитекторы не порывали с основными законами зодчества. Одним из главных был закон восприятия человеком архитектурной формы и пространства. Художественная выразительность пространственных построений предполагала легкость восприятия формы, единство всех ее усложненных элементов, напряженность, динамику как средства активного воздействия форм на зрителя. Все эти поиски велись с целью придать архитектурной форме эмоционально-эстетические качества. Архитекторы понимали необходимость тесной связи с современностью, с использованием достижений науки и техники в архитектуре, функциональной связи цели и назначения сооружений, строительных материалов и технических конструкций.

В новый исторический период опять возникла необходимость переосмысления ансамбля, вместе с переосмыслением самой сферы искусства в целом. Монументальное искусство получило пальму первенства в преобразующейся культуре. Был развернут ленинский план монументальной пропаганды, поставивший главными проблемы, связанные с проблемой ансамблевости для монументальной скульптуры.

На первых этапах нового строительства изображение как таковое имело место в архитектуре в системе, разрабатываемой для праздников и манифестаций. Задачи «культурной революции» поставили перед архитекторами вопрос о применении изображений как архитектурного элемента. Это явление было новым, но снова встала сложная задача добиться органичности изображения и архитектуры, при этом плоскостное или объемное изображение должно было выявить идею архитектурного сооружения исходя из его назначения. Архитектура ставила перед собой и художественные задачи, которые помогали выявить как идейную, так и функциональную стороны произведения. Все жаждали нового и требовали новшеств. Полного разрыва не произошло, так поиски новых средств советского искусства на первом этапе во многом были подготовлены развитием авангардных направлений живописи и достижений стиля модерн.

Эпоха модерна и советская эпоха стремились к созданию образного, насыщенного, напряженного архитектурного пространства, часто находящегося в сложных функциональных обстоятельствах. Указанная преемственность таких несхожих периодов преломилась в ансамбле Казанского вокзала. Это памятник нескольких эпох. Вся его сложная история создания воплощает сложность поставленной перед архитекторами задачи — взаимодействия нового и старого, становления нового.

По контрасту с предшествующим периодом искусству советского государства были указаны задачи, изменившие набор его художественных средств и форм. Оно стало флагом нового государства и его инструментом, а в социальном пласте должно было полностью преобразовать среду человеческого существования на началах рациональной организации жизни. Понятие прекрасного как основного свойства и критерия искусства вообще было отвергнуто. Заменой всему была объявлена функция. Функциональность соответственно определяла и особенности синтеза искусств, т.к. требовалось создать по-иному моделированную архитектурно-предметную среду. Но на практике в искусстве разрыв с прошлым наследием практически полностью произойти не мог, традиции, преемственность в какой-то мере сохранились. Этот идеал, объектом и рычагом которого представлялось искусство, включающее в себя не только социальное изменение, устранение унаследованных от прошлого противоречий и жизненных норм, но и создание нового быта на началах рациональной организации жизни, творение новой, по-иному моделированной социально-предметной среды, воплощал авангардные направления советской архитектуры.

Монументальное искусство в соединении с архитектурой приняло на себя функцию создания образа формирующегося будущего преображенного мира. Преобразовывающая сила нового искусства должна была изменить все сферы человеческого существования, особенно в условиях городской среды, пока в Москве появлялись отдельные сооружения «настоящего будущего» дома-коммуны, фабрики-кухни, рабочие клубы. Сторонники новаторских течений понимали, что без овладения новой формой нельзя было решить ни функционально-конструктивных, ни идейно-художественных задач. Отказ от стилизации и эклектики привел к эксперименту над архитектурной формой, а новая форма взаимодействия пластических искусств и архитектуры и соответствующие ей композиционные приемы еще только создавались.

Расцвет строительства пришелся на 1920-е — начало 1930-х гг., когда архитектура была очень разнообразной, но наиболее выразительным для этого периода было направление, известное под названием конструктивизм. Конструктивисты выводили эстетические достоинства сооружения из его функциональной и конструктивной обусловленности, подчеркивая строгость и геометрическую чистоту форм, освобожденных, по выражению А.А. Веснина, от «балласта изобразительности».

В постоянном и обусловленном нуждами времени стремлении к новизне всякого решения конструктивизм действительно выработал новое направление архитектурных идей. Он тщательно разрабатывал свойства архитектурных типов: синтезированную многофункциональность и массовость — и особенно типы промышленных и общественных строений.

Архитектура, как впрочем, все искусство, была поглощена разработкой и решением социально-политических проблем. На первый план конструктивизм выдвигал социальную функцию, стремясь ввести новые в социальном отношении типы зданий, утвердить новые формы труда и быта. Архитектура мыслила социальными категориями и создавала сооружения разных, в том числе до того не существовавших, совершенно новых типов. Выработка этих типов шла вместе с выработкой нового уклада и структур нового государства. Также ключевым в жилом, общественном, деловом строительстве, включая административное, было стремление к комплексности сооружения, созданию

здания многофункционального, сочетающего как бы несколько архитектурных типов в одном.

В 1927—1930 гг. в массовом порядке строились первые рабочие клубы (им. Зуева, арх. И. Голосов; им. Русакова, арх. К. Мельников, «Буревестник», арх. К. Мельников в Москве и др.), культурно-просветительские центры, совмещавшие в себе лектории, библиотеки, театральные-концертные залы, спортивные залы. Преследуя функциональные цели в рамках утопической идеологической программы, архитекторы столкнулись не только с задачами выработки новых типов строений и переосмысления функций здания вообще, но стремясь к многофункциональности архитектуры — с необходимостью синтеза разных типов с их функциями в некоем единстве следующего уровня. Сооружения этого времени это яркий пример синтеза функций.

В.А. Веснин в статье от 1932 г. «Здание социализма» писал: «Для нас, архитекторов, искусство будущего, т.е. искусство бесклассового общества, открывает такие заманчивые перспективы, которые зарубежным мастерам и не снятся. Архитектурная эстетика не будет черпать своих приемов из отжившей классики, ибо она будет обладать таким запасом гармонических черт, что сама станет классикой новой эпохи человечества. Основное — в простоте, умении извлечь максимум выразительности материальной детали... Простота, ясность, четкость каждой линии создадут ту общую картину величественности, которая присуща новому строительству нашей страны». Архитектура обнажила функцию сооружения и свела свои средства выразительности к формулировке этой функции. Для самоутверждения новой архитектуры очень важен был ее разительный контраст, ощущаемая новизна по сравнению с постройками всех предыдущих стилей.

На этапе становления новой архитектуры возникла проблема отношения к традиционным приемам создания ансамбля и поиски новых приемов пространственной организации архитектуры. Противопоставление «старой» симметрии «новой» асимметрии, отказ от периметральной застройки были приисками новой пространственной архитектуры, но широко применялись и традиционные методы. Новые по внешним формам и даже подчеркнуто необычные по объемной композиции, объединялись в планировочно-пространственную структуру. Большие изменения претерпевали внешние стилеобразующие уровни формообразования, при этом классическое мышление сохранялось.

Это была действительно революционная стилистика многое резко отменившая за ненадобностью, как декор, лаконичная и простая, как формулировки лозунгов, резкая в утверждении правильности именно своего направления развития средств архитектурной выразительности. В конструктивизме выразилось торжество научно-технического мышления. Пафосная и достаточно холодная архитектура конструктивизма была менее пригодна к жилым функциям, чем к промышленным и общественным. Усталость массового вкуса от голой полезности до некоторой степени обусловила в конце концов изменение этой стилистики.

Архитектура конструктивизма работает с пространством и формой для достижения функциональной, утилитарной цели, это значит, что в функциональной архитектуре задача пользы нагнетается и концентрируется.

Поиски композиционных средств и приемов велись в самых разных направлениях. Автором проекта клуба им. Зуева был архитектор И.А. Голосов. В клубе

им. Зуева вертикальный стеклянный цилиндр лестничной клетки как бы прорекает горизонтальный параллелепипед верхнего этажа, являясь главным композиционным элементом сложной и в достаточной степени расчлененной объемной композиции. Главный акцент во внешнем облике строения он всегда переносил на один из объемных элементов композиции, решая его крупно и предельно лаконично, а все остальные элементы в общей композиции специально усложняя и измельчая, чтобы зрительно подчинить их этой крупной форме.

В этом проекте архитектор И.А. Голосов использует закономерности зрительного восприятия, цветовое решение лаконично и монументально. Большим светлым плоским объемам противопоставляется поверхность стекла. Внутреннее пространство как бы высветлено простыми открытыми формами, при этом простота цветовых отношений приводит к его визуальному увеличению. Лаконичность пластики обогащена «прорезыванием» округлых цилиндрических форм прямыми плитами перекрытия, что придает форме разнообразие. Пространство строят и контрасты светлых цилиндрических объемов и темных проемов окон, что придает зданию динамичность и монументальность и от этого здание всегда выделяется на фоне окружающих плоских архитектурных построек. С разных точек зрения фасад здания эмоционально воспринимается по-разному: оно то вытянуто вверх, то распласталось в пространстве. Это разнообразие форм не дает устать зрительному восприятию формы архитектурного сооружения, и все время открываются новые ритмы и впечатления от архитектурной формы. Простые цветовые отношения подчеркиваются контрастом света и тени.

Конструктивисты, согласно принципам их творческого кредо — функционального метода — расчленения сооружения на отдельные различные по функциональному назначению объемы, соединяли их затем переходами, в соответствии с последовательностью развертывания функционального процесса или взаимосвязью отдельных функциональных элементов. Архитектурное пространство строится на основе простых форм. Для доминирующей роли крупно решенного элемента в общей композиции архитектор Голосов использовал приемы динамического построения пространства, контрасты глухой стены и стекла. Цвет экстерьера сдержан, видна умеренность в использовании выразительных средств. Малыми скупыми средствами архитектор создал чрезвычайно выразительный художественный образ клуба.

Архитектор синтезирует пространство простыми, но выразительными средствами. Здание строится на доминировании холодного голубого цвета, который объединяется цветом строительных материалов. Свет разнообразит цветовые акценты, сгущая голубые цвета до насыщенных синих в тенях больших конструктивных форм. Эта цветовая композиция не столько гармонична, сколько выразительна. Концентрация активных цветов в данном случае приведет к нейтрализации архитектурных форм, которые являются главными в соединении цвета и формы.

Специфические качества цвета позволяют формировать особый «цветоклимат» в архитектуре этого здания, цвет рассматривается в комплексном проектировании среды, он концентрирует и развивает архитектурный образ.

В данной постройке клуба принцип цветовой организации — лаконизм выражения, сдержанность полихромии, что является также необходимыми качествами архитектурного пространства. Из действенного средства, позволяю-

щего выявить структуру и образно-эмоциональные стороны архитектурной композиции при излишнем использовании цвета он может стать средством, искажающим композиционный замысел. Сложное пластическое решение фасадов и объемно-пространственной структуры композиции предопределяет более сдержанную полихромную, поскольку при этом появляется сложная активная светотень, выявляющая характер как отдельных фасадов, так и всего построения в целом. Объемная композиция клуба, дающая представление о его внутреннем пространстве, в то же время активно «работает» и вовне.

Цвет овладевает объемами и пространствами, которые предлагает архитектор, раздвигает своими тонами маленькие пространства, преодолевает затененность одних фасадов и излишнюю высветленность других, делает интерьер торжественно-парадным, динамичным. Здание противопоставляется природе своими конструктивными формами. Большими цветовыми массами выделяется композиционный центр всего здания. Ритмические соотношения объемов форм, проемов окон, горизонтальные и вертикальные ритмы конструкций выявляют декоративный прием, а декоративность — качество органическое, структурное, орнаментальное, вырастающее из конструкции, из целостной красоты объема. Контрастность строится на основе противопоставления элементов цветовой среды, введения неожиданного небольшого цветового пятна в виде шрифтовой заставки ярких красных, синих цветов, на большие плоскости стен. Они усиливают этими цветовыми акцентами главные композиционные центры.

Цвет имеет много стилеобразующих возможностей, его воздействие на человека многообразно, так что игнорировать и сводить его к минимальному использованию значит, во многом обеднять художественное пространство архитектуры. Невозможно представить архитектуру без цвета, без него это однородная масса объемов.

Анализ композиционных приемов использования цвета в архитектуре показывает, что цветовые решения основываются на объективно существующих закономерностях. Это световые и цветовые контрасты, собственные и несобственные качества цвета, их тепло-холодность, эффект Пуркине и т.д. Рассматриваемые нами ансамбли и интерьеры являют пример того, как точно, подчиняясь идеям и стилям, используются цветовые законы для решения архитектурных задач. Как широк круг вопросов решаемых цветом, и как соразмерны человеку найденные цветовые схемы. Среди этих задач — и использование цвета для установления масштабных связей, и выбор оптимальных цветовых групп для характеристики объекта при восприятии его с близких и удаленных точек зрения и выделение цветом композиционно важных узлов. Изучение цветов показало зависимость их от расстояния восприятия, с увеличением расстояния от наблюдателя различные спектральные цвета изменяются в разной степени. Менее всего изменениям подвержены синие цвета.

Выбор темно-синих, голубых цветов для орнамента на светло-желтых плоскостях — пример направленной организации внимания. Применение на фасадах синих и желтых цветов дают очень интересный оптический эффект. Цвета, выбранные из диаметрально удаленных точек цветового круга. Вследствие одновременного контраста зрительно усиливают друг друга. По мере удаления от цветной поверхности у зрителя возникает ощущение ахроматического цвета в силу оптического смешения цветов. Группа желтых цветов,

используемая на фасадах даже небольших площадей, отличается не светлотой, а богатством цветовых тонов, их широкой палитрой. Современная физиологическая оптика утверждает, что максимальное различие цветового тона наблюдается в желтой части спектра. Это неаполитанская желтая, желтые кадмии, охры и сложные цветовые оттенки, полученные с примесью умбры, английской красной.

Очень точно учитывается влияние расстояния на восприятие цветов. В зоне, расположенной на уровне глаз, оттенки смягчаются, усложняются, применяются полутона. Чем дальше от зрителя расположена плоскость, тем ярче и насыщеннее, резче и определеннее по своей характеристике становится цвет. Но наша оценка оптимального цветового решения зависит от того, насколько точно и полно учитываются архитектурные особенности объекта или ансамбля его создателями.

Период господства авангардного направления в нашей архитектуре характеризуются специфическим использованием цвета. Цвет играет исключительно утилитарную, но не второстепенную роль. Для конструктивизма цвет — это, прежде всего, окрашенность. Но в предельно аскетичном пространстве цвет берет на себя декоративные и образные функции, сохраняя при этом свое утилитарное значение создания, выделения (окрашивания) архитектурного пространства. Для уяснения понятия ансамбль в конструктивизме необходимо ввести понятие «цветовой среды».

Цветовая среда — это сумма цветовых составляющих окружающей человека среды. Цвет существует как реальность, овеществленная в конструкционных и отделочных материалах, в материалах монументально-декоративного искусства. В сознании человека эта сумма цветовых составляющих окружающей среды отражается как сложная знаковая система, которая рассматривается только вместе с человеком — вне способности человека реагировать на цветовые составляющие не будет цветовой среды. Точкой отсчета этой системы является цветное пятно. Каждая архитектурная задача требует определенного набора цветов. Для архитектора, работающего над цветовым решением интерьера, цветовая составляющая определяется цветовой гаммой отделочных материалов, законами композиционного согласования цветов, по которым формируются цветовые группы и определяют характер сочетания отдельных групп в цветовую композицию данного помещения. Цветовое пятно должно свободно входить в различные структурные сочетания и обуславливать способность цвета вступать в отношения с другими цветами, при этом меняя ранее установившиеся связи.

Один и тот же цвет может входить в состав различных цветовых сочетаний и изменять характер намеченных ранее цветовых отношений. Так, желтый цвет в сочетании с синим образует пару дополнительных цветов, с фиолетовым же — пару контрастных. В паре с сине-зеленым желтый воспринимается как «теплый» цвет, в паре с желто-оранжевым — как холодный и т.д. Цветовые пары могут характеризоваться или контрастными, или нюансными признаками. Контраст «теплый — холодный» — возможность соотнести составляющие этой пары со спектральными цветами и выявить степень принадлежности к теплой или холодной группе спектральных цветов. В пределах каждой группы цвет может оказаться более теплым или более холодным, в зависимости от его положения в цветовой группе. Влияние фона в свою оче-

редь, в силу одновременного цветового контраста, сдвигает один и тот же цвет в сторону теплого или холодного полюсов. И, наконец, цветовое пятно, полученное механическим путем смешения теплого и холодного цветов, кажется более теплым на границе с полем чистого холодного цвета и более холодным по соседству с полем чистого теплого цвета.

В своей лаконичности конструктивизм стремится к работе с абсолютными величинами, не к разработке особенностей форм, а функциям этих форм, а значит к самой их сущности. Цвет в своем сложном значении для архитектуры обладает необходимой степенью отвлеченности и силы абсолютного «идеального» понятия. Именно цветовая среда и является идеальной основой и важным компонентом ансамбля конструктивизма, а цветность функциональной формы — одной из главных ее характеристик.

Конструктивизм сопоставляет в экстерьере окрашенность строительных материалов, контраст бетона, кирпича, стали, стекла, научившись видеть их выразительность благодаря модерну. В интерьере чистые цвета, как наиболее верно характеризующие формы, создают художественное пространство архитектуры, украшают, участвует в формулировании, выделении содержания архитектурного пространства и соединения этого пространства в единое целое, и сами выполняют функцию образа, как одна из чистых, «абсолютных» величин.

Итак, в рассмотренных примерах выявляется структурная связь ансамбля — композиционное единство и декоративность. Ансамбль представляет собой нечто новое по сравнению с его составляющими. Что именно формирует ансамбль как образ целого? Единство достигается путем соединения фундаментальных основ ансамбля в поиске художественного и этому служит весь богатейший исторический опыт. Вводятся новые материалы, новые цветовые сочетания в архитектурное пространство, постигаются содержательные связи части и целого в ансамблевых решениях.

Принцип взаимного соподчинения разных элементов архитектурного ансамбля и разных искусств в его создании позволяет достичь единства целого. Архитектурно-пространственный ансамбль должен представлять целостную систему, но по мере утверждения рационализма и утилитаризма ансамблевая целостность постепенно теряет свое единство.

Композиция ансамбля не существует без определенной художественно-образной организации целого. Естественно, что индивидуальность составляющих ансамбля в его общей художественной системе в разные эпохи проявляются по-разному. Зодчий ищет средства смыслового визуального обогащения составляющих ансамбля, что обусловлено объективно, но при этом происходит влияние объективного и субъективного, как бы двух тенденции формообразования. Предметно-пространственное окружение: архитектура, интерьер — неотделимо от культурного контекста эпохи и выражает понимание мира, жизни людей.

© Потоккина-Курилкина Т.М., 2008

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА. ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

УДК 332.122.62:338.48

Ю. В. Чернявский, Т. А. Чернявская, Н. Н. Зубакова

ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ И БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛЫ В СОВРЕМЕННОМ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

На фоне общего социально-экономического состояния выделен приоритет развития инфраструктуры социально-культурного сервиса, рассмотрено современное состояние системы предприятий рекреационного обслуживания в Волгоградской области. Раскрыты возможности территории по предоставлению круглогодичного отдыха и санаторно-курортного обслуживания, приведена возможная модель системы туристско-рекреационных объектов и направления общей экономической политики в сфере социально-культурного сервиса

Against the background of the general socio-economical state, the paper emphasizes the priority of developing the infrastructure of the socio-cultural service, analyzes the current state of the system of the recreation services enterprises in the Volgograd region, reveals the potential of the territory to provide year-round recreation, sanatorium and resort services, presents a possible model of tourist-and-recreation objects system as well as the directions of the general economic policy in the sphere of socio-cultural services.

Помимо общегосударственных проблем, возникших в период распада Союза, в Волгоградской области произошло кардинальное изменение геополитических условий территорий. Будучи в недавнем прошлом регионом центральной части государства, область заняла окраинное положение, и значительная часть восточной границы совпала с государственной. Волгоградская область, находящаяся в условиях трансформации экономики, спада производства, снижении уровня потребления, занятости и благосостояния населения, деградации инфраструктуры, возникновения очагов экологической опасности, нуждается в инвентаризации своего социально-экономического и природно-ресурсного потенциалов. Без осознания имеющихся возможностей и ограничений развития нет возможности программного обеспечения процесса дальнейшего социально-экономического развития региона.

Экономическая система Волгоградской области в настоящее время продолжает терять комплексность развития. Изменения в политической структуре страны привели к нарушению прежней системы социально-культурного и бытового обслуживания населения. Актуальность восстановления и дальнейшего развития системы предприятий социально-культурного сервиса и туризма региона возросла и в связи с изменениями в общей геополитической обстановке

России. Произошли потери традиционных курортно-рекреационных зон в Прибалтике, Крыму и на Кавказе. На территорию области возрос нерегулируемый поток неорганизованных туристов, который наносит ущерб не только природной среде, но и экономике региона. Такое положение усиливает необходимость формирования более полной сети современных объектов сервиса и туризма для контроля над антропогенными нагрузками и создания комфортности обслуживания отдыхающих [1]. Каждый регион России имеет свои особенности стратегии в переходе на новую модель устойчивого социально-экономического развития. Экономическое и социальное планирование взаимосвязаны и напрямую зависят от ресурсно-экономической базы региона.

Комплексный социально-экономический анализ современной градостроительной ситуации Волгоградской области позволил выделить приоритеты стратегии развития сети социально-культурного сервиса и туризма. Это определяет необходимость формирования оптимального градостроительного режима развития благоприятных условий для туризма и индустрии гостеприимства. Одним из главных приоритетных направлений региональной экономической политики должно быть развитие инфраструктуры социально-культурного сервиса на межведомственной основе [2, 3].

Рекреационные ресурсы Нижнего Поволжья и зон реки Дона в недостаточной степени использовались на местном уровне и не были задействованы в санаторно-курортном и туристическом обслуживании страны.

Социально-территориальная система Волгоградской области характеризуется большим природно-климатическим потенциалом: плодородными почвами, высокой обеспеченностью солнечной радиацией, длительным вегетативным периодом, на территории области имеются уникальные природные объекты, зоны, удобные для рекреации, и бальнеологические ресурсы (минеральные воды, соли, лечебная грязь, бишофит).

Из существующих в России туристических фирм более 90 % (около 10 тыс.) занимаются размещением клиентов на отдых и лечение в отечественных санаториях, домах отдыха и пансионатах, остальные ориентированы на зарубежный отдых клиентов. Таким образом, можно рассчитывать, что большее количество туристических фирм и пенсионный фонд заинтересованы в размещении клиентов в туристских и бальнеологических комплексах Волгоградской области.

Сеть существующих рекреационных и лечебно-оздоровительных учреждений территориально располагается в сочетании с культурно-историческими и археологическими объектами, которые предоставляют объективную возможность для расширения сети сезонной рекреации туристскими маршрутами. Богатое культурно-историческое наследие недостаточно задействовано в развитии туризма. Это памятники культового зодчества различных религиозных конфессий: православные храмы, лютеранские кирхи, синагоги, мечети и другие уникальные архитектурные объекты гражданского и промышленного строительства, административные и жилые дома XVII—XVIII вв., мельницы XIX в. в рабочем состоянии и целые исторические поселения, такие как Дубовка, Камышин и др., многочисленные материальные ценности духовной культуры.

Культурно-исторические памятники представляют интерес не только для местного населения, населения других регионов России, но и для граждан других стран. Культурно-исторический и природно-ландшафтный каркасы,

являющиеся базовыми элементами рекреационных ресурсов, соприкасаются с транспортной системой, что упрощает задачи развития предприятий туризма, рекреации и социально-культурного сервиса региона.

Поскольку рекреационные и бальнеологические ресурсы являются одной из ценностей территории, рекреация должна занять достойное место в социально-экономическом развитии Волгоградской области.

Преодоление кризисных процессов в социально-экономической сфере регионов возможно на основе глубокой теоретической разработки концепции развития социально-культурного сервиса и туризма применительно к каждому конкретному региону.

В формировании региональной туристско-рекреационной системы предусматривается создание единой системы охраняемых территорий на базе сочетания памятников культуры и природного комплекса. Памятники архитектуры и градостроительства являются ядром исторической среды, ядром же природных территорий являются уникальные природные объекты — памятники природы. В этой связи особое значение приобретает сохранение памятников природы и формирующих их природных ландшафтов. Они в первую очередь и представляют материальную среду, совместно с которой рассматривается тот или иной архитектурно-градостроительный памятник.

Экологическое состояние природного комплекса области зависит как от влияния хозяйственной деятельности, так и от наличия естественных природных территорий и их репродуктивной способности. Природные не нарушенные территории характеризуются экологическим равновесием и являются экологическим каркасом региона. В целом экологический каркас несет главную средообразующую роль экологического состояния территории, одновременно являясь основой для развития объектов рекреационной сети.

Средовой подход определил необходимость выявления крупных, наиболее ценных в ландшафтном отношении территорий, представляющих собой зоны, насыщенные памятниками архитектуры и градостроительства. Эти зоны являются основой для развития туристской и рекреационной деятельности, требуют определенного режима хозяйственной деятельности и охраны (табл.).

Сохранившаяся историческая среда, в которую должны органически вписываться не только градостроительные элементы, но и природные комплексы, включающие естественный рельеф местности, растительности и водные объекты, представляет собой рекреационные условия.

Формирование системы рекреационных и охраняемых территорий необходимо для обеспечения сохранности и воспроизводства природных ресурсов, развития туризма, регулирования и компенсирования различных нарушений в экологических системах. В настоящее время памятники природы на территории Волгоградской области представлены разрозненными, локальными объектами. Единичные природно-заповедные объекты, находящиеся вне системы охраняемых территорий, не могут полностью сохраняться и оказывать достаточно полную комплексную активность на окружающее пространство. Система охраняемых природных территорий в комплексе с другими природоохраняемыми мероприятиями способствует не только поддержанию экологического равновесия и благоприятной среды для жизни человека, но и сохранению природно-исторического ландшафта, необходимого условия при формировании туристско-рекреационной системы.

Модель системы опорных зон и центров туристско-рекреационных территорий Волгоградской области

Наименование планировочных зон туристско- рекреационной системы	Административные районы, входящие в туристско- рекреационную территорию	Опорный центр зоны	Типы рекреационных территорий					
			Региональные охраняемые природно- исторические зоны	Природные парки	Памятники, охраняемые государством			
					Природные	Города и поселения	Историко-архитектурные	Городские и промышленные
1. Волгоград- ская	Котельниковский, Николаевский, Палласовский, Быковский, Ленинский Среднехутубинский, Дубовский, Иловлинский Гоодинский, Светлоярский, Октябрьский, Калачёвский, Суворовинский, Чернышковский	Волгоград	Ерусланская Цапинская Эльтонская Ерзовская Заплавное	Волго- Ахтубинская пойма Донецкой Эльтонский Цимлянские пески	Ландшафтные — 6 Геолого-морфо- логические — 6 Водные — 12 Ботанические — 24	Волгоград г. Дубовка г. Ленинск г. Царёв с. Заплавное	Церкви — 12 Кирихи — 3 Монастыри — 2 Синагоги — 2 Мечети — 1	150
2. Камышин- ская	Еланский Жирновский Руднянский Даниловский Котовский Камышинский Ольховский	г. Камышин	Иловлинская Медведицкая Терсинская Ореховская Руднянская Камышинская Петровская	Щербаковский	Ландшафтные — 5 Геолого-морфологи- ческие — 7 Водные — 9 Ботанические — 13	г. Камышин с. Орехово р/п Рудня	Церкви — 20 Кирихи — 5 Монастыри — 3 Мечети — 1	190
3. Урюпинская	Новониколаевский Урюпинский Киквидзенский Новоаннинский Нехаевский Алексеевский	г. Урюпинск	Хопёрская Филоновская Зотовская Мартыновская	Нижнехопёрский	Ландшафтные — 4 Водные — 6 Ботанические — 6	г. Урюпинск ст-ца Филоновская	Церкви — 11 Монастыри — 4	125
4. Усть- Медведицкая	Кумылженский Михайловский Фроловский Клетский Серафимовичский	г. Серафимович	Донская Глазуновско- Скуршпенская Теркин-Букановская	Усть- Медведицкий	Ландшафтные — 3 Геолого-морфологи- ческие — 3 Ботанические — 10	г. Серафимович с. Усть-Грязнуха с. Перекопская	Церкви — 12 Монастыри — 2	130

Задействование дополнительных территорий под рекреационные объекты с помощью инвестиционных вложений обеспечит дополнительный ускоренный темп социально-экономического развития региона, обеспечит создание не только общероссийской зоны отдыха, но и дополнительных мест приложений труда в летний период для учащейся молодежи Волгоградской области.

Возникновение дополнительных рабочих мест повысит общее социально-экономическое состояние населения, увеличит возможности бюджетной составляющей экономики области.

Условиями реализации комплексного подхода к построению хозяйственного механизма выполнения сформулированной социальной цели туристско-рекреационного развития области выступают:

обеспечение всеобщей экономической ответственности за принятые и своевременно не принятые решения на основе заключения многоуровневой системы договоров (области с Федерацией, городами, районами городов — землепользователями);

ориентация бюджетной политики не на жесткость налогового пресса, а на рост налогооблагаемой базы;

переход в расходовании бюджета от прямых инвестиций к льготным инвестиционным кредитам инвесторам, вкладывающим средства в объекты, соответствующие принимаемой стратегии развития области;

разработка стратегии взаимодействия администрации с коммерческими структурами и населением по мобилизации финансовых ресурсов для развития системы туризма и социально-культурного сервиса.

Таким образом, вопросы планирования развития системы социально-культурного сервиса и туризма напрямую зависят от социально-градостроительной политики и экономической базы региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидоренко В.Ф. Стратегия социально-градостроительного развития регионов России / В.Ф. Сидоренко, Ю.В. Чернявский, Т.А. Чернявская // Архитектура, строительство, экология : материалы Междунар. науч.-практ. конфер. Волгоград : ВолгГАСА, 2002. С. 58—60.

2. Антюфеев А.В. Возможности оптимизации системы социально-культурного сервиса и туризма в Нижнем Поволжье / А.В. Антюфеев, Т.А. Чернявская, С.В. Уфимцев // Проблемы теории и практики современного сервиса : материалы Междунар. науч.-практ. конфер. Волгоград : ВФ МГУС, 2005. С.197—200.

3. Сидоренко В.Ф. Рекреационные ресурсы в системе экологически устойчивого развития Волгоградской области / В.Ф. Сидоренко, Т.А. Чернявская, Г.А. Птичникова // Сертификация, экология, энергосбережение : материалы Междунар. науч.-практ. конфер., Турция, Кемер / ВолгГАСА. Волгоград, 1998. С. 28—30.

© Чернявский Ю.В., Чернявская Т.А., Зубакова Н.Н., 2008

Поступила в редакцию
в ноябре 2007 г.

УДК 712/23(470.44/.47)

А.И. Соколов

ЛАНДШАФТНО-АРХИТЕКТУРНАЯ СРЕДА РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

На основе проведенного анализа работы по оценке ландшафтно-архитектурной среды рекреационных территорий Нижнего Поволжья разработана их типология по критериям: просматриваемость ландшафта (длина луча зрения), его географические особенности и стойкость почвенно-травянистого покрова к антропогенным нагрузкам. Выявленные типы могут быть использованы в районной планировке.

On the basis of the analysis of the work aimed at evaluating Landscape-and-Architectural medium of recreational territories in the Lower Volga region, the typology has been worked out according to the following criteria: landscape visual range (length of sight line), its specific geographic features and resistance of soil-herb cover against anthropogenic load. The revealed types can be used for district planning.

Восприятие и оценка эстетических качеств рекреационного ландшафта зависит от ряда субъективных и объективных факторов. К объективным факторам относятся географические и климатические процессы, протекающие на них.

Рекреационный ландшафт — это система постоянно дополняющихся и убывающих факторов на определенных этапах времени. Факторы сезонности и погодных условий оказывают непосредственное влияние на формирование эстетики как всего рекреационного ландшафта, так и отдельных его частей; помогают более полноценно ощутить всю красоту ландшафта вместе с психологическим состоянием индивида, временем суток, положением точки зрения и расстояниями раскрытия композиционных осей. Все это — субъективные факторы восприятия окружающей действительности. Изменение этих факторов может носить периодический и эпизодический характер.

Одной из актуальных проблем является проблема художественной ценности ландшафта, так как каждый индивид имеет свое восприятие, свою шкалу ценностей. Изменчивость объективных факторов влияет на рекреационный ландшафт, порой подвергая его качественным изменениям.

Эстетическое качество рекреационного ландшафта тоже понятие субъективное, но частично поддающееся определению: по степени композиционного решения; по степени вмешательства человека; по степени его функциональной насыщенности. Основную роль играет степень композиционного решения: композиционное месторасположение элементов; цветовые характеристики, оказывающие влияние на подсознание и эмоциональный настрой рекреантов; фактура, виды растительности, гармонично сочетающиеся и взаимодополняющие друг друга, живописный силуэт.

По степени вмешательства и преобразования, ландшафты можно классифицировать:

как первозданные (нетронутые) — ландшафты редкие или особо охраняемые с уникальной флорой и фауной;

частично облагороженные — ландшафты, получившие свою художественную выразительность в процессе частичного антропогенного вмешательства;

полностью облагороженные — ландшафты, обязанные своими эстетическими свойствами полной реорганизации бывшего ландшафта с последующей организацией нового, порой не свойственного данной территории, но гармонично вписывающегося и дополняющего ее ландшафтную композицию и силуэт.

Одна из основных задач ландшафтной композиции состоит так же в том, чтобы дополнять и раскрывать идею функциональной зоны и ее особенностей. Для того чтобы разнообразить ландшафт, вводят в него другие дополнительные функции наряду с его эмоционально-эстетическим содержанием. Так, например, конкретные формы архитектуры, ее стилевая характеристика, как правило, не играют решающей роли в панорамном восприятии ландшафта, но существенны при формировании конкретного рекреационного комплекса, иногда могут служить акцентами и психологическими направляющими для рекреантов, способствовать более осознанному и осмысленному созерцанию, выделению особо ценных художественных ландшафтов.

Приведенные выше факторы дали основу для разработки типологии рекреационных территорий Нижнего Поволжья с их пространственной организацией. Ландшафтная среда Нижнего Поволжья — это многогранный природный комплекс с разнообразной и богатой флорой. Типы рекреационно-пространственной организации на территориях Нижнего Поволжья можно подразделить по длине луча зрения (просматриваемости ландшафта), его географическим особенностям и стойкости почвенно-травянистого покрова к антропогенным нагрузкам.

Рассмотрим рекреационные системы с точки зрения их размеров. Поскольку различная величина предполагает разную структуру и функциональную организацию, то, следовательно, это обстоятельство не может не учитываться при их организации. Еще более важными являются наличие или отсутствие исторических памятников, богатой или редкой флоры и фауны, социально-демографический состав населения и транспортная доступность с развитостью или отсутствием развитых транспортно-коммуникационных сетей.

На территории региона Нижнего Поволжья можно выделить по форме, площади и типу территорий 3 больших рекреационных образования:

Волго-Ахтубинская пойма (по перспективам освоения и использования находится на 1-м месте), как наиболее приближенная к центрам групповых систем расселения и более социально востребованная. На ее территории находятся: дома отдыха охотников и рыбаков; заказники; представители редкой флоры: дубы-долгожители, лекарственные травы пойм; историко-археологические территории;

на втором месте находятся пойменные и долинные территории Цимлянского водохранилища, так как здесь максимально обширна длина береговой линии, что позволит и более равномерно рассредоточивать потоки рекреантов на оба берега водохранилища, а это создает большой рекреационный резерв как используемых, так и вновь организованных территорий. На этих территориях расположено большое количество природных, археологических, геологических достопримечательностей, здесь преобладают пойменные леса: Марковские левады, Дербеновский угол, Солоновские левады, лес балки Грушевой, тюльпанный заказник, сосновый лес Зеленое кольцо, меловые склоны, курганы;

третья из наиболее крупных рекреационных территорий — территория между руслами рек Медведицы, Дона и их притоками. В плане она похожа на правильный квадрат с возвышенностью в центре. Здесь также существуют дома отдыха охотников и рыбаков, все достопримечательности пойм, но по социальной активности она будет менее заполняемая, так как летняя температура в ней на 3...5 °С ниже, чем на двух предыдущих рекреационных территориях. Здесь преобладают леса, а по статистике рекреационное предпочтение отдается территориям с более развитыми водными структурами, чем лесными.

Разрешение проблемы создания свободных территорий для отдыха в момент продажи земли должно быть закреплено законодательно. Структура таких территорий разнообразна, многогранна, они могут включать все функциональные зоны с различным градостроительным решением — эти территории составили первый тип в классификации рекреационных территорий групповых систем расселения Нижнего Поволжья.

Второй тип — это преимущественно рекреационные территории долинного типа — пойменные территории в долинах малых рек. Площадь занимаемых территорий может колебаться от 10 до 100 км² (Салтовский лес, Козловский лесной массив, озеро Стрекольное, озеро Ларино и другие). Долинные рекреационные территории могут иметь как комплексные территории первого типа — все функциональные зоны отдыха, так и их часть, делая специализацию на каком-либо определенном профиле отдыха. Планировочное решение, в основном, линейное — вдоль русла реки.

И последний, третий тип — это рекреационные территории локального характера — вблизи какого-либо наиболее ценного объекта природы или другой достопримечательности. Площадь их колеблется от 1 до 10 км² (Столбищи, горы Уши, родник Гремучий, ледниковые валуны и др.), это самая простая архитектурная организация. Эти территории могут использоваться для длительного и кратковременного отдыха.

Сопоставление выявленных данных с рекреационной избирательностью населения позволяет обнаружить и спрогнозировать атрактивные рекреационные пространства и их потенциальные рекреационные ресурсы. Приведенные характеристики также позволяют на стадии районной планировки разместить учреждения санаторно-оздоровительного типа с учетом ландшафтных особенностей данного района, специфики и форм оздоровительно-профилактической деятельности лечебных учреждений. Наиболее всеобъемлющим и сочетающим в себе все типы ландшафта является природный комплекс Волго-Ахтубинской поймы.

Выявив основные направления развития ландшафтно-пространственной организации территорий, можно сказать, что качество ландшафтов территорий Нижнего Поволжья благоприятствует их дальнейшему развитию и рекреационному использованию.

© Соколов А.И., 2008

Поступила в редакцию
в декабре 2007 г.

НАШИ АВТОРЫ

Абрамян Сусанна Грантовна	канд. техн. наук, доцент кафедры технологии строительного производства ВолгГАСУ
Балакин Владимир Васильевич	канд. техн. наук, доц., доцент кафедры организации и безопасности движения ВолгГАСУ
Бандурин Николай Григорьевич	д-р техн. наук, профессор кафедры строительной механики ВолгГАСУ
Белоусов Александр Сергеевич	аспирант кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений ВолгГАСУ
Биркин Сергей Михайлович	аспирант кафедры теплогазоснабжения ВолгГАСУ
Богомолов Андрей Александрович	аспирант кафедры теоретической механики ВолгГАСУ
Богомолов Александр Николаевич	заслуженный работник высшей школы РФ, академический советник РААСН, чл.-кор. Российской академии естествознания, член Российского и Международного обществ по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению, председатель Волгоградского регионального отделения РОММГиФ, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, декан строительного ф-та ВолгГАСУ
Вилкова Ирина Михайловна	канд. экон. наук, доцент кафедры изысканий и проектирования транспортных сооружений, ст. науч. сотрудник дорожно-транспортного научно-образовательного центра при ИТС ВолгГАСУ
Гридасова Любовь Игоревна	студент ВиВ-1-03 ВолгГАСУ
Девятков Михаил Михайлович	канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой изысканий и проектирования транспортных сооружений, руководитель Института транспортного строительства ВолгГАСУ
Добряков Андрей Владимирович	аспирант кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ВолГТУ
Дыба Владимир Петрович	д-р техн. наук, проф., профессор кафедры «САПР объектов строительства и фундаментостроение» и кафедры высшей математики Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института), член РОММГиФ
Ерохина Дарья Алексеевна	студент ВиВ-1-03 ВолгГАСУ
Заднепровский Рем Петрович	д-р техн. наук, проф., профессор кафедры нефтегазовых сооружений ВолгГАСУ
Заславская Анна Юрьевна	аспирант кафедры градостроительства, ассистент кафедры дизайна Самарского государственного архитектурно-строительного университета
Злобин Владимир Николаевич	канд. техн. наук, доцент кафедры энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ
Зубакова Наталья Николаевна	соискатель кафедры экологического строительства и городского хозяйства ВолгГАСУ, доц. кафедры социально-культурного сервиса и туризма Волгоградского филиала Российского государственного университета туризма и сервиса
Калошина Светлана Валентиновна	аспирант кафедры строительного производства Пермского государственного технического университета
Клочков Юрий Васильевич	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой высшей математики Волгоградской государственной сельскохозяйственной академии
Куш Людмила Романовна	ст. преподаватель кафедры энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ
Мягкая Таисия Михайловна	канд. техн. наук, доц кафедры водоснабжения и водоотведения ВолгГАСУ
Нестратов Михаил Юрьевич	канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры гидротехнических сооружений ВолгГАСУ
Окунева Екатерина Петровна	аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ
Олянский Юрий Иванович	д-р техн. наук, проф. кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ

Павлющик Сергей Александрович	инженер кафедры «САПР объектов строительства и фундаментостроение» Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института)
Панасов Борис Васильевич	канд. техн. наук, доцент, доц. кафедр энергоснабжения и теплотехники, гидравлики ВолгГАСУ
Панова Ольга Ивановна	аспирант кафедры экономики и управления дорожным хозяйством ВолгГАСУ
Пономарев Андрей Будимирович	д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительного производства Пермского государственного технического университета
Потокина-Курилкина Татьяна Михайловна	доцент кафедры основ архитектурного проектирования, рисунка, живописи и скульптуры ВолгГАСУ, аспирант Московского государственного академического художественного института им. В.И. Сурикова
Проскурнова Ольга Алексеевна	аспирант, ассистент кафедры высшей математики Волгоградской государственной сельскохозяйственной академии
Самойлова Ольга Юрьевна	аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ
Саруханян Мери Валериковна	ассистент кафедры организации и безопасности движения ВолгГАСУ
Соколов Антон Иванович	аспирант кафедры экологического строительства и городского хозяйства ВолгГАСУ
Соловьев Александр Владимирович	соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ, ассистент кафедры механики грунтов, оснований и фундаментов Тюменского государственного архитектурно-строительного университета
Старов Александр Васильевич	канд. техн. наук, доцент кафедры строительной механики ВолгГАСУ
Страчков Константин Михайлович	младший научный сотрудник ООО НЭПП «Саратов-Эль», соискатель по спец. 05.23.05 «Строительные материалы и изделия»
Субботин Анатолий Иванович	канд. техн. наук, доц., доцент кафедры «САПР объектов строительства и фундаментостроение» Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института)
Трохимчук Марина Викторовна	канд. геол.-минерал. наук, доц., зав. кафедрой нефтегазовых сооружений ВолгГАСУ
Фокин Владимир Михайлович	д-р техн. наук., проф., зав кафедрой энергоснабжения и теплотехники ВолгГАСУ
Чередниченко Татьяна Федотовна	канд. техн. наук, доцент кафедры технологии строительного производства ВолгГАСУ
Чернявская Татьяна Антоновна	канд. биол. наук, доц. кафедры экологического строительства и городского хозяйства ВолгГАСУ
Чернявский Юрий Владимирович	ст. преподаватель кафедры социально-культурного сервиса и туризма Волгоградского филиала Российского государственного университета туризма и сервиса
Ширяева Мария Петровна	аспирант кафедры «САПР объектов строительства и фундаментостроение» Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института)
Шиян Станислав Иванович	ген. директор «УкргазНИИпроект», г. Киев
Щекочихина Евгения Викторовна	аспирант, ассистент кафедры гидротехнических и земляных сооружений ВолгГАСУ

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» со второго полугодия 2007 г. выходит в одной серии «Строительство и архитектура», по 4 выпуска ежегодно*.

Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Требования к оформлению статей. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении выписки из решения совета института (для авторов из ВолгГАСУ), выписки из протокола заседания кафедры и одной рецензии. К статьям по разделам технических и естественных наук прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати.

В статье приводятся:

индекс УДК;

на русском и английском языках: фамилия и инициалы автора, заглавие и аннотация (до 500 знаков).

На отдельном листе помещаются сведения об авторах (фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты для связи с редакцией); текст статьи и сведения об авторах заверяются личной подписью автора (авторов) статьи.

Объем статьи — от 3 до 7 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ Microsoft Office (Word 2003); шрифт основного текста — Times New Roman (Сур) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для набора формул используется редактор формул Microsoft MathType 5; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, растровые — в TIF или BMP, графики и диаграммы, построенные в Microsoft Excel, помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, иллюстрации обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах фор-

* Выпуск серий «Технические науки» и «Естественные науки» временно приостановлен; выпуск серии «Гуманитарные науки» прекращен в связи с основанием в ВолгГАСУ нового журнала «Социология города» (информация по тел. (8-844-2)-96-99-25, гл. ред. Б.А. Навроцкий, отв. секретарь редколлегии А.Б. Беспалов).

мата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. Подписи к рисункам выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст таблиц набирается шрифтом Times New Roman (Сур) № 10 (10 пунктов).

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках. В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.1—2003). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Сур) № 9 (9 пунктов).

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректур статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска журнала:

«Естественные науки» — выпуск временно приостановлен;

«Технические науки» — выпуск временно приостановлен;

«Гуманитарные науки» — выпуск прекращен в связи с основанием нового журнала «Социология города»;

«Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря);

июнь (прием статей до 1 марта);

сентябрь (прием статей до 1 июня);

декабрь (прием статей до 1 сентября).

ISSN 1815-4360. Серия «Строительство и архитектура»

Примерные тематические рубрики: Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Тепло-снабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градоостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. 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 *Подразделения / Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета* (публикуются титулы последних выпусков журнала).

Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. Отв. секретарю редсовета «Вестника ВолгГАСУ» Воробьеву В.И. (Тел. (8-442)-96-98-46).

Уточнить условия публикации статей и приобретения очередного номера журнала можно по тел. (8-442)-96-98-46.

По вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, Редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8-442)-96-98-28. E-mail: gorachevaeo@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!

Со второго полугодия 2007 г.
«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*

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

Выпуск серии «Гуманитарные науки» прекращен
в связи с основанием в ВолгГАСУ нового научно-теоретического журнала
«СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»,
в котором публикуются научные статьи и другие материалы по социальным проблемам
развития города. Основные тематические рубрики:
человек в современном городе;
город как экономическая система;
город и власть;
архитектурное пространство индустриального города;
техносфера города: город и экология.
С первого полугодия 2008 г. журнал будет распространяться по подписке (каталог
«Пресса России», индекс 29507).

По вопросам публикации статей в журнале «Социология города»
обращаться к ответственному секретарю редколлегии *А.Б. Беспалову*
по тел. (844-2)-96-99-25.
Консультации по оформлению статей — нач. РИО ВолгГАСУ *О.Е. Горячева*,
тел. (844-2)-96-98-28, E-mail: gorachevaoe@mail.ru

Продолжается прием статей
в очередные выпуски
серий **«Политематическая»**
и **«Строительная информатика»**
электронного научно-технического журнала
«ИНТЕРНЕТ-ВЕСТНИК ВолгГАСУ».

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия,
свидетельство Эл № ФС77-26286 от 17.11.06,
ФГУП НТЦ «Информрегистр»,
гос. регистр. № 0420800065 от 16.10.07,
Международным центром ISSN,
ISSN 1994-0351.

Подробная информация на сайте журнала
www.vestnik.vgasu.ru

Для заметок

Научное издание

ВЕСТНИК
ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

Серия: Строительство и архитектура
2008. Вып. 9 (28)

Редактор *О.Е. Горячева*
Перевод на английский язык *Н.В. Бирюкова*
Компьютерная правка и верстка *О.Е. Горячева, О.В. Горячева*
Компьютерный дизайн *О.Ю. Мелешин, И.А. Бондаренко*
Информационно-библиографическое обслуживание выпуска *И.А. Тамбовцева*

Подписано в печать 05.02.08.
Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Уч.-изд. л. 12,5. Усл. печ. л. 14,35. Тираж 500 экз. Заказ № 9/1

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

Отпечатано в ООО РА «Фортесс»
400131, г. Волгоград, ул. Мира, 19, корп. 2, оф. 520