Министерство образования и науки Российской Федерации

ВЕСТНИК

ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Строительство и архитектура

Выпуск 29 (48)

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

2012

Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroiteľnogo universiteta Seriya: Stroiteľstvo i arhitektura

(Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture)

> Выходит 4 раза в год Основан в 1999 г.

Волгоград ВолгГАСУ

Содержание

ОСНОВАНИЯ	. ФУНДАМЕНТЫ.	. ПОДЗЕМНЫЕ	сооружения.	МЕХАНИКА	ГРУНТОВ

Богомолов А. Н., Маций С. И., Калашников С. Ю., Бабаханов Б. С., Безуглова Е. В., Лейер Д. В., Кузнецова С. В. Причины активизации оползня на федеральной автомобильной дороге г. Сочи и	
мероприятия по его стабилизации	6
Богомолов А. Н., Маций С. И., Бабаханов Б. С., Безуглова Е. В., Лейер Д. В., Кузнецова С. В.	Ü
Стабилизация оползня на участке строительства железной дороги в г. Сочи	15
Богомолов А. Н., Иванов А. С., Богомолова О. А., Ушаков А. Н., Кузнецова С. В. Два новых подхо-	
да к определению горизонтального давления грунта на ограждающие конструкции котлована Богомолова О. А., Богомолов А. Н., Вайнгольц А. И., Нестеров Р. С., Прокопенко А. В., Уша-ков А. Н. Влияние вида расчетной схемы на результаты расчета несущей способности основания	26
ленточного фундамента	36
Богомолова О. А., Бабаханов Б. С., Калиновский С. А., Ушаков А. Н., Богомолов А. Н., Прокопен-ко А. В. Сопоставление результатов расчета устойчивости откосов, выполненных различными мето-	
дами, для реальных объектов	42
Дыба П. В., Скибин Г. М., Дыба В. П. Простейшие верхние оценки несущей способности укреплен-	
ных геотекстилем откосов	54
Боровик В. С., Синяков В. Н., Фомичев В. Т. Определение влияния переуплотнения грунтов на ха-	
рактер контактных взаимодействий дисперсных частиц	61
Алексиков С. В., Беликов Г. И., Санжапов Б. Х., Симончук Д. Н. Методика контроля влажности	
грунтов при строительстве земляного полотна	70

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Корниенко С. В. Тестирование метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах тепловизионного обследования жилого здания	75
Иасляев А. В. Предельно допустимая степень повреждения в зданиях и сооружениях повышенюй ответственности в процессе эксплуатации до землетрясения	80
Кузнецов И. Н. Развитие методов исследования напряженно-деформированного состояния ава- рийных кирпичных зданий	86
Куков А. Н., Перехоженцев А. Г. К оценке температурного режима совмещенного покрытия общественного здания в летний период года	93
АЗИНАХЭМ РАНИПЕТИОЧТО	
Видин Ю. В., Иванов Д. И. Расчет собственных чисел в задаче нестационарной теплопередачи нерез цилиндрическую стенку при граничных условиях второго рода Старов А. В. Пластические деформации круглых пластинок с шарнирным опиранием под дейст-	98
вием осесимметричной нагрузки Беликов Г. И. Оптимизация топологии гиперболоида вращения по условиям прочности и жест-	102
кости Несноков А. В. Особенности совместной работы фрагментов пневматических оболочек	110 115
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Нернышов В. Н., Ковылин А. В. Неразрушающий метод определения теплофизических свойств строительных материалов	123
Рокин В. М., Образцов Д. В. Методы получения наномодифицированных бетонов с заданными прочностными и теплофизическими свойствами	128
Рокин В. М., Злобин В. Н., Шило М. А., Ковылин А. В. Исследование теплоэлектроизоляционных свойств полимерного покрытия	132
Офрихтер В. Г., Лихачева Н. Н. Условие текучести твердых бытовых отходов Миненко Е. Ю., Грачева Ю. В., Кижватова Т. С. Повышение прочности цементного камня путем обработки полиактилового волокна	136 143
Кежев Х. А. Технико-экономическая эффективность гипсосодержащих композитов с применени-	
м вулканических горных пород Козлов Ю. Д., Сидельникова О. П. Технология переработки древесных отходов для использова- ния материалов в агрессивных средах	148 156
ГЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Гарабанов М. Г., Прилепский Д. В. Исследование плотности распределения воды в факелах рас- лыла центробежных форсунок, применяемых в камерах орошения систем кондиционирования воздуха	160
Осипова Н. Н. Выбор рациональной области применения систем газоснабжения при газификации населенных пунктов	167
Неботарев В. И., Новгородский Е. Е. Повышение гидравлической устойчивости систем газо- снабжения	174
Рыжков Е. В., Рыжков В. М. О влиянии внутреннего давления на изгиб трубопроводов	179
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
Боронина Л. В. Исследование влияния турбулентной пульсации на концентрационную поляризацию мембран	186 190
5оронина Л. В. О повышении эксплуатационных характеристик мембраны	190
РАДОСТРОИТЕЛЬСТВО	
Ошкова Н. Г. Инновационное развитие территории в градостроительной деятельности региона на примере Волгоградской области)	196
ГЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ, РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО- АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	
Гокарев А. Г. Градостроительство Ростова-на-Лону в 1920 гг. Концепции и реальная практика	205

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

Азаров В. Н., Барикаева Н. С. Учет пылевого загрязнения атмосферного воздуха при размещении и организации объектов городской среды Соколов И. И., Соколов А. И., Капустина Е. И., Сидоренко В. Ф., Горюнова Е. И. Экотуристическая система г. Волгограда (на примере о. Сарпинский)	213 218
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ	
Зеленцов Л. Б., Зеленцов А. Л., Островский К. Н. Web-приложения — основа современных информационных технологий в строительстве <i>Галишникова В. В.</i> Геометрически нелинейная задача устойчивости стержневых систем: о возможностях программных комплексов	224 231
НАШИ АВТОРЫ	244

Contents

BASEMENTS, FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES. SOIL ENGINEERING	
Bogomolov A. N., Matsiy S. I., Kalashnikov S. Yu., Babakhanov B. S., Bezuglova E. V., Leyer D. V., Kuznetsova S. V. Causes of landslide activation on the federal road in Sochi and measures for its stabilization	
Bogomolov A. N., Matsiy S. I., Babakhanov B. S., Bezuglova E. V., Leyer D. V., Kuznetsova S. V.	6
Landslide stabilization on the section of the railroad construction in Sochi Bogomolov A. N., Ivanov A. S., Bogomolova O. A., Ushakov A. N., Kuznetsova S. V. Two new ap-	15
proaches to determine horizontal soil pressure on building envelopes of pit Bogomolova O. A., Bogomolov A. N., Vayngolts A. I., Nesterov R. S., Prokopenko A. V., Usha-	26
kov A. N. Influence of calculation model on the results of calculation of base load-bearing capacity of strip foundation Bogomolova O. A., Babakhanov B. S., Kalinovski S. A., Ushakov A. N., Bogomolov A. N., Prokopenko A. V. The comparison of the results of calculation of slope stability performed by various methals for each ship to the formula between the formula	36
ods for real objects *Dyba P. V., Skibin G. M., Dyba V. P. Elementary upper estimate of load bearing capacity of slopes	42
strengthened by fabric Borovik V. S., Sinyakov V. N., Fomichev V. T. Determination of soil compaction influence on contact	54
interaction of disperse particle	61
Alexikov S. V., Belikov G. I., Sanzhapov B. Kh., Simonchuk D. N. Control procedure of soil moisture when constructing earth bed	70
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	
Korniyenko S. V. Testing of the calculation method of temperature and moisture operation of building envelopes based on the results of heat insulating examination of the residential building	75
Maslyaev A. V. Extrexe allowed damage degree of buildings and constructions of enhanced responsibility in operation till earthquake	80
Kuznetsov I. N. Development of methods of examination of strain-deformed state of emergency brick buildings	86
Zhukov A. N., Perekhozhentsev A. G. Evaluation of temperature mode of combined covering of a public building in the summer	93
STRUCTURAL MECHANICS	
<i>Vidin Yu. V., Ivanov D. I.</i> Eigenvalue analysis in nonstationary heat transfer through cylinder wall under boundary conditions of the second type	98
Starov A. V. Plastic deforming of circular plates with hinger support under the action of axisymmetric loading	102
Belikov G. I. Layout optimization of hyperboloid of revolution under stability and rigidity conditions Chesnokov A. V. Peculiarities of cooperation of pneumatic envelopes fragments	110 115
BUILDING MATERIALS AND ARTICLES	
Chernyshov V. N., Kovylin A. V. Non-destructive method of determination of thermal-physical proper-	
ties of construction materials Fokin V. M., Obraztsov D. V. Methods of getting nanomodified concrete with given strength and ther-	123
mophysical characteristics Fokin V. M., Zlobin V. N., Shilo M. A., Kovylin A. V. Research of heat and electro insulating properties	128
of polymer coating	132
Ofrikhter V. G., Likhacheva N. N. Conditions for solid waste flow Minenko E. Yu., Gracheva Yu. V., Kizhvatova T. S. Cement stone strength enhancement by polyacrylic	136
fiber processing Khezhev Kh. A. Technical and economical efficiency of gypsum-containing composites with the use of	143
volcanic rocks Kozlov Yu. D., Sidelnikova O. P. The technology of offal timber conversion for usage of materials in	148
aggressive environment	156
HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION	
Tarabanov M. G., Prilepsky D. V. Research of water distribution density in spray of centrifugal nozzles used in irrigation systems of air-conditioning	160

Osipova N. N. Choice of rational application field of gas supply systems when providing gas supply to settlements

167

Chebotarev V. I., Novgorodsky E. E. Increase of hydraulic stability of gas supply systems Ryzhkov E. V., Ryzhkov V. M. The influence of inner pressure on pipeline curve	174 179
WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION	
Boronina L. V. Research of turbulent pulsation influence on concentration polarization on membranes Boronina L. V. Increase of membrane operational characteristics	186 190
URBAN PLANNING	
Yushkova N. G. Innovative development of the area in urban planning of the region (in the example of Volgograd Oblast)	196
THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF THE HISTORIC AND ARCHITECTURAL HERITAGE	
Tokarev A. G. Urban planning of Rostov-on-Don in 1920s. Concepts and practice	205
ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING	
Azarov V. N., Barikayeva N. S. Accounting of dust air pollution at disposition and organization of urban environment objects	213
Sokolov I. I., Sokolov A. I., Kapustina E. I., Sidorenko V. F., Goryunova E. I. Ecotourist recreation in Volgograd (in the example of Sarpinsky Island)	218
IFORMATION OF TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTUR	
Zelentsov L. B., Zelentsov A. L., Ostrovsky K. N. Web-application — base of up-to-date information technology in construction	224
Galishnikova V. V. Geometrically nonlinear problem of frame structure stability: about possibilities of programme complexes	231
OUR AUTHORS	244

ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ

УДК 624.13

А. Н. Богомолов, С. И. Маций, С. Ю. Калашников, Б. С. Бабаханов, Е. В. Безуглова, Д. В. Лейер, С. В. Кузнецова

ПРИЧИНЫ АКТИВИЗАЦИИ ОПОЛЗНЯ НА ФЕДЕРАЛЬНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГЕ г. СОЧИ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЕГО СТАБИЛИЗАЦИИ

Анализируются причины возникновения чрезвычайной ситуации на 196 км Федеральной автомобильной дороги г. Сочи, приведшей к деформациям противооползневых сооружений и дорожного полотна. Методом «обратного» расчета получены значения физико-механических свойств грунтов, соответствующие предельному состоянию склона. Проведены вычисления величин коэффициентов запаса устойчивости и сил оползневого давления, в которых значения прочностных характеристик грунта приняты с учетом результатов обратных расчетов. Установлено, что максимальное отличие величин сил оползневого давления, полученных методом А. Бишопа, от соответствующих значений, полученных на основе анализа напряженно-деформированного состояния грунтового массива, составляет 36 % при величине коэффициента бокового давления грунта $\xi_0 = 0,75$ и 17,5 % при величине коэффициента бокового давления устойчивости оползнеопасного склона при проектировании и расчете анкерного усиления приняты максимальные значения величины оползневого давления, вычисленные при помощи программного комплекса «Епgineer Analysis of Slopes».

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, инженерно-геологические условия, оползневые явления, коэффициент запаса устойчивости, напряженно-деформированное состояние, оползневое давление, противооползневые удерживающие конструкции и их усиление, глубинные анкеры.

The causes of an emergency situation on the 196^{th} kilometer of the Federal road in Sochi, that caused deforming of landslide protection works and roadbed, are analyzed in the article. With the help of «reverse» method the values of physical and mechanical properties of soils, that correspond to slope limit state are calculated. Calculations of safety factor values and landslide pressure forces, in which strength characteristics of the ground values are accepted taking into account inverse calculations are conducted. It was determined that maximum difference between the values of landslide pressure forces obtained by A. Bishop method and corresponding values obtained on the basis of the analysis of stress-strain state of the soil mass is 36 % when the value of lateral earth pressure coefficient is ξ_0 =0,75 and 17,5 % — if the value of lateral pressure coefficient is ξ_0 =0,4. For safer stabilization of landslide slope when designing and calculating anchor strengthening maximum values of the landslide pressure calculated with the help of software system «Engineer Analysis of Slopes» were taken into account.

Key words: emergency, engineering and technological conditions, landslides, stability factor coefficient, stress-strain state, landslide pressure, landslide protection works and their strengthening, deep anchor.

В процессе эксплуатации автомобильной дороги М-27 Джубга — Сочи на 196 км активизировались оползневые подвижки грунта и деформации подпорных стен, построенных в 1970 гг. для инженерной защиты трассы.

Возникновение чрезвычайной ситуации обусловило необходимость проведения мероприятий, в состав которых входят: инженерное исследование склона; выявление и анализ причин активизации оползня; выполнение расчетов устойчивости склона и прочности конструкций; проектирование и устройство дополнительных противооползневых сооружений, и восстановление поврежденных участков дорожного полотна.

І. Состояние склона и причины активизации оползневых явлений

Для установления и проведения анализа фактической ситуации выполнено визуальное исследование оползневого участка, в результате чего выявлено следующее (см. рис. 1).

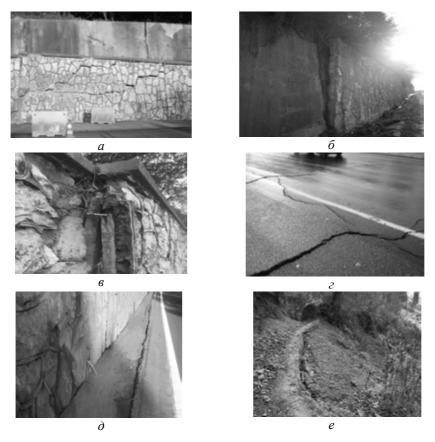


Рис. 1. Виды проявления оползневой активности: деформации существующей подпорной стены, смещение секций и нарушение целостности облицовки подпорной стенки (a); деформации существующей подпорной стены в вертикальном и горизонтальном направлениях (δ , ϵ); деформации полотна автомобильной дороги (ϵ); выход бурового раствора из дренажных отверстий (ϵ); деформации грунта верховой части склона (ϵ)

- 1. На подпорных стенах образовались многочисленные вертикальные и горизонтальные трещины с раскрытием до 10 см (рис. 1, a).
- 2. Произошло разрушение облицовки стен из природного камня, раскрытие деформационных швов, смещение секций существующих стен в сочетании с креном отклонение от вертикали до 20 см (рис. $1, \delta, \epsilon$).

- 3. На проезжей части автомобильной дороги образовалась просадка основания полотна глубиной до 30 см с раскрытием продольных и поперечных трещин шириной от 3 см и более (рис. 1, 2).
- 4. Полностью разрушен водоотводной лоток на обочине автодороги, внутренний водоотвод застенного пространства полностью перекрыт бентонитовым раствором, частичный выход которого наблюдается через дренажные отверстия (рис. $1, \partial$).
 - 5. Грунт в верховой части склона деформирован (рис. 1, е).

Данные инженерно-геологических изысканий [1—3] подтверждают, что на исследуемом участке протекают неблагоприятные физико-геологические процессы: медленно текущий оползень, мощностью до 15 м; плоскостной смыв грунта в период сильных осадков; физическое выветривание коренных пород в откосах искусственных выемок, выработанных под строительство шоссе и др. Подготовка и формирование оползня произошли в результате комплексного воздействия неблагоприятных природных факторов, связанных со структурным строением склона, экзогенной и тектонической трещиноватостью массива, циркуляцией подземных вод по системе трещин и напластований, существованием естественного базиса смещения.

В результате анализа аварийной ситуации и изучения архивных данных [1—3] установлено, что основной причиной активизации оползневых процессов на рассматриваемом участке является строительство газопровода «Джубга — Лазаревское — Сочи» методом горизонтально-направленного бурения.

В нормативных документах, регламентирующих данную технологию, отмечается, что при прокладке труб методом горизонтально-направленного бурения поверхностные препятствия (дороги и ландшафты) не должны нарушаться, а подземная инфраструктура не должна затрагиваться. Однако наши исследования показали, что причиной резкой активизации оползневых процессов послужило нарушение именно этих положений. Нами установлен факт выхода технологического раствора, используемого при горизонтальнонаправленном бурении, в плоскость скольжения тела оползня и на его поверхность. Глины и аргиллиты, слагающие склон, имеют трещиноватую структуру, трещины которой при выполнении буровых работ заполнились технологическим раствором даже при глубине проходки, равной почти 45 м. Это привело к увеличению массы оползневого тела и нарушению циркуляции грунтовых вод, что вызвало переувлажнение грунтов и снижение их физикомеханических свойств. Это, в свою очередь, явилось причиной роста сил оползневого давления, что привело к деформациям противооползневых сооружений и полотна автомобильной дороги.

II. Расчеты устойчивости склона и сил оползневого давления

Для разработки инженерных мероприятий, обеспечивающих стабильность склона и безопасную эксплуатацию автомобильной дороги, выполнен мониторинг [1] и геодезическая съемка деформаций участка [3], проанализированы варианты стабилизации оползневого склона, проведены расчеты устойчивости склона в оболочке программного комплекса «GeoStudio» [4] и расчет сил оползневого давления по программе «Engineer Analysis of Slopes» [5].

Расчеты устойчивости склона выполнены методом общего предельного равновесия [4] при уточнении и коррекции численных значений напряжений при помощи метода конечных элементов [4, 5], что обусловлено сложным инженерно-геологическим строением грунтового массива.

Расчеты оползневых давлений выполнены методом А. Бишопа [6] с учетом величины проектных коэффициентов запаса устойчивости, формализованным в программном комплексе «Engineer Analysis of Slopes» [7].

При основном сочетании нагрузок (транспортная нагрузка $q_{\rm тp} = 44,9$ кПа) коэффициент запаса принят K = 1,2; при особом (сейсмика 8 баллов) — K = 1,08.

Согласно [3] в грунтовой толще выделено шесть инженерногеологических элементов (ИГЭ), физико-механические свойства которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 Расчетные значения физико-механических свойств грунтов

Наименование показателей	Единицы измерений	ИГЭ-1 Техногенный грунт	ИГЭ-2 Глина легкая пылева- тая твердая слабонабухающая	ИГЭ-3 Глина легкая пылева- тая твердая средненабухаю- щая	ИГЭ-4 Глина легкая пылева- тая твердая	ИГЭ-5 Неритмичное чередование песчаника	ИГЭ-6 Неритмичное чередование аргиллита
Удельный вес грунта ү	$\kappa H/m^3$	20,0	20,2	20,79	19,8	23,3	24,4
Удельное сцепление c	кПа	19,0 19,0	45,0 11,0	64,0 16,0	41,0 20,0	_	_
Угол внутреннего трения ф	град	10,0 10,0	17,0 17,0	8 <u>,0</u> 9,0	13,0 13,0	_	_

Примечание: в числителе приведены характеристики грунтов по данным испытаний сдвига грунта ненарушенной структуры, в знаменателе — по подготовленной смоченной поверхности.

Сначала были выполнены расчеты устойчивости склона при значениях физико-механических свойств грунтов, полученных в результате инженерногеологических изысканий (табл. 3, расчетная ситуация 1, a, 1, b). Полученные при этом значения коэффициентов запаса устойчивости ($K_1 = 0.563$; $K_2 = 1.087$) не отражают, по нашему мнению, реального состояния грунтового массива. Так как оползневые подвижки уже начались, о чем свидетельствуют данные инженерно-геологических изысканий [3] и результаты обследования склона, грунтовый массив находится в предельном состоянии, т. е. K = 1.0.

Аналогично тому, как это сделано в работах [8—12], выполнены «обратные» расчеты устойчивости с целью определения численных значений прочностных характеристик грунта, соответствующих предельному состоянию откоса. Структурные изменения, связанные с выходом бентонитового раствора на поверхность склона и переувлажнением грунта, произошли практически только в ИГЭ-4, поэтому уточнению подлежат только его прочностные характеристики. Результаты «обратных» расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2 Значения физико-механических свойств по данным «обратных» расчетов

Наименование показателей	Единицы измерения.	ИГЭ-1	ИГЭ-2	ИГЭ-3	ИГЭ-4
Удельное сцепление с	кПа	_	_	_	43,0
Угол внутреннго трения ф	град	_	_	_	13,2

Используя уточненные значения сдвиговых характеристик грунта ИГЭ-4, проведены расчеты устойчивости склона и сил оползневого давления, результаты которых помещены в таблицу 3. Исходя из этих данных, запроектировано и рассчитано укрепление существующего свайного противооползневого сооружения глубинными анкерами.

Таблица 3 Устойчивость склона с учетом различных расчетных ситуаций

Расчетная ситуация	Описание расчетной ситуации	Коэффициент запаса устойчи- вости К	Оползневое давление <i>E</i> , кН/м
1 <i>a</i>	Естественное состояние склона на момент изысканий. Прочностные свойства грунтов по данным испытаний для сдвига образцов ненарушенной структуры	1,087	785 1638
1 <i>b</i>	Естественное состояние склона на момент изысканий. Прочностные свойства грунтов по данным испытаний по подготовленной смоченной поверхности	0,563	2042 2227
1 <i>c</i>	Естественное состояние склона на момент изысканий. Прочностные свойства грунтов по данным «обратных» расчетов ($K=1,0$)	1,005	1241 1411
2 <i>a</i>	Прогнозное состояние склона с учетом комплекса удерживающих сооружений. Основное сочетание нагрузок (транспортная нагрузка типа $HK - q = 44,9 \text{ к}\Pi a$)	1,347	
2 <i>b</i>	Прогнозное состояние склона с учетом комплекса удерживающих сооружений. Особое сочетание нагрузок (сейсмика 8 баллов)	1,181	_ _

 Π римечание: в числителе приведены значения оползневых давлений по оси низового сооружения, в знаменателе — по оси верхового сооружения.

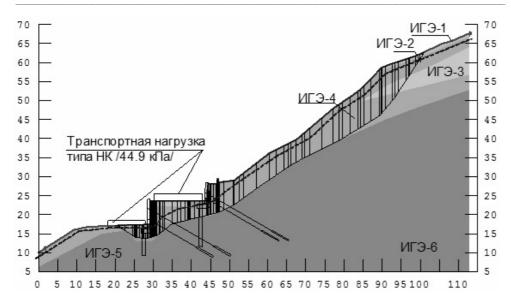


Рис. 2. Расчетная схема в среде программного комплекса «GeoStudio» при определении степени устойчивости склона с учетом прочностных характеристик грунтов, определенных «обратным» расчетом противооползневых сооружений

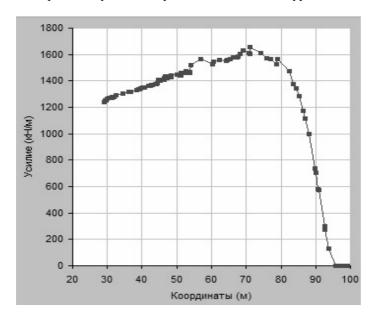


Рис. 3. Эпюра сил оползневого давления, построенная по методу А. Бишопа в среде программного комплекса «Engineer Analysis of Slopes», с использованием Φ MC, полученных «обратным» расчетом

Для контроля адекватности полученных результатов проведено их сопоставление с результатами расчетов величины силы оползневого давления при помощи метода [12], основанного на анализе напряженнодеформированного состояния грунтового массива. Отличие этого метода от тех, которые формализованы в программных комплексах «GeoStudio» и «Engineer Analysis of Slopes», заключается в том, что при его реализации не используется прием разбиения призмы скольжения на отдельные блоки, учитываются три составляющие компоненты напряжения в каждой точке грунтового массива, расчет производится при любом возможном природном значении величины коэффициента бокового давления грунта ξ_0 и т. д.

На рис. 4 приведены построенные в оболочке MathCAD эпюры оползневого давления, полученные при помощи метода [12] и компьютерной программы [13], в которых они формализованы. Причем, последние расчеты проведены при двух значениях величины коэффициента бокового давления ξ_0 = 0,75 и ξ_0 = 0,4, которые характерны соответственно для глинистых и песчаных грунтов [14—15].

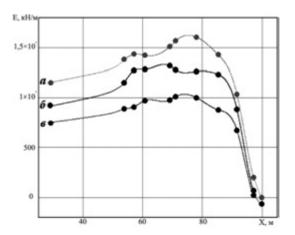


Рис. 4. Эпюры сил оползневого давления, построенные по методу А. Бишопа в среде программного комплекса «Engineer Analysis of Slopes» (a), в среде компьютерной программы «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние» при ξ_0 = =0,4 (δ) и ξ_0 = 0,75 (ϵ)

Сопоставление величин сил оползневого давления $E_{\rm on}$, эпюры которых приведены на рис. 4, показывает, что максимальное отличие результатов, полученных методом [7], от соответствующих результатов, полученных при помощи компьютерной программы [14], составляет 36 % при величине коэффициента бокового давления грунта $\xi_{\rm o}$ = 0,75 и 17,5 % при величине коэффициента бокового давления $\xi_{\rm o}$ = 0,4.



Рис. 5. Фотография участка автомобильной дороги после усиления подпорной стены глубинными анкерами

Основные выводы

- 1. Величины коэффициентов запаса устойчивости склона, вычисленные при численных значениях прочностных свойств грунтов, которые определены в результате сдвиговых испытаний образцов ненарушенной структуры и по методике сдвига по подготовленной смоченной поверхности, не отражают реальную степень устойчивости объекта.
- 2. При расчете коэффициентов запаса устойчивости аналогичных объектов рекомендуется уточнять величины расчетных значений прочностных характеристик грунта при помощи «обратных» расчетов.
- 3. Величины сил оползневого давления, определенные при помощи программного комплекса «Engineer Analysis of Slopes», с максимальной погрешностью в 17,5 % соответствуют величинам сил оползневого давления, вычисленным на основе анализа напряженно-деформированного состояния грунтового массива при значении коэффициента бокового давления грунта ξ_0 = 0,4.
- 4. Для более надежного обеспечения устойчивости оползнеопасного склона при проектировании и расчете анкерного усиления приняты максимальные значения величины оползневого давления, вычисленные при помощи программного комплекса «Engineer Analysis of Slopes», по методу А. Бишопа в соответствующих сечениях грунтового массива.
- 5. Реальное состояние объекта в настоящее время можно считать устойчивым, о чем свидетельствует его фотография, приведенная на рис. 5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Отчет «Анализ оползня, произошедшего в 2010 г. на автодороге М-27 «Джубга Сочи». Сочи : ФГУ Упрдор «Кубань», 2011. 36 с.
- 2. Рабочая документация «Восстановление участка укрепительных сооружений на автомобильной дороге М-27 «Джубга Сочи» до границы с Республикой Грузия (на Тбилиси, Баку), 195+739 км 195+939 км». Краснодар : ГеоПроект, 2010. 85 с.
- 3. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям на объекте 196 км Кудепста. Сочи: СочиТисизПроект, 2010. 101 с.
- 4. Geo-Slope International Ltd. Slope / W for slope stability analysis, user's guide, version 3.Geo-Slope International Ltd. Calgary, Alta, 1996. 344 p.
- 5. *Morgenstern N., Price, V. E.* The analysis of the stability of general slip surfaces // Geotechnique. 1965. Vol. 15. № 1. P. 79—93.
 - 6. Bishop A. W. The use of slip circle in the stability analysis of slopes. Vol. 5. No.1.1955. P. 7—17.
- 7. *Маций С. И., Деревенец Ф. Н.* Engineer Analysis of Slopes (EAS) // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613559 от 13.10.2006 (заявка № 2006612797 от 14.08.2006).
- 8. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов / ПНИИИС Госстроя СССР. М. : Стройиздат, 1984. 80 с.
- 9. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Стройиздат, 2001. 101 с.
- 10. *Безуглова Е. В.* Оползневая опасность и риск смещений грунтов на склонах : авторефер. дис... канд. техн. наук. Краснодар : КубГАУ, 2005. 135 с.
- 11. СНиП 22-02—2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических проессов. Основные положения. M., 2004. 107 с.
- 12. *Цветков В. К.* Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Нижне-Волжское кн. изд-во, 1979. 238 с.
- 13. Evaluating the stress-strain state, the stability factor magnitude and the landslide pressure forces in order to manage the landslide processes / A. N. Bogomolov, O. A. Vikhareva, A. N. Ushakov, S. I. Shiyan // Geotechnical Engineering for Disaster Prevention & Reduction: Proceedings of the International Geotechnical Symposium (IGSS, 2007). Yuzhno-Sakhalinsk: [Kazakhstan Geotechnical Society], 2007. P. 281—285.

- 14. *Богомолов А. Н.* Устойчивость, напряженно-деформированное состояние / А. Н. Богомолов и др. // Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2009613499 ; заявл. 19.05.2009 ; зарег. в реестре программ для ЭВМ 30.06.2009.
- 15. *Вялов С. С.* Реологические основы механики грунтов. М. : Высш. шк., 1978. 447 с.
- 16. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01—83*. М.: Минрегионразвития РФ, 2001. 155 с.
- 1. Otchet «Analiz opolznya, proizoshedshego v 2010 g. na avtodoroge M-27 «Dzhubga Sochi». Sochi : FGU Uprdor «Kuban'», 2011. 36 s.
- 2. Rabochaya dokumentatsiya «Vosstanovlenie uchastka ukrepitel'nykh sooruzheniy na avtomobil'noy doroge M-27 «Dzhubga Sochi» do granitsy s Respublikoy Gruziya (na Tbilisi, Baku), 195+739 km 195+939 km». Krasnodar : GeoProekt, 2010. 85 s.
- 3. Tekhnicheskiy otchet po inzhenerno-geologicheskim izyskaniyam na ob"ekte 196 km Kudepsta. Sochi: SochiTisizProekt, 2010. 101 s.
- 4. Geo-Slope International Ltd. Slope / W for slope stability analysis, user's guide, version 3.Geo-Slope International Ltd. Calgary, Alta, 1996. 344 r.
- 5. *Morgenstern N.*, *Price*, *V. E.* The analysis of the stability of general slip surfaces // Geotechnique. 1965. Vol. 15. № 1. P. 79—93.
- 6. Bishop A. W. The use of slip circle in the stability analysis of slopes. Vol. 5. № 1. 1955. P. 7—17
- 7. Matsiy S. I., Derevenets F. N. Engineer Analysis of Slopes (EAS) // Svidetel'stvo ob ofit-sial'noy registratsii programmy dlya EVM № 2006613559 ot 13.10.2006 (zayavka № 2006612797 ot 14.08.2006).
- 8. Rekomendatsii po kolichestvennoy otsenke ustoychivosti opolznevykh sklonov / PNIIIS Gosstroya SSSR. M.: Stroyizdat, 1984. 80 s.
- 9. SP 11-105-97. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva. Ch. II. Pravila proizvodstva rabot v rayonakh razvitiya opasnykh geologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh protsessov. M.: Stroyizdat, 2001. 101 s.
- 10. *Bezuglova E. V.* Opolznevaya opasnost' i risk smeshcheniy gruntov na sklonakh : avtorefer. dis... kand. tekhn. nauk. Krasnodar : KubGAU, 2005. 135 s.
- 11. SNiP 22-02—2003. Inzhenernaya zashchita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot opasnykh geologicheskikh protsessov. Osnovnye polozheniya. M., 2004. 107 s.
- 12. Tsvetkov V. K. Raschet ustoychivosti otkosov i sklonov. Volgograd : Nizhne-Volzhskoe kn. izd-vo, 1979. 238 s.
- 13. Evaluating the stress-strain state, the stability factor magnitude and the landslide pressure forces in order to manage the landslide processes / A. N. Bogomolov, O. A. Vikhareva, A. N. Ushakov, S. I. Shiyan // Geotechnical Engineering for Disaster Prevention & Reduction: Proceedings of the International Geotechnical Symposium (IGSS, 2007). Yuzhno-Sakhalinsk: [Kazakhstan Geotechnical Society], 2007. P. 281—285.
- 14. *Bogomolov A. N.* Ustoychivost', napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie / A. N. Bogomolov i dr. // Svidetel'stvo o gos. registratsii programm dlya EVM № 2009613499; zayavl. 19.05.2009; zareg. v reestre programm dlya EVM 30.06.2009.
- 15. *Vyalov S. S.* Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov. M.: Vyssh. shk, 1978. 447 s. 16. SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01—83*. M.: Minregionrazvitiya RF, 2001. 155 c.

© Боломолов А. Н., Маций С. И., Калашников С. Ю., Бабаханов Б. С., Безуглова Е. В., Лейер Д. В., Кузнецова С. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Причины активизации оползня на федеральной автомобильной дороге г. Сочи и мероприятия по его стабилизации / А. Н. Богомолов, С. И. Маций, С. Ю. Калашников, Б. С. Бабаханов, Е. В. Безуглова, Д. В. Лейер, С. В. Кузнецова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 6—14.

УДК 624.13

А. Н. Богомолов, С. И. Маций, Б. С. Бабаханов, Е. В. Безуглова, Д. В. Лейер, С. В. Кузнецова

СТАБИЛИЗАЦИЯ ОПОЛЗНЯ НА УЧАСТКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ В г. СОЧИ

Анализируются причины возникновения чрезвычайной ситуации на участке строительства железной дороги г. Сочи, угрожающей безопасности частного домовладения. Методом «обратного» расчета получены значения физико-механических свойств грунтов, соответствующие предельному состоянию склона. Проведены вычисления величин коэффициентов запаса устойчивости и сил оползневого давления, в которых значения прочностных характеристик грунта приняты с учетом результатов обратных расчетов. Установлено, что максимальное отличие величин сил оползневого давления, полученных методом А. Бишопа, от соответствующих значений, полученных на основе анализа напряженно-деформированного состояния грунтового массива, составляет 23 % при величине коэффициента бокового давления грунта $\xi_{\rm o} = 0{,}75$ и от 0 до 10 % — при величине коэффициента бокового давления ξ_0 =0,4. При расчете и проектировании подпорной стенки приняты значения величины оползневого давления, вычисленные при помощи компьютерной программы «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние», что позволило получить экономию строительных материалов примерно в размере 14 % и трудозатрат — в размере приблизительно 20 % по сравнению с проектным решением, реализованным на основе результатов вычислений при помощи программного комплекса «Engineer Analysis of Slopes».

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, инженерно-геологические условия, оползневые явления, коэффициент запаса устойчивости, напряженно-деформированное состояние, оползневое давление, противооползневые удерживающие конструкции и их усиление, подпорные стенки.

The causes of an emergency situations on the section of railroad construction in Sochi, threatening the security of the private houses, are analyzed. With the help of «reverse» method the values of physical and mechanical properties of soils, that correspond to slope limit state are calculated. Calculations of safety factor values and landslide pressure forces, in which strength characteristics of the ground values are accepted taking into account inverse calculations are conducted. It was determined that maximum difference between the values of landslide pressure forces obtained by A. Bishop method and corresponding values obtained on the basis of the analysis of stress-strain state of the soil mass is 23 % when the value of lateral earth pressure coefficient is ξ_0 =0,75 and from 0 to 10 % — if the value of lateral pressure coefficient is ξ_0 =0,4. Values of the landslide pressure calculated by a computer program «Sustainability. Stress-deformed state» are taken into account when calculating and designing retaining wall. Is resulted in 14 % savings of construction materials and labor costs — at a rate of about 20 % compared to design solution that was implemented on the basis of the calculation results using the software system «Engineer Analysis of Slopes».

 $K\,e\,y\,w\,o\,r\,d\,s$: emergency, engineering and technological conditions, landslides, stability factor coefficient, stress-strain state, landslide pressure, landslide retaining structures and their strengthening, retaining walls.

І. Геологические и гидрогеологические особенности оползневого участка Строительство железной дороги Адлер — аэропорт «Сочи» осуществляется на оползнеопасных склонах. Для обеспечения безопасности трассы предусмотрены мероприятия инженерной защиты. При устройстве противооползневых сооружений на участке оползня № 9 произошли подвижки грунта, в результате чего возникла угроза частному домовладению, находящемуся в подножии склона (рис. 1).



Рис. 1. Оползневые проявления: трещины на теле оползня (a) и выпор грунта в языковой части оползня (δ)

Согласно данным инженерно-геологических изысканий [1], выделено четыре инженерно-геологических элемента (ИГЭ). Их физико-механические свойства приведены в табл. 1.

				Свойств	а грунтов	
Наименование показателей	Обозначение	Единицы измерения	ИГЭ-2 глины делювиальные	ИГЭ-3 глины делювиально-оползневые	ИГЭ-4 элювий глиноподобных аргиллитов	ИГЭ-5 аргиллиты глиноподобные
Удельный вес грунта	γ	кH/м ³	18,5	19,3	20,5	20,9
Удельное сцепление	c	кПа	35,0	30,0	51,0	_
Угол внутреннего трения	φ	град	17,0	15,0	18,0	_

На участке отмечены три горизонта подземных вод [2]: верховодка;

воды оползневых накоплений, уровень которых зависит от времени года и достигает максимума в зимне-весенний период, сливаясь с верховодкой;

воды трещиноватой зоны элювия и коренных пород, которые не образуют единого горизонта и характеризующиеся струйчатым типом движения в сторону местных естественных дрен — оврагов, уступов, оползневых цирков.

Питание подземных вод происходит за счет атмосферных осадков. Установившиеся уровни грунтовых вод составляют от 1,0 м для верховодки и до 17,0 м — в коренных породах.



Рис. 2. Сбрасывание отбуренного грунта на тело оползня

Для выявления причин активизации оползня проведено визуальное обследование склона, в результате которого зафиксированы многочисленные трещины, бровки срыва, скопление воды и выпор грунта в языковой части оползня.

Анализ полученных в ходе исследования данных и сведений, содержащихся в отчетах о ранее проведенных исследованиях [1, 2, 3], позволяет выделить основные факторы, способствующие активизации оползневого процесса.

- 1. Подрезка оползневого тела в языковой части при освоении склона жильцами частного дома.
- 2. Выполнение строительно-монтажных работ с отступлением от проекта, нарушение порядка производства работ при строительстве верхового сооружения, выразившееся, в частности, в сбрасывании отбуренного грунта на тело оползня (рис. 2).
- 3. Обильные атмосферные осадки, значительно повышающие степень замачивания и уровни грунтовых вод.
- 4. Изменение сложившейся природной системы водосброса, обусловленное отсутствием временных водоотводов, которые необходимо организовывать на период строительства.

II. Расчет устойчивости склона и сил оползневого давления

Решение о проведении одного или друго инженерного мероприятия, направленного на стабилизацию оползневого процесса, следует принимать, опираясь на данные мониторинга оползневого объекта, геодезической съемки и инженерно-геологических изысканий.

Для выбора состава инженерных противооползневых мероприятий, обеспечивающих стабилизацию оползневых деформаций грунта, прекращение оползневых подвижек, безопасность существующего частного домовладения и полотна железной дороги, выполнены мониторинг поведения склона и геодезическая съемка деформаций участка, результаты которых приведены в работах [1, 3].

Опираясь на эти данные, нами проведен анализ вариантов возможных инженерных решений, повышающих устойчивость склона.

Степень устойчивости склона и величина сил оползневого давления оценивались по результатам их расчетов в оболочках программных комплексов «GeoStudio» и «Engineer Analysis of Slopes».

Для получения результатов расчетов, которые позволяют с наибольшей степенью адекватности оценить реальное состояние исследуемого объекта, расчетные значения прочностных характеристик грунтов, полученные в результате обработки данных инженерно-геологических изысканий по методике [4], откорректированы методом «обратных» расчетов [5—7], т. к. они могут значительно отличаться от значений, наблюдаемых на реальной поверхности скольжения [8].

Таблица 2 Характеристики грунтов по данным «обратных» расчетов устойчивости

	Обозначения	Прочно	стные свойств	а грунта
	характеристик грунтов	ИГЭ-2	ИГЭ-3	ИГЭ-4
	<i>c</i> , кПа	_	12,0	_
Расчетное сечение	ф, град	_	7,5	_

Расчетные прочностные характеристики грунтов назначались в диапазоне [7]:

$$c_{\min} \le c_{\text{back}} \le c_{\text{fac}}$$
, (1)

$$\phi_{\min} \leq \phi_{\text{back}} \leq \phi_{\text{fact}},$$
(2)

где c_{\min} , ϕ_{\min} — минимальные прочностные показатели свойств грунта в уровне поверхности скольжения, определенные по схеме среза по подготовленной смоченной поверхности; c_{back} , ϕ_{back} — прочностные показатели свойств грунта по данным «обратных» расчетов устойчивости; c_{fact} , ϕ_{fact} — прочностные характеристики в естественном состоянии, определенные по схеме среза грунта ненарушенной структуры.

Прочностные характеристики грунтов, уточненные на основе результатов «обратных» расчетов, приведены в табл. 2.

Расчеты устойчивости склонов проведены методом общего предельного равновесия (GLE). Предварительно определено напряженно-деформированное состояние модели методом конечных элементов (рис. 4) [9].

Расчеты оползневых давлений (рис. 5) [3] выполнены методом Бишопа на основе расчета напряженно-деформированного состояния модели [10] с учетом коэффициента запаса [11]: для временных сооружений K=1,1, для постоянных (основных) сооружений K=1,2.

Согласно п. 5.3 СНиП 33-01—2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» [12] для обоснования надежности и безопасности сооружений должны выполняться «расчеты напряженно-деформированного состояния системы «сооружение — основание» на основе применения современных, главным образом, численных методов механики сплошной среды с учетом реальных свойств материалов и пород оснований. Обеспечение надежности системы «сооружение — основание» должно обосновываться результатами расчетов по методу предельных состояний их прочности, устойчивости».

Поэтому нами выполнен дополнительный расчет коэффициентов запаса устойчивости и величин сил оползневого давления методом [13], который построен на результатах анализа напряженно-деформированного состояния грунтового массива основания методом конечных элементов [14]. Формализация метода [13] и МКЭ проведена в компьютерной программе [15], при помощи которой и выполнены все дополнительные расчеты.

Принципиальное отличие метода, описанного в [13], от метода А. Бишопа [16], формализованного в программных комплексах «GeoStudio» и «Engineer Analysis of Slopes», заключается в том, что при его реализации не используется прием разбиения призмы скольжения на отдельные блоки, учитываются три составляющие компоненты напряжения в каждой точке грунтового массива, расчет производится при любом возможном природном значении величины коэффициента бокового давления грунта ξ_0 и т. д.

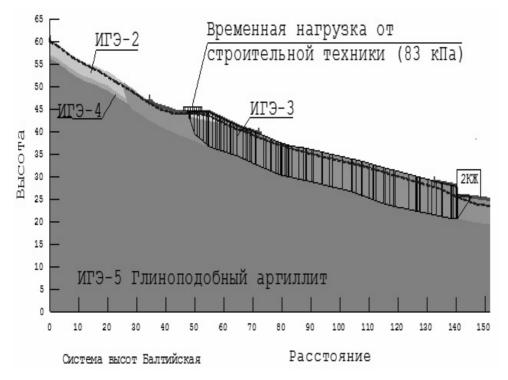


Рис. 3. Расчетная схема в среде программного комплекса «GeoStudio» при определении степени устойчивости склона с учетом прочностных характеристик грунтов, установленных «обратным» расчетом, противооползневых сооружений и дополнительных нагрузок от строительной техники и подрезки склона при K=1,1

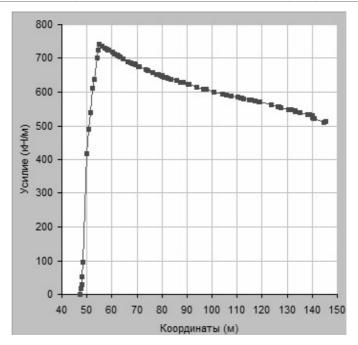


Рис. 4. Эпюра сил оползневого давления, построенная по методу А. Бишопа в среде программного комплекса «Engineer Analysis of Slopes», с использованием ФМС, полученных «обратным» расчетом при K=1,1 и с учетом дополнительных нагрузок от строительной техники и подрезки склона в языковой его части

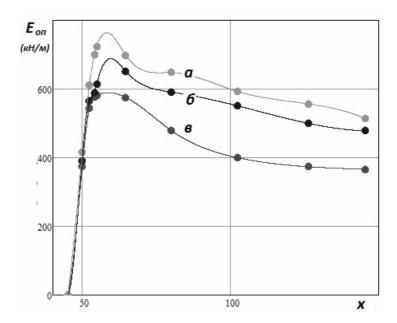


Рис. 5. Эпюры сил оползневого давления, построенные по методу А. Бишопа в среде программного комплекса «Engineer Analysis of Slopes» (a); в среде компьютерной программы «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние» при $\xi_{\rm o} = 0.4$ (δ) и $\xi_{\rm o} = 0.75$ (ϵ) при ϵ 0 при ϵ 1,1 с учетом дополнительных нагрузок от строительной техники и подрезки склона в языковой его части

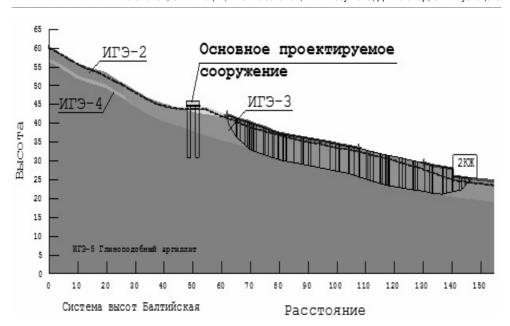


Рис. 6. Расчетная схема в среде программного комплекса «GeoStudio» при определении степени устойчивости склона с учетом прочностных характеристик грунтов, установленных «обратным» расчетом, противооползневых сооружений и дополнительных нагрузок от строительной техники и подрезки склона при K=1,2

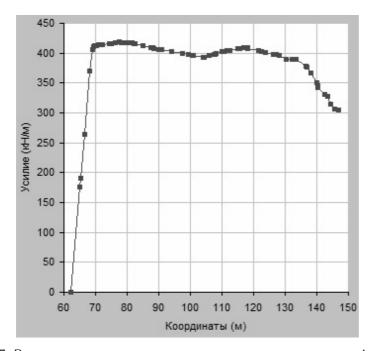


Рис. 7. Эпюра сил оползневого давления, построенная по методу А. Бишопа в среде программного комплекса «Engineer Analysis of Slopes», с использованием ФМС, полученных «обратным» расчетом при K=1,2 с учетом противооползневых сооружений и дополнительных нагрузок от строительной техники и подрезки склона в языковой его части

На рис. 5 и 8 приведены построенные в оболочке MathCAD эпюры оползневого давления, полученные при помощи метода [13] и компьютерной программы [15]. Причем, последние расчеты проведены при двух значениях величины коэффициента бокового давления ξ_0 = 0,75 и ξ_0 = 0,4, которые характерны соответственно для глинистых и песчаных грунтов [17, 18].

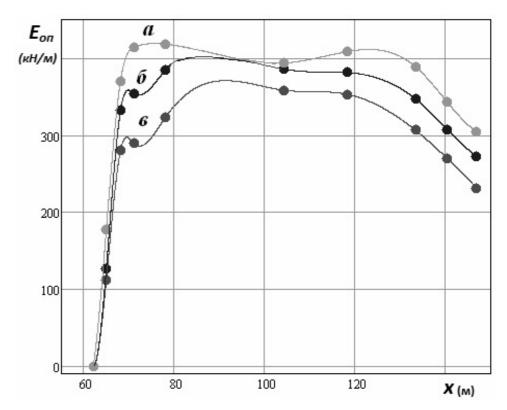


Рис. 8. Эпюры сил оползневого давления, построенные по методу А. Бишопа в среде программного комплекса «Engineer Analysis of Slopes» (a); в среде компьютерной программы «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние» при ξ_0 = 0,4 (δ) и ξ_0 = 0,75 (ϵ) при ϵ 1,1 с учетом противооползневого сооружения и дополнительных нагрузок от строительной техники и подрезки склона в языковой его части

Сопоставление величин сил оползневого давления $E_{\rm on}$, эпюры которых приведены на рис. 5 и 8, показывает, что максимальное отличие результатов, полученных методом, описанным в [16], от соответствующих результатов, полученных при помощи компьютерной программы [15], составляет 23 % при величине коэффициента бокового давления грунта ξ_0 = 0,75 и от 0 до 10% — при величине коэффициента бокового давления ξ_0 = 0,4.

III. Мероприятия по стабилизации оползня

По результатам расчетов устойчивости склона и оползневых давлений в заданном сечении запроектировано противооползневое сооружение в виде подпорной стенки, расположенной в языковой части оползня (рис. 9 и 10). Использование при проектировании результатов расчета по программе [15] позволило получить экономию строительных материалов примерно в размере 14 % и трудозатрат — в размере приблизительно 20 %.



Рис. 9. Расчетная схема в среде программного комплекса «GeoStudio» при оценке степени устойчивости склона с учетом комплекса дополнительных мероприятий по его стабилизации

Предложен перечень дополнительных мероприятий по стабилизации склона:

- 1. Разработан и реализован проект по организации отвода поверхностных вод с тела оползня с целью предотвращения замачивания и переувлажнения оползневого массива атмосферными осадками, обусловливающих существенное снижение прочностных свойств грунтов.
- 2. Выполнены земляные работы по вертикальной планировке языковой части оползня.
- 3. Запроектирована дренажная система для отвода воды из зоны трещиноватого элювия и коренных пород.



Рис. 10. Противооползневое сооружение, построенное в основании оползня

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Отчет по результатам оползневой съемки масштаба 1:2000 по окончательному варианту трассы для разработки проекта «Организация железнодорожного сообщения Сочи Адлер Аэропорт «Сочи» / ГУП «Кубаньгеология» Северо-Кавказский геоэкологический центр. Сочи, 2008. 31 с.
- 2. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям на объекте «Организация железнодорожного сообщения Сочи Адлер аэропорт «Сочи» со строительством новой железнодорожной линии Адлер аэропорт. Противооползневые мероприятия. Сочи : СочиТисизПроект, 2009. 54 с.
- 3. Заключение «О причинах активизации оползневых процессов и степени устойчивости оползня № 9 ПК18+95 ПК20+35 на участке ж. д. сообщения Сочи Адлер аэропорт «Сочи» со строительством новой ж. д. линии Адлер Аэропорт».— Сочи : СочиТисизПроект, $2010 45 \, \mathrm{c}$.
- 4. ГОСТ 20522—96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1997. 12 с.
 - 5. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. M., 2003. 48 с.
- 6. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов / ПНИИИС Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1984. 80 с.
- 7. ОДМ 218.2.006-2010. Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог. M_{\odot} 2011. 115 с.
- 8. *Безуглова Е. В.* Оползневая опасность и риск смещений грунтов на склонах: автореф. дис... канд. техн. наук. Краснодар : КубГАУ, 2005. 134 с.
 - 9. СНиП 11-02—96. Инженерные изыскания для строительства. М., 1997. 104 с.
- 10. Маций С. И., Деревенец Ф. Н. Engineer Analysis of Slopes (EAS) // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613559 от 13.10.2006 г. (заявка № 2006612797 от 14.08.2006).
- 11. СНиП 22-02—2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. М., 2004.
- 12. СНиП 33-01—2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. М.: Госстрой России, 2004.
- 13. Evaluating the stress-strain state, the stability factor magnitude and the landslide pressure forces in order to manage the landslide processes / A. N. Bogomolov, O. A. Vikhareva, A. N. Ushakov, S. I. Shiyan // Geotechnical Engineering for Disaster Prevention & Reduction: Proceedings of the International Geotechnical Symposium (IGSS, 2007). Yuzhno-Sakhalinsk: [Kazakhstan Geotechnical Society], 2007. P. 281—285.
- 14. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимации. М. : Мир, 1986. 318 с.
- 15. *Богомолов А. Н.* Устойчивость, напряженно-деформированное состояние / А. Н. Богомолов и др. // Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2009613499 ; заявл. 19.05.2009 ; зарег. в реестре программ для ЭВМ 30.06.2009.
- 16. Bishop A.W. The use of slip circle in the stability analysis of slopes. Vol. 5. № 1. 1955. P. 7 17
 - 17. *Вялов С.С.* Реологические основы механики грунтов. М.: Высш. шк., 1978. 447 с.
- 18. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М. : Минрегионразвития РФ, 2001. 155 с.
- 19. Справочное пособие к СНиП 2.09.03—85. Проектирование подпорных стен и стен подвалов. M_{\odot} 1990. 87 с.
- 20. Инструкция по проектированию защиты от оползней населенных пунктов, зданий и сооружений / Министерство ЖКХ РСФСР. М., 1976. 88 c.
- 1. Otchet po rezul'tatam opolznevoy s"emki masshtaba 1:2000 po okonchatel'nomu variantu trassy dlya razrabotki proekta «Organizatsiya zheleznodorozhnogo soobshcheniya Sochi Adler Aeroport «Sochi»/ GUP «Kuban'geologiya» Severo-Kavkazskiy geoekologicheskiy tsentr. Sochi : 2008. 31 s.
- 2. Tekhnicheskiy otchet po inzhenerno-geologicheskim izyskaniyam na ob"ekte «Organizatsiya zheleznodorozhnogo soobshcheniya Sochi Adler aeroport «Sochi» so stroitel'stvom novoy

zheleznodorozhnoy linii Adler — aeroport. Protivoopolznevye meropriyatiya. — Sochi : SochiTisizProekt, 2009. — 54 s.

- 3. Zaklyuchenie «O prichinakh aktivizatsii opolznevykh protsessov i stepeni ustoychivosti opolznya \mathbb{N}_9 PK18+95 PK20+35 na uchastke zh. d. soobshcheniya Sochi Adler aeroport «Sochi» so stroitel'stvom novoy zh. d. linii Adler Aeroport». Sochi : SochiTisizProekt, 2010. 45 s.
- 4. GOST 20522—96. Grunty. Metody statisticheskoy obrabotki rezul'tatov ispytaniy. M. : Izd-vo standartov, 1997. $12~\rm s$.
 - 5. SP 11-105-97. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva. M., 2003. 48 s.
- 6. Rekomendatsii po kolichestvennoy otsenke ustoychivosti opolznevykh sklonov / PNIIIS Gosstroya SSSR. M. : Stroyizdat, 1984. 80 s.
- 7. ODM 218.2.006-2010. Rekomendatsii po raschetu ustoychivosti opolzneopasnykh sklonov (otkosov) i opredeleniyu opolznevykh davleniy na inzhenernye sooruzheniya avtomobil'nykh dorog. M., 2011. 115 s.
- 8. *Bezuglova E. V.* Opolznevaya opasnost' i risk smeshcheniy gruntov na sklonakh : avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. Krasnodar: KubGAU, 2005. 134 s.
 - 9. SNiP 11-02—96. Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva. M., 1997. 104 s.
- 10. *Matsiy S. I., Derevenets F. N.* Engineer Analysis of Slopes (EAS) // Svidetel'stvo ob ofitsial'noy registratsii programmy dlya EVM № 2006613559 ot 13.10.2006 g. (zayavka № 2006612797 ot 14.08.2006).
- 11. SNiP 22-02—2003. Inzhenernaya zashchita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot opasnykh geologicheskikh protsessov. Osnovnye polozheniya. M., 2004.
- 12. SNiP 33-01—2003. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Osnovnye polozheniya. M. : Gosstroy Rossii, 2004.
- 13. Evaluating the stress-strain state, the stability factor magnitude and the landslide pressure forces in order to manage the landslide processes / A. N. Bogomolov, O. A. Vik-hareva, A. N. Ushakov, S. I. Shiyan // Geotechnical Engineering for Disaster Prevention & Reduction: Proceedings of the International Geotechnical Symposium (IGSS, 2007). Yuzhno-Sakhalinsk: [Kazakhstan Geotechnical Society], 2007. P. 281—285.
- 14. Zenkevich O., Morgan K. Konechnye elementy i approksimatsii. M.: Mir, 1986. 318 s
- 15. Bogomolov A. N. Ustoychivost', napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie / A. N. Bogomolov i dr. // Svidetel'stvo o gos. registratsii programm dlya EVM № 2009613499 zayavl. 19.05.2009 ; zareg. v Reestre programm dlya EVM 30.06.2009.
 - 16. *Bishop A.W.* The use of slip circle in the stability analysis of slopes. Vol. 5. № 1. 1955. P. 7 17.
 - 17. *Vyalov S.S.* Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov. M.: Vyssh shk, 1978. 447 s.
- 18. SP 22.13330.2011 Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83*. M.: Minregionrazvitiya RF, 2001. 155 c.
- 19. Spravochnoe posobie k SNiP 2.09.03-85. Proektirovanie podpornykh sten i sten podvalov. M., 1990. 87 s.
- 20. Instruktsiya po proektirovaniyu zashchity ot opolzney naselennykh punktov, zdaniy i sooruzheniy / Ministerstvo ZhKKh RSFSR. M., 1976. 88 s.

© Богомолов А. Н., Маций С. И., Бабаханов Б. С., Безуглова Е. В., Лейер Д. В., Кузнецова С. В., 2012

Поступила в редакцию в ноябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Стабилизация оползня на участке строительства железной дороги в г. Сочи / А. Н. Богомолов, С. И. Маций, Б. С. Бабаханов, Е. В. Безуглова, Д. В. Лейер, С. В. Кузнецова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 15—25.

УДК 624.042

А. Н. Богомолов, А. С. Иванов, О. А. Богомолова, А. Н. Ушаков, С. В. Кузнецова

ДВА НОВЫХ ПОДХОДА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ КОТЛОВАНА

Рассматриваются два новых подхода к определению сил активного давления грунта на элементы ограждающих конструкций строительного котлована. Первый из подходов заключается в том, что в качестве изогнутой оси вертикальной балки рассматривается кривая, являющаяся огибающей эпюры гипотетических горизонтальных перемещений, которые могут получить точки, лежащие на вертикальной поверхности откоса, при условии, что под действием собственного веса и временной нагрузки откос деформируется не разрушаясь. Второй подход основан на ранее предложенном нами методе расчета сил оползневого давления. В статье рассмотрены примеры определения сил активного давления при помощи предлагаемых методов и классического метода, основанного на теории предельного равновесия. Проведено сопоставление полученных результатов, отмечена возможность получения существенного экономического эффекта и необходимость проведения экспериментальных исследований для обоснования возможности практического использования сделанных предложений.

Ключевые слова: активное давление грунта, ограждающие элементы котлована, коэффициент бокового давления, изогнутая ось балки, силы оползневого давления, метод предельного равновесия.

The article contains information about two new approaches for determination of active earth pressure forces on building envelopes of the pit. The main idea of the first approach is that the curve is considered as a defected axis of vertical beam. This curve is the envelope of hypothetical horizontal movement diagrams that can get points on the vertical surface of the slope under condition that the slope warps without destroying under its own weight and imposed load. The second approach is based on the proposed above method of landslide pressure forces calculation. In the article examples of determination of active forces pressure with the help of the proposed methods as well as classical ones based on the theory of limiting equilibrium are presented. The comparison of the results is carried out, the possibility of obtaining significant economic benefits and the need for experimental studies to justify the possible practical application of the proposals is noted.

Key words: active earth pressure, building envelopes of the pit, coefficient of lateral pressure, curved axis of the beam, landslide pressure forces, method of limit equilibrium.

В связи с увеличением этажности подземных частей зданий увеличивается и глубина строительных котлованов. Для обеспечения безопасности производства строительных работ необходимо гарантировать устойчивость бортов котлована, чего можно достигнуть, используя различные ограждающие конструкции. Определение параметров этих конструкций осуществляется на основе результатов расчетов величины давления грунтовых масс на ограждение.

Определение давления сыпучего тела на ограждающую поверхность является одной из сложных задач геомеханики, при решении которой приходится рассматривать систему взаимодействующих тел: собственно грунтового массива, слагающего борт котлована, удерживающей конструкции ограждения и основания котлована. Если на дневной поверхности грунта в

непосредственной близи от котлована имеется нагрузка (расположено здание, складированы строительные конструкции, установлены машины или механизмы и т. д.), то задача усложняется.

Давление, оказываемое грунтом на ограждающую конструкцию, зависит не только от ее высоты и ориентации относительно вертикали, формы границы дневной поверхности грунтового массива и его механических свойств, но и от жесткости ограждающей конструкции и свойств основания котлована.

Получить решение задачи о давлении грунта на ограждение с учетом перечисленных выше факторов весьма сложно, если принимать не всегда корректные допущения. Поэтому актуален вопрос о совершенствовании соответствующих методов расчета, при этом критерием оценки новаций должна служить степень совпадения результатов расчета с данными натурных наблюдений и опытов.

Нами предлагаются два новых подхода к решению этой задачи, которые исключают необходимость принимать какую-либо гипотезу о форме эпюры активного давления грунта, позволяют выполнять расчеты для бортов котлованов неоднородного геологического строения, при любом возможном в природе значении коэффициента бокового давления грунта ξ_0 .

Суть первого подхода заключается в следующем.

- 1. Используя механико-математическую модель, основанную на методе конечных элементов, и наделенную реальными свойствами грунта, слагающего борт котлована, определяем численные значения горизонтальных перемещений точек, лежащих на его свободной вертикальной поверхности.
- 2. Строим соответствующую эпюру горизонтальных перемещений и записываем аппроксимирующее выражение для кривой, ее образующей.
- 3. Вертикальную жесткозаделанную балку на упругом основании «загружаем» построенной эпюрой перемещений, изменив знаки перемещений на противоположные.
- 4. Решая контактную задачу для балки на упругом Винклеровском основании, определяем величину максимального изгибающего момента, по значению которого проводим подбор сечения элементов ограждающей конструкции.

В качестве примера рассмотрим вертикальный откос высотой H=15 м, сложенный двумя однородными слоями глинистого грунта, горизонтальная граница которых имеет отметку дна котлована.

Предположим, что физико-механические характеристики грунтов, представляющих инженерно-геологические элементы № 1; 2, имеют следующие значения: объемный вес $\gamma = 2 \text{ т/m}^3$, угол внутреннего трения $\phi = 14^\circ$, удельное сцепление c = 36 кПа, модуль деформации $E_o = 12 \text{ МПа}$ (ИГЭ-1) и объемный вес $\gamma = 2 \text{ т/m}^3$, угол внутреннего трения $\phi = 20^\circ$, удельное сцепление c = 68 кПа, модуль деформации $E_o = 24 \text{ МПа}$ (ИГЭ-2) [1].

Величина коэффициента бокового давления принята равной $\xi_o = 0.75$ [2].

Откос нагружен равномерно распределенной нагрузкой интенсивности $q=1.5\gamma H$, которая приложена на расстоянии L=7.5 м от его бровки, ширина нагружаемого участка B=15 м.

Для решения задачи составлена механико-математическая модель метода конечных элементов и расчетная схема МКЭ, которая состоит из 15300 конечных элементов, сопряженных в 7839 узлах, при этом матрица жесткости системы имеет ширину 136 (рис. 1).

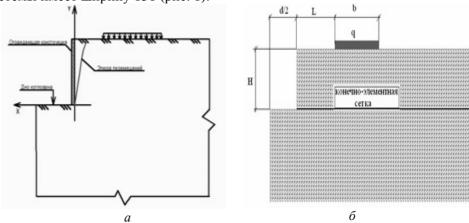


Рис. 1. Геометрические параметры механико-математической модели (a) и фрагмент расчетной конечно-элементной схемы (b) для решения задачи о расчете ограждения глубокого котлована

Вычисление перемещений точек откоса, расположенных на его вертикальной поверхности, проводилось при помощи компьютерной программы [3].

На рис. 2 изображена эпюра горизонтальных перемещений точек U, м, лежащих на свободной вертикальной поверхности откоса котлована, которые определены при помощи компьютерной программы [3]. Кривая, образующая границу эпюры, является искривленной осью элемента ограждающей конструкции.

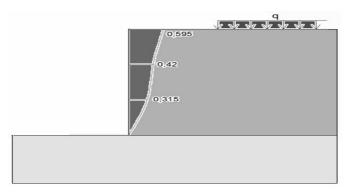


Рис. 2. Эпюра горизонтальных перемещений точек вертикальной поверхности откоса

Уравнение этой кривой можно записать в виде:

$$U_{x} = 0.005y^{3} - 0.078y^{2} + 0.396y + 2.421.$$
 (1)

Используя дифференциальное уравнение изгиба балки

$$\frac{d^2U_x}{dv^2} = \frac{M_z}{EY},\tag{2}$$

подсчитаем численные значения максимальных изгибающих моментов и проведем подбор сечений стальных элементов шпунтового ограждения в соответствии с ГОСТ 8239-72, 8240-72, 8509-72, учитывая при этом, что модуль упругости для стали марки С 38/23 равен $E=20,6\cdot10^{10}\,\mathrm{H/m^2}$, ее расчетное сопротивление равно $R=210\,$ МПа, а величина коэффициента условий работы равна $\gamma_{c}=1,1\,$ [4].

Оказалось, что условие прочности будет выполнено, если применить стальную двутавровую балку № 14 с размерами H=0.14 м и B=0.073 м или стальной швеллер № 12 с размерами H=0.12 м и B=0.052 м.

Суть *второго* подхода заключается в том, что для определения величины давления на шпунтовое ограждение применяется метод, основанный на анализе напряженно-деформированного состояния грунтового массива. Использование этого метода, который подробно описан в работе [5], позволяет найти решение при любом природном значении величины коэффициента бокового давления грунта ξ_0 и не принимать какую-либо гипотезу о форме эпюры бокового давления. Для адекватной оценки результатов расчета рассмотрим тот же объект.

На рис. З изображены области пластических деформаций и вероятная линия скольжения, вероятные площадки сдвига, линия скольжения, пересекающая оба слоя грунта, и картины изолиний безразмерных (в долях γh) вертикальных σ_z , горизонтальных σ_x и касательных τ_{zx} напряжений в грунтовом массиве, построенные при помощи программы, приведенной в [3].

Из рис. З видно, что практически вся приоткосная область верхнего слоя грунта находится в пластическом состоянии. Если не учитывать этого обстоятельства и определить величину коэффициента запаса устойчивости вертикального откоса K, исходя из условия упругого распределения напряжений, как это делается при использовании традиционных методов расчета устойчивости, то получим K=0,55.

Используя известный прием [6] повышения расчетных значений величин удельного сцепления и тангенса угла внутреннего трения в $K/K_{\rm np}$ раз, определим такие значения С и ϕ , при которых расчетное значение будет принимать значения K =1,2; 1,1; 1,01. Гипотетически устойчивое состояние откоса в этих случаях будут обеспечивать «фиктивные» удерживающие силы (терминология работы [5]), соответствующие увеличенным в $K/K_{\rm np}$ прочностным характеристикам грунта.

Элементы ограждения котлована рассчитываются на величины «фиктивных» сдвигающих сил, равных разности величин «фиктивной» удерживающей силы и реальной удерживающей силы, вычисленных для одной и той же линии скольжения [5].

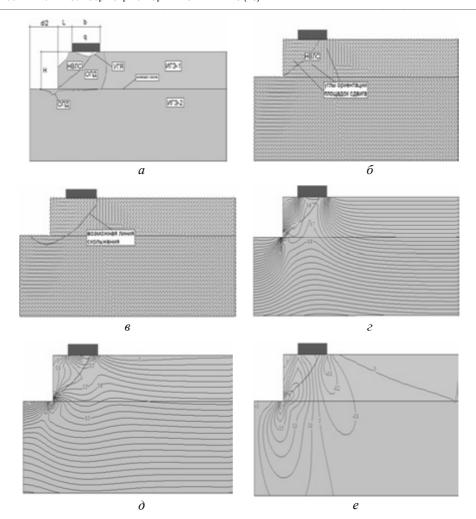


Рис. 3. Области пластических деформаций и наиболее вероятная линия скольжения (a), наиболее вероятные площадки сдвига (b), линия скольжения, пересекающая оба слоя грунта (b), и картины изолиний безразмерных (b) долях (b) вертикальных (b), горизонтальных (b) и касательных (b) напряжений в грунтовом массиве, построенные при помощи программы (a)

На рис. 4—6 изображены наиболее вероятные линии скольжения и соответствующие им эпюры удерживающих и сдвигающих сил, построенные для вертикального борта котлована, параметры которого описаны выше, для трех значений обеспечиваемой величины коэффициента запаса устойчивости K =1,2; 1,1; 1,01.

В результате проведения вычислений построены эпюры горизонтального давления на гипотетическую вертикальную подпорную стенку, которые приведены на рис. 4—6, ε . Отметим, что ординаты эпюры приведены в долях γh и имеют размерность, т/m^2 .

После этого известными методами [7] подобраны сечения стандартных стальных прокатных профилей, которые для всех рассмотренных случаев приведены в табл. 1.

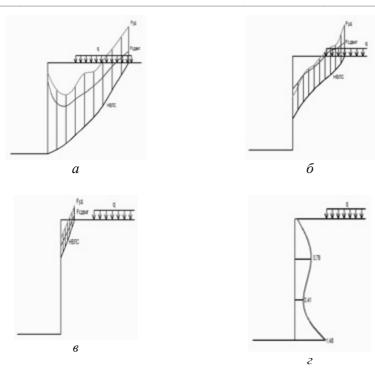


Рис. 4. Наиболее вероятные линии скольжения, построенные из точек A (a), B (δ), C (s), соответствующие эпюры удерживающих и сдвигающих сил и эпюра сил бокового давления грунта (s) при условии, что $K_A = K_B = K_C = 1,2$

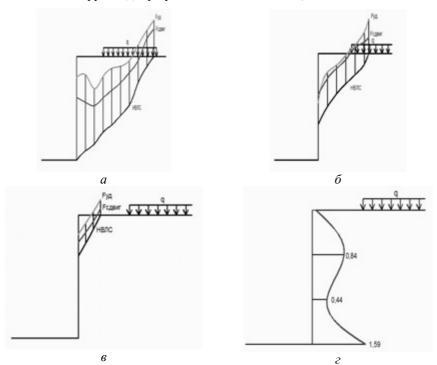


Рис. 5. Наиболее вероятные линии скольжения, построенные из точек A (a), B (δ), C (ϵ), соответствующие эпюры удерживающих и сдвигающих сил и эпюра сил бокового давления грунта (ϵ) при условии, что $K_A = K_B = K_C = 1,1$

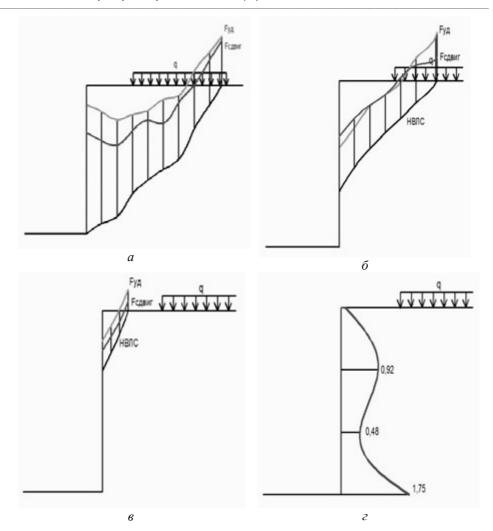


Рис. 6. Наиболее вероятные линии скольжения, построенные из точек A (a), B (δ), C (ϵ), соответствующие эпюры удерживающих и сдвигающих сил и эпюра сил бокового давления грунта (ϵ) при условии, что $K_A = K_B = K_C = 1,01$

Следует отметить, что эпюры горизонтального давления, полученные нами, весьма близки по форме эпюрам горизонтального давления, полученных В. Ф. Раюком, в результате проведения лабораторных исследований [8].

Проведем теперь сопоставление полученных нами результатов с результатами расчетов, проводимых общепринятыми методами, основанными на теории предельного равновесия В. В. Соколовского [9, 10].

Для построения эпюры активного давления на шпунтовое ограждение воспользуемся известной формулой [9]:

$$q = (\gamma z + q) \operatorname{tg}^{2} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) - 2c \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right), \tag{3}$$

где z — вертикальная координата, отсчитываемая вниз от дневной поверхности грунта; q – интенсивность временной нагрузки.

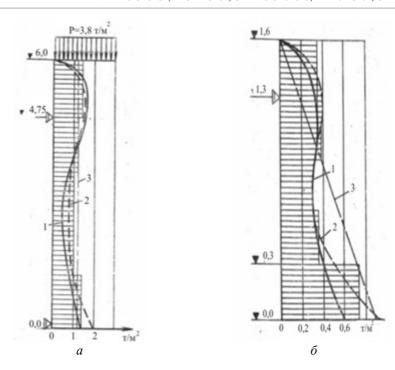


Рис. 7. Эпюры бокового давления, полученные В. Ф. Раюком [8], в результате проведения лабораторных исследований: при наличии временной нагрузки на поверхности засыпки (a) и без нее (δ)

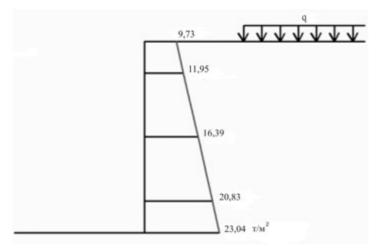


Рис. 8. Эпюра активного давления грунта на шпунтовое ограждение котлована, построенная при помощи формулы (3)

При этом эпюра активного давления грунта имеет вид, приведенный на рис. 8.

Рассчитывая величину активного давления, мы не учитывали того факта, что временная нагрузка находится на некотором расстоянии от бровки котлована, и естественно идет в запас прочности.

Считая, что шпунтовое ограждение работает как вертикальная жесткозащемленная балка, и определив максимальную величину изгибающего момента равной $M_{\rm max}=324,375$ кНм, исходя из условия прочности выбираем по сортаменту двутавровую балку № 20а, имеющую геометрические размеры H=200 мм; B=110 мм и осевой момент сопротивления $W_x=203$ см 3 . Рассматривая сечение шпунта в виде швеллера, по сортаменту выбираем швеллер № 22 а с геометрическими размерами H=220 мм; B=87 мм и осевым моментом сопротивления $W_x=212$ см 3 .

Таблица 1

Расчетный метод	Сорта- мент <i>К</i>	Швеллер	Двутавр
Горизонтальных перемещений (предлагаемый)	_	№ 12; $H = 120$ мм; $B = 52$ мм	№ 14; <i>H</i> = 140 мм; <i>B</i> = 73 мм
Оползневого давления (предлагаемый)	1,2	№ 14; $H = 140$ мм; $B = 58$ мм	№ 14; <i>H</i> = 140 мм; <i>B</i> = 73мм
	1,1	№ 14; $H = 140$ мм; $B = 58$ мм	№ 14; <i>H</i> = 140 мм; <i>B</i> = 73мм
[5]	1,01	№ 14а; $H = 140$ мм; $B = 62$ мм	№ 14; <i>H</i> = 140 мм; <i>B</i> = 73 мм
По Г. К. Клейн [9]	_	№ 22a; <i>H</i> = 220 мм; <i>B</i> = 87 мм	№ 20a; <i>H</i> = 200 мм; <i>B</i> = 110 мм

Для удобства сопоставления результатов расчетов, сведем их в таблицу, расположив в том же порядке, в каком проводился расчет. Используя, приведенные в [7] данные о весе одного метра прокатной балки, и сделав несложные расчеты, определим, что в случае применения стального швеллера в качестве элемента ограждающей конструкции экономия (в пересчете на вес стали) составит 49,5 %, а во втором — от 29 до 41,5 %, по сравнению с результатами расчетов по общепринятой методике, приведенной в [9]. Если в качестве элемента ограждения используется двутавр, то соответствующая экономия металла составляет от 13,7 до 35 %.

Выводы.

- 1. Использование обоих предложенных методов для расчета шпунтового ограждения строительного котлована обеспечивает существенную экономию металла (от 13,7 до 49,5 %).
- 2. Форма эпюр сил активного давления грунта, полученных вторым из предлагаемых методов, практически совпадает с формой соответствующих эпюр, построенных на основе проведения экспериментов независимо от нас сторонним автором.

Для внедрения предлагаемых методов в расчетную практику необходимо провести их широкую апробацию и экспериментальное обоснование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Каган А. А. Расчетные характеристики грунтов. М.: Стройиздат, 1985. 247 с.
- 2. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высш. шк., 1978. 447 с.
- 3. *Богомолов А. Н.* Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние / А. Н. Богомолов и др. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г.
- 4. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01—83*. М.: Минрегионразвития РФ, 2001. 155 с.
- 5. Bogomolov A. N. Evaluating the stress-strain state, the stability factor magnitude and the landslide pressure forces in order to manage the landslide processes /A. N. Bogomolov, O. A. Vikhareva, A. N. Ushakov, S. I. Shiyan // Geotechnical Engineering for Disaster Prevention & Reduction: Proceedings of the International Geotechnical Symposium (IGSS, 2007). Yuzhno-Sakhalinsk: [Kazakhstan Geotechnical Society], 2007. P. 281—285.
- 6. Гинзбург Л. К. Противооползневые удерживающие конструкции. М. : Стройиздат, 1979. 80 с.
- 7. ГОСТ 19425—74. Балки двутавровые и швеллеры стальные специальные (сортамент). М.: Изд-во стандартов, 1986. 7 с.
- 8. *Раюк В. Ф.* Расчет бокового давления грунта на вертикальную грань подпорной стенки с учетом ее деформации и смещения // Гидротехническое строительство. 1968. № 9. С. 35—40.
 - 9. Клейн Г. К. Строительная механика сыпучих тел. М. : Госстройиздат, 1956. 252 с. 10. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды. М. : Гостехиздат, 1954. 275 с.
 - 1. Kagan A. A. Raschetnye kharakteristiki gruntov. M.: Stroyizdat, 1985. 247 s.
 - 2. Vyalov S. S. Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov. M.: Vyssh. shk., 1978. 447 s.
- 3. *Bogomolov A. N.* Ustoychivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) / A. N. Bogomolov i dr. // Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g.
- 4. SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01—83*. M.: Minregionrazvitiya RF, 2001. 155 c.
- 5. Bogomolov A. N. Evaluating the stress-strain state, the stability factor magnitude and the landslide pressure forces in order to manage the landslide processes /A. N. Bogomolov, O. A. Vikhareva, A. N. Ushakov, S. I. Shiyan // Geotechnical Engineering for Disaster Prevention & Reduction: Proceedings of the International Geotechnical Symposium (IGSS, 2007). Yuzhno-Sakhalinsk: [Kazakhstan Geotechnical Society], 2007. P. 281—285.
- 6. Ginzburg L. K. Protivoopolznevye uderzhivayushchie konstruktsii. M.: Stroyizdat, 1979. 80 s.
- 7. GOST 19425—74. Balki dvutavrovye i shvellery stal'nye spetsial'nye (sortament). M. : Izdatel'stvo standartov. 1986. 7 s.
- 8. Rayuk V. F. Raschet bokovogo davleniya grunta na vertikal'nuyu gran' podpornoy stenki s uchetom ee deformatsii i smeshcheniya // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. 1968. N_2 9. S. 35—40.
 - 9. *Kleyn G. K.* Stroitel'naya mekhanika sypuchikh tel. M.: Gosstroyizdat, 1956. 252 s. 10. *Sokolovskiy V. V.* Statika sypuchey sredy. M.: Gostekhizdat, 1954. 275 s.
 - © Богомолов А. Н., Иванов А. С., Богомолова О. А., Ушаков А. Н., Кузнецова С. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Два новых подхода к определению горизонтального давления грунта на ограждающие конструкции котлована / А. Н. Богомолов, А. С. Иванов, О. А. Богомолова, А. Н. Ушаков, С. В. Кузнецова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 26—35.

УДК 624.131

О. А. Богомолова, А. Н. Богомолов, А. И. Вайнгольц, Р. С. Нестеров, А. В. Прокопенко, А. Н. Ушаков

ВЛИЯНИЕ ВИДА РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЯ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА

Для двухслойного грунтового основания, сложенного мягкопластичным суглинком, численным расчетом определены величины предельно допустимой нагрузки для четырех видов часто используемых расчетных схем. Установлено, что величина расчетного сопротивления зависит от ширины фундамента, мощности и физико-механических свойств первого слоя основания, величины отношения модулей деформации слоев и, конечно же, используемой расчетной схемы. Заглубление фундамента оказывает значительное влияние на величину критических нагрузок, однако способ его учета несущественно сказывается на получаемых результатах. При достижении величиной отношения модулей деформации слоев некоторого значения она, при всех прочих равных условиях, перестает влиять на значения критических нагрузок.

Ключевые слова: расчетная схема основания, двухслойное основание ленточного фундамента, расчетное сопротивление и предельно допустимая нагрузка, заглубление фундамента, модуль деформации, графические зависимости.

For a two-layer soil foundation, composed of flexible loam, by numerical calculation were defined maximum permissible load values for four most common types of design schemes. It is determined that the value of calculated resistance depends on the width of the foundation, power, physical and mechanical properties of the first layer of the foundation, the ratio of the deformation modulus of layers and, of course, used calculation model. Foundation embedding has a significant influence on the critical load value, however, the way of its account does not significantly affect the results obtained. When the ratio value of layer's deformation modulus reaches some value, under all other equal conditions, it ceases to affect the critical loads values.

 $K\,e\,y\,\,w\,o\,r\,d\,s$: base calculation model, two-layer base of strip foundation, designed resistance and maximum permissible load, foundation embedding, module of deformation, graphic dependence.

В работах [1, 2] описаны результаты детального анализа распределения напряжений в двухслойном основании ленточного фундамента.

В качестве факторов, влияющих на напряженное состояние грунтового массива, рассматривались виды расчетных схем, толщина верхнего слоя грунта и отношение модулей деформации слоев. Установлено, что все эти факторы в той или иной степени оказывают влияние на картины распределения напряжений в активной зоне фундамента. Следовательно, их влияние на величину несущей способности основания тоже должно быть ощутимым.

Для качественной и количественной оценки этого влияния проведены расчеты величины расчетного сопротивления R для двухслойного основания, верхний слой которого сложен суглинком мягкопластичным со следующими физико-механическими свойствами: объемный вес $\gamma=2$ т/м³, удельное сцепление C=0.18 кг/см², угол внутреннего трения $\phi=18^\circ$, а величина коэффициента бокового давления $\xi_0=0.75$ [3, 4].

Все вычисления и графические построения выполнены при помощи компьютерной программы, разработанной в ВолгГАСУ [5].

На рис. 1 представлены фрагменты расчетных схем, которые использованы нами при проведении исследования. Расчетные схемы (a, δ) представляют собой прямоугольник размерами $13b \times 6b$, к поверхности которого приложена

равномерно распределенная нагрузка шириной b. Эти расчетные схемы состоят из 17100 треугольных конечных элементов, сопряженных в 8736 узлах, ширина матрицы жесткости системы равна 196. Эти расчетные схемы отличаются только тем, что в схеме (δ) заглубление фундамента имитируется дополнительными боковыми нагрузками интенсивности $q_{\rm бок} = \gamma h_{\rm 3}$.

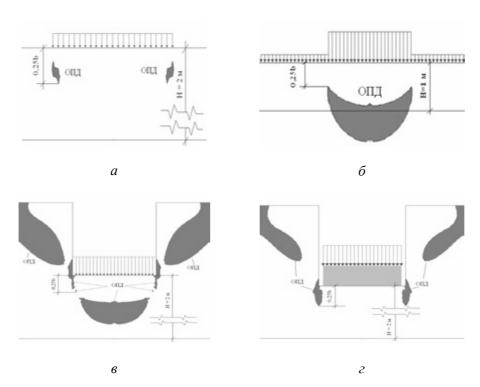


Рис. 1. Виды используемых расчетных схем

Расчетные схемы $(\mathfrak{s}, \mathfrak{c})$ имеют те же размеры и вырез в виде прямоугольника размером $b \times b$, обеспечивающим заглубление фундамента. Они состоят соответственно из 22800 и 21500 элементов, сопряженных в 11617 и 10967 узлах, а ширина матриц жесткости соответствующих систем равна 234 и 246. Расчетная схема (∂) составлена таким образом, что нагрузка передается на основание через жесткий штамп, физико-механические и деформационные свойства которого определены так же, как это сделано в работе $[\mathfrak{d}]$.

На расчетные схемы наложены следующие граничные условия: в точках, лежащих на ее вертикальных границах, горизонтальные перемещения равны нулю, а вертикальные — не ограничены. С другой стороны, в точках расчетной схемы, лежащих на ее нижней горизонтальной границе, отсутствуют вертикальные перемещения; крайние точки нижней границы неподвижны, на перемещения точек, расположенных внутри расчетной схемы, ограничения не наложены.

На рис. 2 приведены графические зависимости величины предельно допустимой нагрузки $P_{\rm kp} = P_{\rm пд}$ от величины отношения $E_{\rm os} / E_{\rm oh}$ для заглубленного фундамента при различных значениях его ширины b, которые получены при использовании расчетной схемы (e).

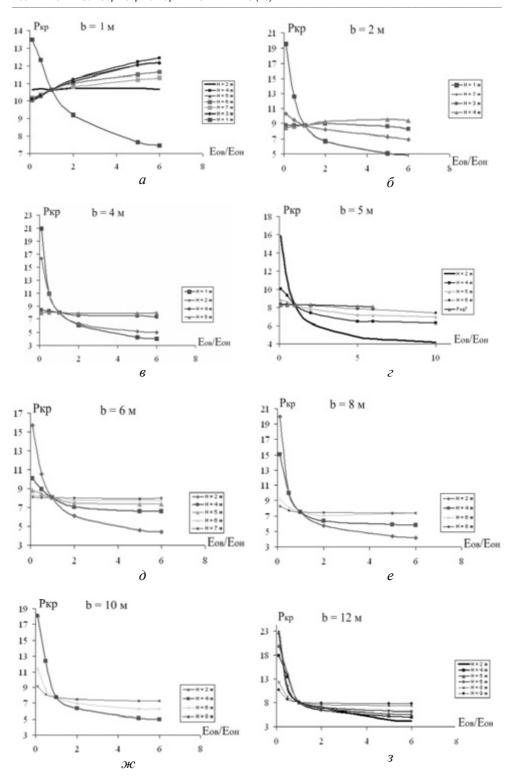


Рис. 2. Графические зависимости вида $P_{\rm ng} = F(E_{\rm ob} \, / \, E_{\rm oh})$ при различной ширине фундамента b

Из этих графиков видно, что при увеличении отношения $E_{\rm ob}/E_{\rm oh}$ величина предельно допустимой нагрузки уменьшается и, начиная с некоторого значения $E_{\rm ob}/E_{\rm oh}$, перестает зависеть от этого параметра.

В результате проведения вычислений получены данные, по которым построены графические зависимости (рис. 3), показывающие, что для любой величины отношения ширины фундамента к глубине его заложения b/h_3 существует такое значение толщины верхнего слоя основания, когда величина $E_{\rm ob}$ / $E_{\rm oh}$ перестает оказывать влияние на процесс развития ОПД под краями фундамента (a) и, что при увеличении отношения b/h_3 , величина предельно допустимой нагрузки на основание уменьшается (δ). Первая из этих зависимостей с точностью до 2,5 % аппроксимируется прямой линией, а вторая с точностью до 5,5 % — логарифмической кривой.

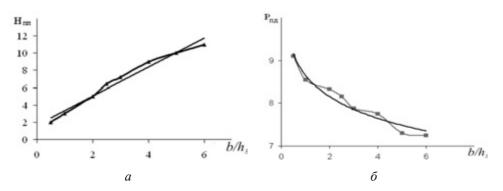


Рис. 3. График для определения толщины верхнего слоя основания $H_{\rm пл}$ в зависимости от отношения ширины фундамента к глубине его заложения $b/h_{\rm 3}$, при котором величина отношения $E_{\rm OB}/E_{\rm OH}$ не оказывает влияния на процесс развития ОПД (a); график зависимости величины предельно допустимой нагрузки от отношения $b/h_{\rm 3}$ (δ) для рассмотренных в работе значениях расчетных параметров

На рис. 4 изображены графические зависимости величины расчетного сопротивления двухслойного основания R от натурального логарифма отношения численных значений модулей общей деформации его верхнего и нижнего слоев $E_{\rm ob}/E_{\rm oh}$ при двух значениях толщины верхнего слоя $H_{\rm b}=1,0;\,2,0$ м для четырех видов расчетных схем, рассмотренных в настоящей работе.

Анализ кривых показывает, что минимальные значения расчетного сопротивления основания получаются при использовании расчетной схемы (а). Причем, если $H_{\rm B}=1$ м, то разница с результатами, получаемыми при использовании расчетных схем (б—в) оказывается почти 5-кратной, а при $H_{\rm B}=2$ м — 3-кратной на всем интервале значений $E_{\rm OB}$ / $E_{\rm OH}$.

Если заглубление фундамента учитывается путем приложения боковой пригрузки, то величина R отличается от соответствующих значений, получаемых при использовании расчетных схем e, e, примерно на 50 %, если $E_{\rm OB}$ / $E_{\rm OH}$ \in [-2; 0; 0], а затем отличие становится несущественным.

Значения величины расчетного сопротивления, вычисляемые для расчетных схем θ ; z, практически не отличаются друг от друга.

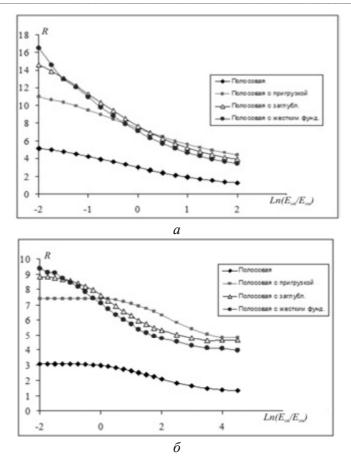


Рис. 4. Графики зависимостей вида $R = f(\ln E_{\rm OB} \, / \, E_{\rm OH})$ при $H_{\rm B} = 1$ м (a) и $H_{\rm B} = 2$ м (6)

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

- 1. Учет заглубления фундамента повышает расчетные значения предельно допустимой нагрузки на основание в несколько раз. Чем больше относительная ширина фундамента (b/h_3), тем меньше при всех прочих равных условиях несущая способность основания.
- 2. Отношение модулей общей деформации слоев оказывает влияние на несущую способность основания, если $ln(E_{\rm oB}/E_{\rm oh})$ \in [-2; 2]. Чем меньше мощность верхнего «слабого» слоя, тем это влияние существенней. Для каждого значения относительной ширины фундамента можно найти такое значение толщины верхнего слоя, что величина $E_{\rm oB}/E_{\rm oh}$ не будет оказывать влияния на результаты вычисления критических нагрузок.
- 3. Жесткость фундамента практически не оказывает влияния на вычисляемые значения расчетного сопротивления основания и предельно допустимой нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ напряженно-деформированного состояния двухслойного основания незаглубленного ленточного фундамента от действия равномерно распределенной полосовой

- нагрузки / О. А. Богомолова, А. И. Вайнгольц, С. А. Калиновский, В. С. Бабаханов, Р. С. Нестеров, Д. П. Торшин, А. С. Иванов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. : Политематическая. 2012. Вып. 1 (20).
- 2. Влияние вида расчетной схемы на результаты численного расчета напряженного состояния двухслойного основания ленточного фундамента / О. А. Богомолова, А. И. Вайнгольц, В. С. Бабаханов, Р. С. Нестеров, А. С. Иванов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. : Политематическая. 2012. Вып. 2 (21).
 - 3. Каган А. А. Расчетные характеристики грунтов. М.: Стройиздат, 1985. 247 с.
- 4. *Вялов С. С.* Реологические основы механики грунтов. М. : Высш. шк., 1978. 447 с
- 5. *Богомолов А. Н.* Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние / А. Н. Богомолов и др. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г.
- 6. *Богомолов А. Н., Вихарева О. А., Шиян С. И.* Исследование напряженно-деформированного состояния и устойчивости высокой насыпи, армированной тонкими монолитными бетонными плитами // Світ геотехніки. 2007. № 2. С. 16—19.
- 1. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya dvukhsloynogo osnovaniya nezaglublennogo lentochnogo fundamenta ot deystviya ravnomerno raspredelennoy polosovoy nagruzki / O. A. Bogomolova, A. I. Vayngol'ts, S. A. Kalinovskiy, V. S. Babakhanov, R. S. Nesterov, D. P. Torshin, A. S. Ivanov // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2012. Vyp. 1 (20).
- 2. Vliyanie vida raschetnoy skhemy na rezul'taty chislennogo rascheta napryazhennogo sostoyaniya dvukhsloynogo osnovaniya lentochnogo fundamenta / O. A. Bogomolova, A. I. Vayngol'ts, V. S. Babakhanov, R. S. Nesterov, A. S. Ivanov // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2012. Vyp. 2 (21).
 - 3. Kagan A. A. Raschetnye kharakteristiki gruntov.— M.: Stroyizdat, 1985. 247 s.
 - 4. Vyalov S. S. Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov. M.: Vyssh. shk., 1978. 447 s.
- 5. Bogomolov A. N. Ustoychivost'. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie / A. N. Bogomolov i dr. // Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g.
- 6. Bogomolov A. N., Vikhareva O. A., Shiyan S. I. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i ustoychivosti vysokoy nasypi, armirovannoy tonkimi monolitnymi betonnymi plitami // Svit geotekhniki. 2007. № 2. S. 16—19.

©Богомолова О. А., Богомолов А. Н., Вайнгольц А. И., Нестеров Р. С., Прокопенко А. В., Ушаков А. Н., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Влияние вида расчетной схемы на результаты расчета несущей способности основания ленточного фундамента / О. А. Богомолова, А. Н. Богомолов, А. И. Вайнгольц, Р. С. Нестеров, А. В. Прокопенко, А. Н. Ушаков // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 36—41.

УДК 624.131

О. А. Богомолова, Б. С. Бабаханов, С. А. Калиновский, А. Н. Ушаков, А. Н. Богомолов, А. В. Прокопенко

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ, ДЛЯ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Проведено сопоставление результатов расчета устойчивости реальных откосов, выполненного различными методами, и результатов расчета устойчивости тех же объектов, полученных на основе анализа напряженного состояния грунтового массива. Установлено, что величина коэффициента бокового давления оказывает существенное влияние на распределение горизонтальных напряжений в приоткосной области, процесс образования и развития областей пластических деформаций и, в конечном итоге, на величину коэффициента запаса устойчивости. Показано, что величины коэффициентов запаса, полученные авторами рассмотренных в статье публикаций, могут быть получены предлагаемым нами методом при определенных значениях коэффициента бокового давления грунта. Делается вывод о том, что правильное определение величины коэффициента бокового давления грунта на уровне проведения инженерногеологических изысканий и использование этого значения при вычислении расчетов устойчивости методами, основанными на анализе напряженного состояния грунтовых массивов, позволят существенно повысить надежность и достоверность результатов.

Ключевые слова: устойчивость откосов, коэффициент запаса устойчивости, напряженное состояние, поле горизонтальных напряжений, области пластических деформаций, коэффициент бокового давления.

The comparison of the results of the real slope stability calculations performed by various methods are given in the article as well as the results of the calculation of the same objects stability, obtained by analyzing the stress state of the soil mass. It was set that the values of the lateral pressure coefficient has a significant influence on the distribution of horizontal pressure in near the slope area, on formation and development of the plastic deformation and, ultimately, on the value of the safety factor. It is shown that safety factors values obtained by the authors in the article can be obtained by the method proposed by the authors for certain coefficient values of lateral earth pressure. It is concluded that the proper definition of the lateral earth pressure coefficient at the level of engineering and geological surveys and use of this value in the calculations of stability methods based on the analysis of the stress state of soil masses, will significantly increase the reliability and validity of the results.

 $K\,e\,y\,\,w\,o\,r\,d\,s$: slope stability, stability factor coefficient, stress condition, horizontal pressure field, plastic deformation area, side pressure coefficient.

Многие из существующих методов расчета устойчивости откосов построены на ряде не всегда корректных допущений и упрощений, основными из которых являются: призма скольжения произвольным образом расчленяется на вертикальные блоки (не указывается их предпочтительное количество или толщина), которые считаются абсолютно твердыми телами; равнодействующая сил взаимодействия между блоками прикладывается в некоторой точке, положение которой и ориентация равнодействующей определяются на основе принятия допущений, делающих статически неопределимую задачу о равновесии блоков статистически определимой; положение и форма наиболее опасной линии скольжения принимаются известными или определяются путем «перебора» результатов множества расчетов; приблизительно учитывается лишь одна вертикальная σ_z составляющая напряжения в точках наиболее опасной поверхности скольжения; в расчете не участвует величина коэффициента бокового давления грунта ξ_0 ; рассматривается бесконечно прости-

рающийся вниз откос; внешняя нагрузка, даже если она находится в непосредственной близости от призмы скольжения, но не попадает в ее границы, не принимается во внимание; величина оползневого давления определяется значением разности между сдвигающими и удерживающими силами, действующими вдоль НОПС, что по физическому смыслу соответствует перерезывающей силе, т. к. векторы удерживающих и сдвигающих сил направлены вдоль отрезка прямой линии — основания соответствующего отсека и т. д.

Исключить большинство перечисленных выше недостатков позволяют методы, основанные на анализе напряженного состояния грунтового массива.

Определение компонент напряжения в точках однородных и изотропных грунтовых массивов может быть осуществлено на основе аналитических решений первой основной задачи теории упругости для весомой однородной и изотропной полуплоскости с криволинейной границей [1, 2], полученных на основе использования методов теории функций комплексного переменного [3]. Для этого надо подобрать такие коэффициенты отображающей функции, чтобы криволинейная граница полуплоскости совпадала по форме и размеру с границей грунтового массива в рассматриваемом вертикальном сечении. В случае неоднородных грунтовых массивов используют метод конечных элементов [4].

Если напряжения в приоткосной области известны, то коэффициент запаса устойчивости $K_{\rm T}$ в каждой ее точке при отсутствии областей пластических деформаций определяется выражением [1]

$$K_{T} = \frac{[0,5(\sigma_{z} - \sigma_{x})\cos 2\alpha + 0,5(\sigma_{x} - \sigma_{z}) + \tau_{xz}\sin 2\alpha + \sigma_{CB}]tg\phi}{0,5(\sigma_{x} - \sigma_{z})\sin 2\alpha + \tau_{xz}\cos 2\alpha},$$
 (1)

где σ_z , σ_x , τ_{xz} — безразмерные (в долях γH) напряжения в рассматриваемой точке; $\sigma_{cs} = C(\gamma H \text{tg}\phi)^{-1}$ — приведенное давление связности; C, ϕ , γ и H — соответственно удельное сцепление; угол внутреннего трения; объемный вес грунта и высота откоса; α — угол наклона касательной к горизонтальной оси ОХ в рассматриваемой точке линии скольжения, найденный из соотношений

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

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

которые предопределяют выполнение условия $K_{\rm T} = K_{\rm T\,min}$.

Значение глобального коэффициента устойчивости откоса вычисляется по формуле

$$K = \frac{\int_0^l F_{yx}(s)ds}{\int_0^l F_{cx}(s)ds} , \qquad (3)$$

где $F_{yд}$ и $F_{cд}$ — удерживающие и сдвигающие силы, действующие в каждой точке линии скольжения, и соответственно, равные числителю и знаменателю формулы (1).

Если точка «перешла» в предельное состояние, то формула (1) принимает вид [2]

$$K_T = \frac{(\sigma_z + \sigma_{CB})\sin\varphi(\cos 2\alpha + b\sin 2\alpha) + \sigma_z l + \sigma_{CB} b}{(\sigma_z + \sigma_{CB})(b\cos 2\alpha - 2)\cos\varphi},$$
(4)

где
$$b = \operatorname{tg} 2\alpha$$
; $l = (1+b)^{\frac{1}{2}}$; $\alpha^* = \alpha - (45^{\circ} + \frac{\varphi}{2})$.

Естественно, что $K_{\rm T}'=1$, т. к. внутри областей предельного состояния грунта строго выполняется условие пластичности.

Величина глобального коэффициента устойчивости при условии, что некоторая часть или части линии скольжения находятся внутри областей предельного состояния, определяется выражением

$$K' = \frac{S'_{y\pi} + S_{y\pi}}{S'_{c\pi} + S_{c\pi}},$$
 (5)

где S_{cq}' и S_{yq}' — площади эпюр удерживающих и сдвигающих сил, действующих вдоль участка НВПР, находящегося в зоне пластических деформаций; S_{cq} и S_{yq} — площади эпюр сдвигающих и удерживающих сил, построенные для участка наиболее вероятной поверхности разрушения, находящегося вне границ областей предельного состояния.

Отметим, что в работах [2, 13] излагаются методики построения такой поверхности скольжения, что в каждой ее точке выполняется условие минимальности величины коэффициента запаса, т. е. $K_{\rm T} = K_{\rm T \ min}$.

Компьютерная программа [5] позволяет на основе использования аналитических [1, 2] и численных [4] методов находить напряжения в точках однородных и неоднородных грунтовых массивов, проводить построение наиболее опасной поверхности разрушения и вычислять величину коэффициента запаса устойчивости.

В работах [6] приведены выполненные различными методами расчеты устойчивости реально существующих оползневых склонов, которые включают определение положения наиболее опасной поверхности скольжения и вычисление величины коэффициента запаса устойчивости.

Нам представляется интересным сопоставить результаты, приведенные в работах [6], с результатами расчетов устойчивости тех же объектов, полученными нами при помощи компьютерной программы [5].

Пример 1. В работе [6] рассмотрен однородный откос высотой H=12,5 м, с углом заложения $\beta=24^\circ$, физико-механические свойства грунта имеют значения: C=20 кН/м; $\phi=10^\circ$; $\gamma=18$ кН/м³; динамический коэффициент $\mu=0,05$. Данные о величине коэффициента бокового давления ξ_0 отсутствуют. Однако, судя по значениям ФМСГ, откос сложен глинистым грунтом, для которого коэффициент бокового давления имеет среднее значение $\xi_0=0,75$ [7].

Авторами работы [6] установлено, что наиболее опасной является линия скольжения IV, которой соответствует величина коэффициента запаса устойчивости K = 0.98.

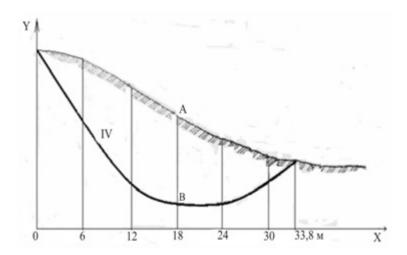


Рис. 1. Контур грунтового откоса и наиболее опасная поверхность скольжения IV по данным работы [5]

Известно [1], что для однородного откоса при условии, что $\sigma_{cs} \ge 0.05$ (согласно условиям примера, рассмотренного в работе [6], $\sigma_{cs} = 0.505$), величина коэффициента устойчивости К связана с величиной коэффициента бокового давления соотношением

$$K = \frac{4}{7} (1 + \xi_{o}) (2a\sigma_{cB} + b) tg\phi,$$
 (7)

где a и b — коэффициенты, определяемые в зависимости от угла откоса β по графикам, приведенным в [1].

Если подставить в формулу (6) значения a и b, соответствующие углу $\beta=24^\circ$, и значение K=0.98, приведенное в работе [6], то получим, что $\xi_o^{[8]}=0.013$. Это значит, что рассматривается грунтовый массив, в котором практически отсутствуют нормальные горизонтальные напряжения, т. к. $\sigma_x=\xi_o\gamma z=0.013\gamma z$, что соответствует скальным породам, для которых $\xi_o=0...0,1$ [8].

На рис. 2. изображены картины изолиний безразмерных (в долях γH) горизонтальных σ_x напряжений при четырех значениях коэффициента бокового давления грунта ξ_0 = 0,75;0,3;0,1;0,01, построенные при помощи компьютерной программы [5], разработанной в ВолгГАСУ.

На рисунках показано, что поле горизонтальных σ_x напряжений претерпевает существенную трансформацию при уменьшении величины ξ_o : численные значения σ_x в точках приоткосной области резко уменьшаются, возникают зоны растягивающих напряжений, часть грунтового массива, расположенная выше подошвы откоса, становится более напряженной, чем нижерасположенный массив грунта. Этот результат подтверждает, что при использовании методов [9—12] горизонтальные напряжения не учитываются при расчете.

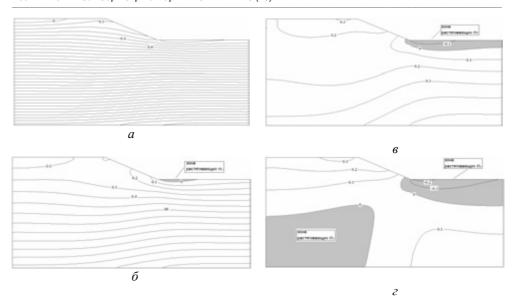


Рис. 2. Картины изолиний безразмерных (в долях γ H) горизонтальных σ_x напряжений при ξ_0 = 0,75 (a); 0,3 (δ); 0,1 (s); 0,01 (ϵ)

На рис. З изображены наиболее опасные линии скольжения, построенные при помощи компьютерной программы [5] в грунтовом откосе, рассмотренном в работе [6], для двух значений коэффициента бокового давления ξ_0 = 0,75 и $\xi_0^{[9]}$ = 0,013. При этом значения соответствующих коэффициентов запаса устойчивости вычислены равными $K_{0,75}$ = 1,36 и $K_{0,01}$ = 0,98.

Величина $K_{0,01}$ точно совпадает с величиной коэффициента запаса устойчивости, приведенного в работе [6], который вычислен с учетом лишь вертикальной σ_z (одной из трех) составляющей компоненты напряжения в точке грунтового массива.

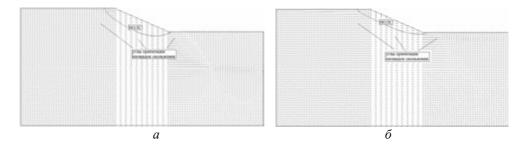


Рис. 3. Наиболее опасные линии скольжения в рассматриваемом откосе при $\xi_{\rm o}$ = 0,75 (a) и $\xi_{\rm o}^{\rm [9]}$ = 0,013 (б)

Пример 2. В работе [13] рассмотрен однородный откос высотой H=20 м с углом заложения $\beta=20^\circ$, физико-механические свойства грунта имеют следующие значения: $\gamma=1,8$ т/м³; $\phi=10^\circ$; C=0,02 МПа при $\gamma_w=1$ т/м³; $h_i\approx0,5$ h_{cwi} ; коэффициент динамичности $\mu=0$. Величина $K_y^3=1,05$. «Материалами инженерно-геологических изысканий лишь предположительно установлена одна из

наметившихся поверхностей скольжения 3 (пунктирная линия). Путем построения различных возможных поверхностей скольжения и определения для каждой из них коэффициента устойчивости методами [14; 15] ... установлена наиболее опасная из них», для которой K_v = 0,997 [6].

На основании приведенных выше данных можно сделать вывод, что откос сложен глинистым грунтом, для которого, как известно, $\xi_0 = 0.75$ [7]. На рис. 4, б изображена наиболее опасная линия скольжения, построенная при помощи компьютерной программы [5], при ξ_0 = 0,75. Также на рис. 4 a, δ показано, что она практически совпадает со следом потенциально опасной поверхности скольжения (3),выявленной основе на инженерногеологических изысканий. Вычисления выполнены без учета гидравлического напора, так как вся призма скольжения находится выше уровня грунтовых вод, что следует из заданного условия $h_i \approx 0.5 h_{cwi}$. Расчетное значение коэффициента запаса устойчивости оказалось равным K=1,248.

На рис. 4, ϵ изображена наиболее опасная линия скольжения (след наиболее опасной поверхности скольжения), имеющая размеры и форму, установленные в работе [6] (рис. 4, α , линия 2). Для этой линии при помощи компьютерной программы [5] определена величина коэффициента запаса устойчивости при ξ_0 = 0,75, которая с учетом гидравлического напора оказалась равной K= 1,261, т. е. больше, чем для первой линии скольжения.

В результате вычислений установлено: если при расчете по программе [5] положить ξ_0 = 0,27, то величина коэффициента запаса устойчивости, вычисленная для наиболее опасной линии скольжения изображенной на рис. 4, ϵ , имеет значение $K=K_{\nu}=0,997$, т. е. совпадает с величиной, приведенной в [6].

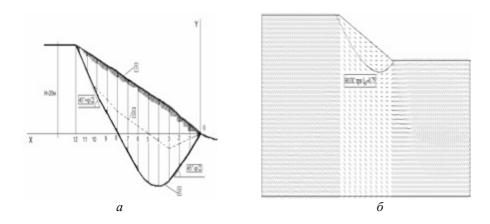


Рис. 4. Расчетная схема откоса по данным работы [6] (a) и след наиболее опасной поверхности скольжения, построенная по методике [1, 2] (δ)

Пример 3. В работе [16] приведен расчет устойчивости откосов отвала меловых пород ОАО «Стойленский ГОК», который размещен в отроге «Крутой Лог» балки «Чуфичева». Мы можем отметить: «Оценку устойчивости откосных сооружений хвостохранилищ и гидроотвалов следует производить с учетом сил гидростатического взвешивания и гидростатического давления, а также нестабилизированного состояния водонасыщенных пород. Для расче-

та устойчивости нестабилизированных породных масс сухих и гидравлических отвалов наиболее пригодны методы алгебраического суммирования сил (при монотонной криволинейной поверхности скольжения) и многоугольника сил».

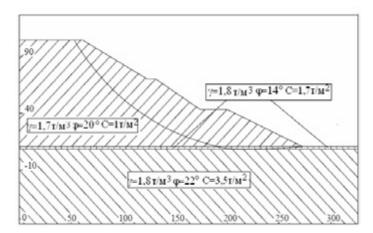


Рис. 5. Расчетная схема откоса по профилю III—III и значения физикомеханических свойств слагающих пород по данным работы [16]

На рис. 5 изображена расчетная схема профиля III—III, для которого определен наихудший коэффициент запаса устойчивости K = 1,03 и приведены значения физико-механических свойств слагающих пород [16].

Нами при помощи компьютерной программы [5] проведен расчет устойчивости данного объекта на основе анализа напряженного состояния грунтового массива. Оказалось, что при выполнении всех рекомендаций работы [16] и учета наличия слабого прослоя, величина коэффициента запаса устойчивости для профиля III—III, вычисленная при величине коэффициента бокового давления ξ_0 = 0,5, равна $K_{0,5}$ = 1,23. Это значение ξ_0 выбрано не случайно, а получено после подстановки величины угла внутреннего трения ϕ = 20° (см. рис. 5) в известную формулу

$$\xi_0 = tg^2(\pi/4 + \varphi/2). \tag{6}$$

Если предположить, что $\xi_0 = 0.23$ (это значение определено подбором), то получим величину коэффициента запаса устойчивости $K_{0,23} = 1.03$, как в работе [6]. Данное значение величины коэффициента бокового давления соответствует скорее скальным породам, чем намывным водонасыщенным грунтам.

Анализ рис. 6 показывает, что при $\xi_0 = 0.5$ поле горизонтальных напряжений спокойное, без возмущений, а призма скольжения находится вне областей пластических деформаций. Откос при этом не теряет общей устойчивости, а образуются только локальные зоны сдвигов, совпадающие с пластическими областями, расположенными на поверхности призмы возможного обрушения. При $\xi_0 = 0.23$ поле горизонтальных напряжений существенным образом трансформируется, возникают значительные по размерам области растягивающих σ_x напряжений и практически весь грунтовый массив переходит в пластическое состояние.

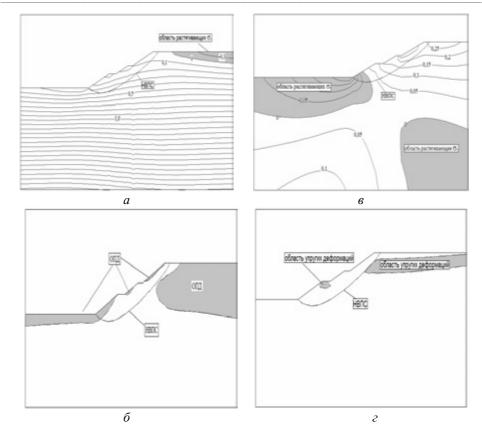


Рис. 6. Картины изолиний безразмерных (в долях γ H) горизонтальных σ_x напряжений и областей пластических деформаций в откосе отвала по профилю III—III при ξ_o = 0,5 (a, δ) и ξ_o = 0,23 (a, ε) соответственно

Пример 4. В работе [17] проведен расчет устойчивости «откосов старой набережной поселка Приморский с прилегающими к ней частями склона по профилю I—I. По данным инженерно-геологических изысканий, выполненных кооперативом «Геолог», основанием берегоукрепительных сооружений служит глина выветрелая, твердая со следующими физико-механическими свойствами: угол внутреннего трения $\phi = 17^{\circ}$, удельное сцепление C = 0.045 МПа, объемный вес $\gamma = 1.85$ т/м³. Сведения о величине коэффициента бокового давления, как и во всех рассмотренных выше источниках, отсутствуют, однако, согласно [7], при наших расчетах принимаем $\xi_0 = 0.75$.

На рис. 7, кроме инженерно-геологического профиля I—I, рассмотренного в работе [17], изображены картины ориентации площадок наиболее вероятного сдвига, полей безразмерных (в долях γH) вертикальных σ_z , горизонтальных σ_x , касательных τ_{zx} напряжений и областей пластических деформаций в исследуемом грунтовом массиве, построенные при помощи компьютерной программы [5], при условии, что величина коэффициента бокового давления ξ_0 = 0,75. При этом величина коэффициента запаса устойчивости получилась равной K = 1,12, что на 11 % больше чем K_{st} = 1,009, приведенное в работе [17]. Если предположить ξ_0 = 0,66, то при расчете по компьютерной программе [5] получим K = 1,009.

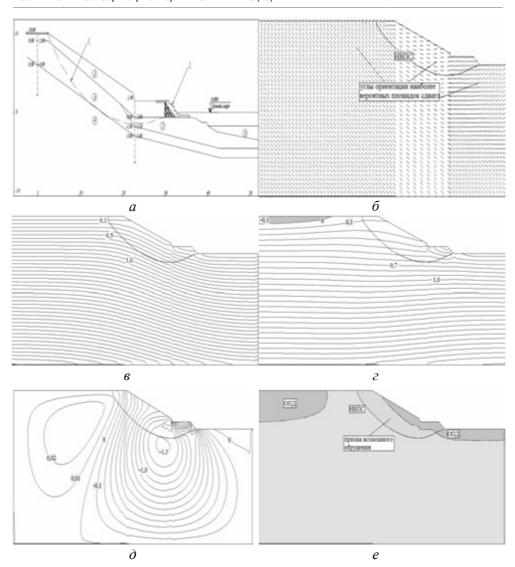


Рис. 7. Инженерно-геологический профиль I—I по данным работы [17] (a); картины ориентации площадок наиболее вероятного сдвига (δ), полей безразмерных (в долях γ H) вертикальных σ_z (ϵ); горизонтальных σ_x (ϵ); касательных τ_{zx} (δ) напряжений и областей пластических деформаций (ϵ) в исследуемом грунтовом массиве при величине коэффициента бокового давления ξ_o = 0,75

В работе [17] также отмечается, что «...в пределах исследуемого района выделены участки... локальных сдвигов грунтовой массы. В верхней части набережной наблюдаются трещины закола. На отдельных участках склона имеются деформированные лестницы». Эти факты легко объяснимы и результатами нашего расчета. Несмотря на то что откос не потерял общей устойчивости (K=1,12), в нижней части призмы возможного обрушения имеются (см. рис. 7, e) области пластических деформаций (локальных сдвигов). Таким образом, полученные нами результаты, подтверждаются данными натурных наблюдений о фактическом состоянии исследуемого объекта (рис. 8).



Рис. 8. Общий вид оползневого участка [17]

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

- 1. При изменении величины ξ_0 от 0,75 до 0,01 численные значения горизонтальных σ_x напряжений в точках приоткосной области резко уменьшаются, возникают растянутые в горизонтальном направлении зоны, часть грунтового массива, расположенная выше подошвы откоса, становится перенапряженной по отношению к нижележащим слоям. При этом поля касательных τ_{xz} и вертикальных нормальных напряжений σ_z практически не реагируют на изменение ξ_0 .
- 2. Перераспределение горизонтальных σ_x напряжений влечет за собой изменение положения и формы наиболее опасной линии скольжения уменьшается ее кривизна, НОЛС приближается к поверхности откоса, располагаясь практически параллельно ей, уменьшается мощность сползающей толщи грунта.
- 3. Для условий примера, рассмотренного в работе [6], изменение величины ξ_0 от 0,75 до 0,01 влечет за собой уменьшение величины коэффициента запаса устойчивости однородного откоса, определенного на основе анализа напряженного состояния грунтового массива, с $K_{0.75} = 1,36$ до $K_{0.01} = 0,98$, т. е. на 28 %. Величина $K_{0.01}$ точно совпадает с величиной коэффициента запаса устойчивости, приведенного в работе [6], который вычислен с учетом лишь вертикальной σ_z (одной из трех) составляющей компоненты напряжения в точке грунтового массива. Численные значения коэффициентов запаса устойчивости, полученные авторами работ [6, 13, 16, 17], для рассмотренных ими объектов могут быть получены на основе анализа напряженного состояния грунтовых откосов методами [1, 2] при определенных значениях коэффициента бокового давления грунта. Так, для примера № 1 величина $\xi_0^{[1:2]} = 0.013$, для примера $N \ge 2$ — $\xi_0^{[1;2]} = 0,27$, для примера $N \ge 3$ — $\xi_0^{[1;2]} = 0,23$, а для примера № 4 — $\xi_0^{[1;2]} = 0,66$. Таким образом, правильное определение величины коэффициента бокового давления грунта на уровне проведения инженерногеологических изысканий и использование этого значения при проведении расчетов устойчивости методами, основанными на анализе напряженного состояния грунтовых массивов, позволят существенно повысить надежность и достоверность результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. *Богомолов А. Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ППИ, 1996. 150 с.
- 2. Цветков В. К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград : Нижне-Волжское кн. изд-во, 1974. 238 с.
- 3. *Мусхелишвили Н. И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966. 708 с.
 - 4. Фадеев А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. 221 с.
- 5. *Богомолов А. Н.* Устойчивость, напряженно-деформированное состояние: свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2009613499; заявл. 19.05.2009; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 30. 06. 2009.
- 6. *Гинзбург Л. К., Раздольский А. Г.* Определение максимального оползневого давления // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1992. № 5. С. 11—14.
 - 7. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высш. шк., 1978. 447 с.
- 8. Геологический словарь: в 2-х т. / под ред. К. Н. Паффенгольца и др. М.: Недра, 1978. 456 с.
- 9. Гольдштейн М. Н. О применении вариационного исчисления к исследованию оснований и откосов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1969. № 1. С. 2—6.
- 10. Дорфман А. Г. Обобщение вариационных принципов механики на линейно-деформируемые массивы грунта // Земляное полотно и геотехника на железнодорожном транспорте : межвузовский сб. науч. тр. Днепропетровск, 1984. С. 3—9.
- 11. Дорфман А. Г., Дудинцева И. Л. Применение вариационных методов к расчету оползневого давления на подпорные стены // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1971. № 2. С. 36—38.
- 12. *Магдеев V. X.* Исследование устойчивости откосов вариационным методом в условиях пространственной задачи // Вопросы геотехники. № 20. Сб. трудов ДИИТ. Днепропетровск, 1972. С. 120—129.
- 13. Гинзбург Л. К. Противооползневые удерживающие конструкции. М. : Стройиздат, 1979. 80 с.
 - 14. Масло Н. Н. Механика грунтов в практике строительства. М.: Стройиздат, 1977.
 - 15. Шахунянц Г. М. Земляное полотно железных дорог. М.: Трансжелдориздат, 1953.
- 16. *Гальперин А. М., Крючков А. В., Семенов В. В.* Оценка устойчивости откосных сооружений отвально-хвостового хозяйства ОАО Стойленский ГОК // Труды Международного научного симпозиума «Неделя горняка-2007». —М.: МГГУ, 2007. С. 135—142.
- 17. *Подвинцев А. В., Саломатин В. Н.* Мониторинг техногенного оползня набережной в поселке Приморский город Феодосия // Строительство и техногенная безопасность. Вып. 38. Симферополь: НАПКС, 2011. С. 72—77.
- 1. Bogomolov A. N. Raschet nesushchey sposobnosti osnovaniy sooruzheniy i ustoychivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoy postanovke. Perm': PPI, 1996. 150 s.
- 2. Tsvetkov V. K. Raschet ustoychivosti otkosov i sklonov. Volgograd : Nizhne-Volzhskoe kn. izd-vo, 1974. 238 s.
- 3. *Muskhelishvili N. I.* Nekotorye osnovnye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti. M.: Nauka, 1966. 708 s.
 - 4. Fadeev A. B. Metod konechnykh elementov v geomekhanike.— M.: Nedra, 1987. 221 s.
- 5. Bogomolov A. N. Ustoychivost', napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie : svidetel'stvo o gos. registratsii programm dlya EVM № 2009613499 zayavl. 19.05.2009 ; zareg. v Reestre programm dlya EVM 30.06.2009.
- 6. *Ginzburg L. K.*, *Razdol'skiy A. G.* Opredelenie maksimal'nogo opolznevogo davleniya // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1992. № 5. S. 11—14.
 - 7. Vyalov S. S. Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov. M.: Vyssh. shkola, 1978. 447 s.
 - 8. Geologicheskiy slovar': v 2-kh t. / pod red. K. N. Paffengol'tsa i dr. M.: Nedra, 1978. 456 s.
- 9. *Gol'dshteyn M. N. O* primenenii variatsionnogo ischisleniya k issledovaniyu osnovaniy i otkosov // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1969. № 1. S. 2—6.
- 10. *Dorfman A. G.* Obobshchenie variatsionnykh printsipov mekhaniki na lineynodeformiruemye massivy grunta // Zemlyanoe polotno i geotekhnika na zheleznodorozhnom transporte : mezhvuzovskiy sb. nauch. tr. Dnepropetrovsk, 1984. C. 3—9.

- 11. *Dorfman A. G., Dudintseva I. L.* Primenenie variatsionnykh metodov k raschetu opolznevogo davleniya na podpornye steny // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1971. № 2. S. 36—38.
- 12. *Magdeev U. Kh.* Issledovanie ustoychivosti otkosov variatsionnym metodom v usloviyakh prostranstvennoy zadachi // Voprosy geotekhniki. № 20. Sb. trudov DIIT. Dnepropetrovsk, 1972. S. 120—129.
- 13. $Ginzburg\ L.\ K.$ Protivoopolznevye uderzhivayushchie konstruktsii. M. : Ctroyizdat, 1979. $80\ s.$
 - 14. Maslo N. N. Mekhanika gruntov v praktike stroitel'stva. M.: Strovizdat, 1977.
- 15. Shakhunyants G. M. Zemlyanoe polotno zheleznykh dorog. M. : Transzheldorizdat, 1953.
- 16. *Gal'perin A. M., Kryuchkov A. V., Semenov V. V.* Otsenka ustoychivosti otkosnykh sooruzheniy otval'no-khvostovogo khozyaystva OAO Stoylenskiy GOK / A. M. Gal'perin, A. V. Kryuchkov, V. V. Semenov // Trudy Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma «Nedelya gornyaka-2007». M.: MGGU, 2007. S. 135—142.
- 17. *Podvintsev A. V., Salomatin, V. N.* Monitoring tekhnogennogo opolznya naberezhnoy v poselke Primorskiy gorod Feodosiya / A. V. Podvintsev, V. N. Salomatin // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. Vyp. 38. Simferopol': NAPKS, 2011.—S. 72—77.

©. Богомолова О. А, Бабаханов Б. С., Калиновский С. А., Ушаков А. Н., Богомолов А. Н., Прокопенко А. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Сопоставление результатов расчетов устойчивости откосов, выполненных различными методами, для реальных объектов / О. А Богомолова, Б. С. Бабаханов, С. А. Калиновский, А. Н. Ушаков, А. Н. Богомолов, А. В. Прокопенко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 42—53.

УДК 624.131

П. В. Дыба, Г. М. Скибин, В. П. Дыба

ПРОСТЕЙШИЕ ВЕРХНИЕ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ УКРЕПЛЕННЫХ ГЕОТЕКСТИЛЕМ ОТКОСОВ

Рассматриваются методы расчета укрепленных геотекстилем откосов по первому прелельному состоянию.

Ключевые слова: откосы, несущая способность, геотекстиль.

The authors consider calculation methods of slopes strengthened by fabric on Ultimate Limit State.

Key words: slopes, load bearing capacity, fabric.

Сооружения и их грунтовые основания рассчитываются по предельным состояниям и у нас в стране и за рубежом. Так, Еврокод 7 требует расчета соответственно по Ultimate Limit States (ULS) и по Serviceability Limit States (SLS). Нет никаких оснований изменять такой подход и в расчетах пластических систем «грунтовый массив — гибкая оболочка» или при расчете грунтовых массивов, армированных геосинтетикой.

В нормативных строительных документах отмечается, что расчет по одному из предельных состояний не сводится и не заменяется расчетом по другому предельному состоянию.

Расчет грунтовых массивов, армированных геосинтетикой, по SLS, то есть по деформациям, не вызывает затруднений. В общем случае используется упругая модель среды и метод конечных элементов для расчета напряженно-деформированного состояния грунтового массива. Различия заключаются в степени учета наличия армирующих слоев геосинтетики. В одном случае требуется повысить значение модуля деформации грунта, например чтобы $E=20~\mathrm{MIIa}$. В другом случае среда рассматривается как композитная, и по упругим характеристикам геосинтетики и грунта определяют эквивалентную жесткость армированной среды. Можно представить и вариант, когда грунтовая среда представляется плоскими треугольными элементами, а армирующая геосинтетика представляется линейными элементами, так или иначе взаимодействующими с треугольными элементами.

Но расчет по несущей способности, по ULS, не может быть выполнен в рамках упругой модели, т. к. упругая модель не пригодна для описания процесса разрушения среды.

Однако неразвитость методов расчета по ULS приводит к необходимости замены этого расчета косвенным, основанным на вычислении деформаций с привлечением ряда экспериментальных данных. Теоретически это означает подмену расчета по ULS расчетом по SLS.

Расчет по ULS возможен в рамках теории идеальной пластичности методами предельного анализа.

Но задачи теории идеальной пластичности и в случае плоской деформации не являются статически определимыми. Существование жестких (или

упругих) зон означает кинематическое ограничение пластического течения, так как на границе этих зон нормальные составляющие скоростей должны обращаться в ноль. Но и кинематически допустимое поле скоростей может оказаться неприемлемым, если скорость диссипации энергии в некоторой области окажется отрицательной. Третье требование к истинному или так называемому полному решению заключается в непревышении условия пластичности в жестких (упругих) областях, то есть в существовании статически допустимого поля напряжений во всей системе.

Полные решения задач теории идеальной пластичности единичны. В механике грунтов на звание полного решения претендует решение Прандтля.

При проектировании нагруженных откосов (склонов), армированных геотекстилем и укрепленных георешетками, вместо точного значения несущей способности, требующего знания полного решения, предлагается использовать нижние оценки несущей способности. При этом неизвестный запас прочности оценивается с помощью верхних оценок несущей способности.

Несущую способность предлагается оценивать сверху и снизу на основании экстремальных свойств предельных состояний текучести. Эти свойства выражаются двумя теоремами, полученными А. А. Гвоздевым.

Согласно предельному анализу статически допустимое поле напряжений в откосе порождает нижнюю оценку предельной величины внешних сил. Методы нахождения нижних оценок представлены в работе [1]. По кинематически допустимому полю скоростей, удовлетворяющему закону пластического течения, строятся верхние оценки несущей способности.

Рассмотрим (рис.1) армированный геотекстилем нагруженный откос. Согласно предельному анализу пластических систем для получения верхней оценки предельной внешней нагрузки (интенсивности давления P или объемного веса грунта γ) в откосе следует построить кинематически допустимое поле скоростей, удовлетворяющее ассоциированному (нормальному) закону текучести.

Пусть область пластического течения определяется треугольным блоком ABK. Вне этого блока скорости нулевые. Обозначим длины AB= l, BK= l_1 . Пусть высота откоса — h. Если скорости деформаций по области ABK постоянны, то скорости являются линейными функциями координат.

Верхняя оценка предельной внешней силы определяется из равенства мощности внутренних и внешних сил.

Мощность пластического деформирования блока АВК определяется по формуле из работы [2]:

$$M_C = \frac{1}{4}C|\vec{\mathbf{v}}A|(1-\cos\alpha)l_1,\tag{1}$$

где
$$\alpha = \operatorname{arctg}\sqrt{s^2 - 1}$$
, $S = \frac{A + 1}{A - 1}$.

Заметим, что для сыпучих грунтов C = 0 и, следовательно, $M_c = 0$.

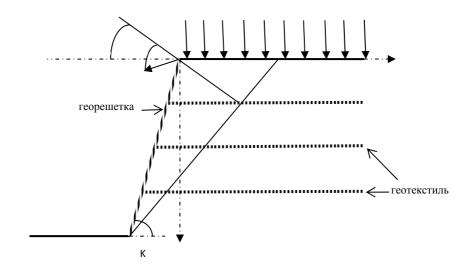
Мощность пластического деформирования слоев геосинтетики вычисляется так:

$$M_{S} = \sum N_{i} v_{i} , \qquad (2)$$

где N_i — это либо погонная предельная сила растяжения геосинтетики, либо погонная сила, при которой синтетика выдергивается из откоса, либо погонная сила трения грунта о геосинтетику, v_i — скорости в точках пересечения слоев геосинтетики с георешеткой.

Найдем мощность внешних поверхностных сил. Пусть $v_x(A)$ — вертикальная компонента скорости в т. А. Известно, что

$$v_x(A) = |\vec{v}_A| \sin(\alpha - \omega).$$



Простейшие верхние оценки несущей способности армированного откоса

Тогда мощность внешних поверхностных сил определится как:

$$M_p = \left| \vec{\mathbf{v}} A \right| \sin(\alpha - \omega) \frac{Pl}{2}. \tag{3}$$

Найдем мощность внешних объемных сил M_{γ} . Пусть вертикальная компонента скорости определяется как линейная функция координат:

$$v_{\chi} = ax + b(y-l)$$
.

Из условия в точке А (0,0) следует, что

$$b = -\frac{v_{\mathcal{X}}(A)}{l}.$$

Из нулевой скорости в точке К $(h, -h \operatorname{ctg} \beta)$ вытекает, что

$$a = -\frac{\mathbf{v}_{X}(A)}{hl}(h \cdot \operatorname{ctg}\delta + l).$$

Следовательно,

$$M_{\gamma} = \iint_{\Delta ABK} \gamma v_x dx dy = v_x(A) \gamma \frac{lh}{6}. \tag{4}$$

Равенство мощностей внешних (3), (4) и внутренних сил (1), (2) будет выглядеть так:

$$\left| \overrightarrow{\mathbf{v}_A} \right| \sin(\alpha - \omega) \frac{Pl}{2} + \left| \overrightarrow{\mathbf{v}_A} \right| \sin(\alpha - \omega) \gamma \frac{lh}{6} = \frac{1}{4} C \left| \overrightarrow{\mathbf{v}_A} \right| (1 - \cos\alpha) l_1 + \sum N_i \mathbf{V}_i . \tag{5}$$

Из равенства (5) определим верхнюю оценку предельной распределенной нагрузки P^* .

$$P^* = -\gamma \frac{h}{3} + \frac{h}{2l} C \frac{1 - \cos \alpha}{\sin(\alpha - \omega)} \sqrt{1 + \left(\operatorname{ctg}\delta + \frac{1}{h}\right)^2} + \frac{2}{l} \sum N_i \frac{h_i}{h}, \tag{6}$$

где h_i — высота прокладки i слоя геотекстиля.

Формула (6) задает однопараметрическое множество верхних значений (параметр — l). Как правило, лучшая оценка — наименьшая. Заметим также, что при выборе параметра должно соблюдаться условие $\alpha > \omega$. В противном случае грунт будет двигаться вверх и, следовательно, получим отрицательные значения распределенной нагрузки.

Пример 1.

$$φ: = 0.5; \frac{φ \cdot 180}{π} = 32,086; c: = 3 κΠα$$

$$C: = \frac{2 \cdot c \cdot \cos(φ)}{1 - \sin(φ)}; A: = \frac{1 + \sin(φ)}{1 - \sin(φ)}; C = 10,843 κΠα; A = 3,266$$

$$γ: = 18 κH/m³; h: = 4 m; δ: = \frac{50 \cdot π}{180}; δ = 0,873$$

$$L: = 1,2 m.$$

$$s: = \frac{A + 1}{A - 1}; α: = atan(\sqrt{s^2 - 1}); s = 1,883; α = 1,011$$

$$L_1: = h\sqrt{1 + (\cos(δ) + \frac{L}{H})^2}; L_1: = 6,063 m$$

$$\omega$$
: = acos $\left(\frac{h}{L_1}\right)$; ω : = 0,85

Примечание: $\alpha > \omega$.

Неармированный откос

$$P: = -\gamma \cdot \frac{h}{3} + \frac{h}{21} \cdot \mathbf{C} \cdot \frac{1 - \cos(\alpha)}{\sin(\alpha - \omega)} \cdot \sqrt{1 + \left(\cot(\delta) + \frac{L}{h}\right)^2},$$

P = 56,378 кПа.

Армированный откос

$$N_1$$
: = 10 kH/m; $h_1 := \frac{2}{3} \cdot h$; $h_1 = 2,667$.

$$N_2$$
: =10 кH/м; $h_2 := \frac{1}{3} \cdot h$; $h_2 = 1,333$.

$$P_1:=\frac{2}{L}\cdot\left(N_1\cdot\frac{2}{3}+N_2\cdot\frac{1}{3}\right);\ P_1=16,667\$$
кПа.

$$Pa := P + P_1$$
; $Pa := 73,045$ кПа.

В примере 1 приведена минимизированная верхняя оценка P согласно табл.

<i>L</i> , м	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
<i>P</i> , кПа	61,4	58,7	57,1	<u>56,4</u>	56,5	57,3	58,9
Ра, кПа	83,6	78,3	75,3	73,0	71,9	71,6	72,2

Параметры, соответствующие минимальным верхним оценкам несущей способности неармированного и армированного откоса, не совпадают.

3. Рассмотрим случай, когда на откос не действует поверхностная распределенная сила (P=0). Тогда в качестве единственной внешней разрушающей силы выступает объемный вес грунта γ . Если удалось соорудить откос, то величина γ не является предельной для откоса данной высоты, наклона и прочностных характеристик грунта. Однако все может измениться. Под метеорологическим воздействием прочностные характеристики грунта могут уменьшиться, и величина γ станет предельной. Кроме того, под воздействием замачивания или при сейсмическом воздействии сама величина γ может повыситься и стать предельной.

В рассматриваемом случае из равенства мощностей внешних и внутренних сил найдем верхнюю оценку предельной величины ү.

$$\gamma^* = \frac{3}{2\ln C} \frac{1 - \cos\alpha}{\sin(\alpha - \omega)} \sqrt{1 + \left(\cot\beta + \frac{l}{h}\right)} + \frac{6}{lh} \sum N_i \frac{h_i}{h} . \tag{7}$$

Для грунтовых условий примера 1 рассмотрим пример 2 при P=0 и $\delta=65^{\circ}.$

Пример 2.

Ненагруженный поверхностными силами неармированный откос

$$\gamma B := \frac{3}{2L} \cdot C \cdot \frac{1 - \cos(\alpha)}{\sin(\alpha - \omega)} \cdot \sqrt{1 + \left(\cot(\delta) + \frac{L}{h}\right)^2} ,$$

$$\gamma B = 22,912$$
; $\frac{\gamma B}{\gamma} = 1,273$.

Увеличение объемного веса грунта больше чем на 27 % возможно при землетрясении интенсивностью более 8 баллов. Следовательно, рассмотренный в примере 2 откос может потерять свою устойчивость при землетрясении интенсивностью 9 баллов.

Допустим, что откос армирован также, как откос в примере 1, двумя слоями относительно непрочного геоматериала, тогда верхняя оценка разрушающей объемной силы возрастет. Можно ожидать, что откос сохранит устойчивость при 9-балльном землетрясении.

Ненагруженный поверхностными силами армированный откос:

$$\gamma B := \frac{3}{2L} \cdot C \cdot \frac{1 - \cos(\alpha)}{\sin(\alpha - \omega)} \cdot \sqrt{1 + \left(\cot(\delta) + \frac{L}{h}\right)^2} + \frac{6}{L \cdot h} \left(N_1 \frac{2}{3} + N_2 \frac{1}{3}\right),$$

$$\gamma = 35,412 \frac{\gamma B}{\gamma} = 1,967$$
.

4. Рассмотрим, как построенная верхняя оценка будет себя вести для ненагруженного поверхностными силами неармированного откоса, отсыпанного из грунта, не обладающего сцеплением. При $\delta > \phi$ такой откос физически не может существовать, а при $\delta < \phi$ будет нарушаться условие $\alpha > \omega$, и построенной верхней оценкой воспользоваться нельзя. Следовательно, при $\delta < \phi$ никакой рост вертикальных объемных сил не приводит к потери устойчивости откоса.

Примечание. Верхние оценки можно увеличивать (уменьшать), разбивая область течения на ряд треугольных блоков, как в работе [3].

5. Верхние и нижние оценки образуют «коридор», содержащий величину несущей способности откоса. Этот «коридор» можно использовать для контроля величины несущей способности, полученной в приближенных аналитических и численных методах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- $1.\ {\it Дыба}\ \Pi.\ {\it B}.$ Несущая способность укрепленных геотекстилем откосов // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении : материалы Всерос. науч.-техн. конф., г. Новочеркасск, 7—8 июля 2012 г. Новочеркасск : ЮРГТУ, 2008. С. 365—370.
- 2. Дыба В. П. Оценки несущей способности фундаментов. Новочеркасск : ЮРГТУ, 2008. 200 с.
- 3. *Павлющик С. А.* Оценка несущей способности нагруженных откосов и склонов методами предельного анализа : автореф. дис... канд. техн. наук. Волгоград, 2011. 140 с.

- 1. *Dyba P. V.* Nesushchaya sposobnost' ukreplennykh geotekstilem otkosov / Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii : materaly Vseros. nauch.-tekhn. konf., g. Novocherkassk, 7—8 iyulya 2012 g. Novocherkassk : YuRGTU, 2008. S 365—370.
- 2. Dyba V. P. Otsenki nesushchey sposobnosti fundamentov. Novocherkassk : YuRGTU, 2008 200 s.
- 3. *Pavlyushchik S. A.* Otsenka nesushchey sposobnosti nagruzhennykh otkosov i sklonov metodami predel'nogo analiza : avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. Volgograd, 2011. 140 s.

© Дыба П. В., Скибин Г. М., Дыба В. П., 2012

Поступила в редакцию в октябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Дыба П. В., Скибин Г. М., Дыба В. П. Простейшие верхние оценки несущей способности укрепленных геотекстилем откосов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 54—60.

УДК 625.731.2

В. С. Боровик, В. Н. Синяков, В. Т. Фомичев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕУПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ НА ХАРАКТЕР КОНТАКТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

При уплотнении грунта основания дорожной одежды вначале включаются физические структурные связи. По мере переуплотнения грунта, достижения плотности, превышающей его значения в естественном состоянии, и уменьшения расстояний между структурными элементами до порядка 0,5...3,5 А включается механизм молекулярных связей в силу его дальнодействия, а затем ионно-электростатических. Силы притяжения в структурных связях достигают нескольких сотен и даже тысяч мегапаскалей.

Ключевые слова: переуплотнение, связные грунты, структура образования, молекулярные и ионно-электростатические связи.

Physical structural relationships become active at soil compaction of pavement. At soil compaction the density, exceeding its value in the natural state, and reduce of the distance between the structural elements up to 0,5...3,5 A, the mechanism of molecular bonds due to its long-range, and then ion-electrostatic is activated. Attraction forces in the structural bonds reach up to several hundreds or even thousands of megapascals.

 $K\,e\,y\,$ words: compaction, cohesive soil, the structure of education, molecular and ionic-electrostatic bonds.

Разработка инженерных методов устройства оснований дорожных одежд с применением связных грунтов, получивших в последнее время широкое распространение, например [1, 2], обусловливает необходимость детального изучения процессов механического, химического, физического и физикохимического взаимодействия на поверхностях раздела. Основные параметры, которые необходимо контролировать в процессе устройства грунтового основания — влажность, плотность, пористость и прочность. Чем меньше пористость грунта, тем в меньшей степени проявляются упругие свойства жидкости и газа, защемленные в порах, тем большее противодействие одноосной нагрузке он будет оказывать и тем меньше вероятность его разуплотнения.

Как показывают исследования П. А. Ребиндера, если прочность самих частиц выше прочности контактов между ними, то прочность грунта P_c в целом определяется прочностью единичных контактов между структурными элементами P_i и количеством контактов в единице площади разрушения N_k :

$$P_c = P_i N_k$$
.

Это соотношение является основой современной теории контактных взаимодействий, описывающей процессы структурообразования в дисперсных системах.

Проанализируем, прежде всего, характеристики твердых компонентов грунтов, которые определяются прочностью и характером связи внутри них. Чем прочнее преобладающие в твердой компоненте связи, тем прочнее и компонента в целом. Рассмотрим три типа связи внутри твердых компонентов, каждый из которых характеризуется определенным пространственным распределением электронов (табл. 1) [3, с. 81].

Ковалентные связи наиболее прочные. Однако грунты, твердые компоненты которых характеризуются преобладанием ковалентного типа связи, не могут применяться для устройства оснований дорожных одежд, т. к. они практически не размокаемы.

Для дисперсных систем типично присутствие твердых компонент с преобладанием ионной и молекулярной связями и, вероятно, со смешанными типами связей. Следует отметить, что энергия ионной связи и энергия структуры этой связи твердой компоненты (табл.) также имеют высокие значения, что можно рассматривать как предпосылку прочности компонента в целом.

	Энергия	Энергия		
Тип связи	структуры,	связи,	Характерные свойства	
	ккал/моль	эВ		
Ковалентный	170283	3,1	Высокая твердость, слабая	
			электропроводность	
Ионный	180220	1,3	Растворимость, малая элек-	
			тропроводность	
Молекулярный	1,82,4	0,01	Низкие точки плавления и	
			кипения, сжимаемость	

Перейдем к анализу прочности единичных контактов между структурными элементами. Одной из важнейших инженерных задач по упрочнению грунта является уменьшение его пористости и, следовательно, увеличение количества контактов между структурными элементами. Высокое давление при уплотнении грунта влечет уменьшение пористости и, следовательно, уменьшение расстояний между взаимодействующими структурными элементами [3, с. 244].

В начале уплотнения проявляются, прежде всего, физические структурные связи. Под воздействием уплотняющей техники частицы дисперсных грунтов оптимальной влажности плотнее прилегают друг к другу. В контактных зазорах возникают механические напряжения, вызывающие микродеформации соприкасающихся поверхностей, активизируются процессы диффузии вещества. Наряду с этим возрастают силы аутогезионного сцепления за счет слипания однородных по составу твердых частиц.

Следует отметить, что во влажной воздушной среде, обусловливающей образование адсорбционных водных пленок на поверхности частиц, электростатический заряд не сохраняется, а «стекает» с частиц в результате заземления [3, с. 246]. Следовательно, электростатические структурные связи, как и связи магнитной природы, реализуются на ранних этапах уплотнения, как дальнодействующие. Прочность единичного контакта как при магнитной природе, так и при электростатической, невелика, порядка $10^{-8}...10^{-9}$ H [3, с. 247].

Связи механической природы, обусловленные эффектами сцепления и трения для связных грунтов, для крупно- и мелкообломочных несвязных грунтов, изучены достаточно детально, например В. М. Безруком [4].

При дальнейшем уплотнении, превышающем плотность грунта в естественном состоянии и вызывающем существенное уменьшение расстояний ме-

жду твердыми частицами, до порядка 0,5...3,5 A, включаются физикохимические структурные связи [3, с. 244]. Прежде всего, следует отметить молекулярные структурные связи, которые имеют электромагнитную природу. Они образуются под действием молекулярных сил Ван-дер-Ваальса — Лондона между отдельными молекулами или частицами грунта.

Основными характерными чертами и признаками молекулярных структурных связей являются:

универсальный характер связей, возникающих практически между любыми полярными и неполярными молекулами;

дальнодействие проявления молекулярных сил, распространяющихся на расстояния между взаимодействующими молекулами до нескольких тысяч ангстрем;

относительно слабая величина прочности и энергии связей; прочность единичного контакта P_i составляет порядка 10^{-8} H;

обратимый характер разрушения, при определенных условиях эти связи легко и самопроизвольно восстанавливаются.

Энергия U_m молекулярных взаимодействий между частицами может количественно оцениваться исходя из следующих соотношений: при взаимодействии двух одинаковых пластинчатых частиц толщиной d энергия их молекулярного притяжения рассчитывается по формуле:

$$U_m = -(A/12\pi) \left[1/h^2 + 1/(h+2d)^2 - 2/(h+d)^2 \right],$$

а при взаимодействии двух сферических частиц радиусом r по формуле:

$$U_{m} = -(A/6) \left[2/(S^{2} - 4) + 2/S^{2} + ln\{(S^{2} - 4/S^{2})\} \right],$$

где h — расстояние между частицами; d — толщина частиц (плоских); r — радиус частиц; S = R/r, где R — расстояние между центрами сферических частиц; A — константа Гамакера, имеющая значения в пределах $10^{19}...10^{-21}$ Дж [3, c. 248].

В приведенных зависимостях наиболее существенными параметрами, влияющими на энергию молекулярного взаимодействия в них, являются размер частиц и расстояние между частицами. Заметим, что в межмолекулярных связях наибольшую роль играют дисперсионные силы. Результирующая энергия взаимодействия приводит к притяжению на очень малых и отталкиванию на больших расстояниях между дисперсными частицами. Действующие между отдельными молекулами дисперсионные силы быстро убывают с увеличением расстояния между ними. Однако взаимодействие частиц обусловлено суммированием дисперсионных сил притяжения между всеми молекулами, находящимися на поверхности контакта частиц. Силы притяжения между частицами убывают медленнее и проявляются на больших расстояниях [5].

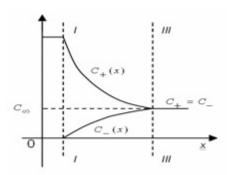
Можно предположить, что при уплотнении грунта основания дорожной одежды, при переходе значения коэффициента уплотнения через единицу, по мере уменьшения порового пространства и сближения твердых частиц грунта первым включается механизм молекулярных структурных связей. На наш взгляд, именно этот механизм, обладающий дальнодействием, является подготовительным этапом для включения основного ионно-электростатического, обусловливающего образование двойного электрического слоя (ДЭС) [6].

Твердая минеральная частица при соприкосновении с жидкостью получает электрический заряд: отрицательный, если его диэлектрическая постоянная меньше диэлектрической постоянной, соприкасающейся с ним жидкости; положительный, если его диэлектрическая постоянная больше. Диэлектрическая постоянная воды равна 81, а минеральных твердых частиц — 3 ... 12. Следовательно, каждая твердая минеральная частица имеет отрицательный заряд. Отрицательный заряд твердых частиц может быть объяснен также и присутствием на их поверхности ионов, входящих в строение кристаллических решеток минералов [7].

Молекула воды, представляющая собой диполь, попадая в электрическое поле частицы, ориентируется в нем и положительно заряженным концом притягивается к поверхности частицы, прочно закрепляясь на ней. Поскольку природная жидкая вода всегда является раствором, то к отрицательно заряженной поверхности частицы притягиваются и прочно закрепляются на ней не только молекулы воды, но и катионы растворенного в воде вещества.

Ближайший к частице слой молекул воды и катионов — адсорбционный слой, (его толщина составляет одну или несколько молекул воды) связан с ней очень прочно. Следует подчеркнуть, что силы притяжения могут составлять несколько сотен и даже тысяч мегапаскалей. Ни одна из известных форм структурного взаимодействия в грунтах не обеспечивает столь высокой прочности связи. За адсорбционным слоем расположен второй слой привлеченных к частице молекул воды и катионов — диффузный. Толщина диффузного слоя зависит и от валентности катионов: чем выше их валентность, тем сильнее они притягиваются к поверхности частицы и тем меньше толщина диффузного слоя [7].

Если рассматривать ПАВ, вводимые в грунт как электролит (вероятно и воду, находящуюся в естественном состоянии в грунте можно считать также электролитом), то в соответствии с современным представлением [3, с. 224] при контакте жидкости и твердого компонента грунта образуется двойной электрический слой. Его формирование на границе раздела твердой и жидкой фаз грунта обусловливается диссоциацией поверхностных соединений минералов под влиянием полярной дисперсной среды. Важную роль в этом процессе играют изоморфмные замещения в кристаллических решетках минералов, при которых минерал, как отмечено выше, приобретает преимущественно отрицательный заряд. Притяжением катионов к поверхности частиц достигается компенсация отрицательного заряда.



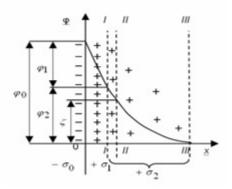


Рис. 2. Схема строения двойного электрического слоя (ДЭС) по О. Штерну. Иллюстрация падения электрического потенциала в функции расстояния от поверхности x и распределение избыточных ионов: I - I - граница адсорбционного слоя; II - II - плоскость скольжения жидкости; III - III - граница диффузного слоя и свободного раствора (внешняя граница ДЭС)

Поверхностная плотность заряда σ_0 потенциалоопределяющего слоя образует внутреннюю обкладку конденсатора, а ионы (катионы), находящиеся в жидкости, образуют внешнюю обкладку противоположного знака. Следует подчеркнуть, что в целом система электронейтральна:

$$-\sigma_0 = \sigma_1 + \sigma_2,$$

где σ_1 — плотность зарядов адсорбционного слоя, которые располагаются от твердой поверхности до линии I—I (рис 2); σ_2 — плотность зарядов диффузного слоя (от линии I—I до линии III—III); ϕ_0 — термодинамический потенциал: $\phi_0 = \phi_1 + \phi_2$; ζ — диффузный электрокинетический потенциал ДЭС (дзета—потенциал) на границе: твердая частица — жидкость [3, с. 224].

Толщина плотной части ДЭС определяется размерами противоионов и зависит от концентрации электролита C.

$$d = \frac{3 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{C_{\text{em}}}}.$$

Потенциал ϕ снижается по мере удаления от поверхности твердого тела. В плотном слое ДЭС — линейно. В диффузном слое снижение потенциала происходит экспоненциально. На рис. 2 показано, что при x=0 потенциал $\phi_x=\phi_0$. Отсюда получается соотношение между $\phi(x)$ и ϕ_0 :

$$\varphi(x) = \varphi_0 \exp(-\frac{x}{\delta}),$$

где δ — приведенная толщина диффузного слоя. Из уравнения следует, что потенциал ϕ (x) уменьшается в 2,72 раза на расстоянии, равном приведен-

ной толщине диффузного слоя δ , а на больших расстояниях падает практически до ноля (рис. 2) [3, с. 225]. Здесь следует отметить, что уплотнение грунта основания дорожной одежды способствует уменьшению толщины диффузного слоя и, следовательно, увеличению термодинамического потенциала.

Для нашего исследования также чрезвычайно важны результаты, полученные Гельмгольцем. Рассмотрим формулу [3, с. 226]:

$$\sigma_0 = \varphi_0 \varepsilon / 4\pi d$$
,

где σ_0 — поверхностная плотность заряда; ϵ — диэлектрическая проницаемость порового раствора; ϕ_0 — термодинамический потенциал; d — толщина адсорбционного слоя.

В приведенной формуле, толщина адсорбционного слоя d имеет определяющее значение, т. е. чем меньше толщина порового пространства, что является следствием повышения плотности грунта, тем выше поверхностная плотность заряда.

«Как бы не были устроены заряженные частицы, но если они не точечные, а имеют конечные размеры, то их притяжение всегда больше отталкивания. В случае притяжения частиц разных знаков, распределенные по их объему заряды смещаются навстречу друг другу, эффективное расстояние между зарядами становится меньше расстояния между центрами частиц, и сила кулоновского притяжения увеличивается. При отталкивании наблюдается обратная картина — центры зарядов раздвигаются, расстояние растет, а сила взаимодействия уменьшается». Результирующая энергия взаимодействия приводит к притяжению (U < 0) на очень малых и отталкиванию (U > 0) на больших расстояниях между дисперсными частицами» [8].

Зависимости прочности грунтов от параметров ионноэлектростатических и молекулярных структурных связей, возникающих в процессе переуплотнения грунтов, требуют детального изучения. Однако достигнутый уровень знаний позволяет моделировать этот процесс. Например, если исходить из посылки, что суммарный объемный электрический заряд взаимодействующих фаз равен 0, то, на наш взгляд, это может свидетельствовать о завершении процесса уплотнения на наноуровне.

Пусть поверхностная плотность σ_0 зарядов есть функция координат (x; y; z), т. е $\sigma = \sigma \cdot (x_1 \cdot y_1 \cdot z_1)$.

Когда ${\it Q}$ — объемный заряд области взаимодействующих фаз будет равен 0, то

$$Q = \iiint_{y} \sigma(x; y; z) dv = 0.$$

Выбирая функцию $\sigma(x; y; z)$ и воздействуя на процесс уплотнения грунта, можно найти указанный тройной интеграл и убедиться в скомпенсированности всех зарядов, что и будет указывать на максимальную плотность грунтового основания.

С учетом фактора времени уплотнение, которое зависит от различных внешних и внутренних факторов, может быть представлено в виде:

$$\lim_{t\to\infty}\iiint\limits_{v}\sigma(x;y;z)dv=\lim\limits_{t\to\infty}f(t)=0.$$

Рассмотрим идеализированную модель твердой компоненты грунта и порового пространства (рис. 3). Пусть α — первоначально внесенный в поровое пространство заряд.

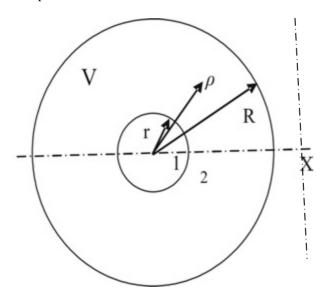


Рис. 3. Плоский разрез идеализированной твердой фазы грунта $\it 1$ и порового пространства $\it 2$

Распределение заряда σ_0 вблизи твердой поверхности 1 задано формулой:

$$\sigma \equiv \sigma(x, y, z, t) = \frac{\alpha e^{-\beta t}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}},$$

где $\alpha e^{-\beta t}$ — зависимость, характеризующая экспоненциальный характер убывания концентрации ионов; $\beta > 0$ — скорость образования физикохимических структурных связей в слое 2, $e = \sim 2$, 718.

Как отмечено выше, плотность заряда убывает по мере удаления от твердой фазы 1. Тогда суммарный заряд в области 2 (область V) может быть определен так:

$$Q_{\sum} = \iiint_{V} \sigma(x, y, z, t) dv = \alpha e^{\beta t} \iiint_{V} \frac{dx dy dz}{\sqrt{x^{2} + y^{2} + t^{2}}}.$$

Перейдем в сферическую систему координат.

Преобразуем тройной интеграл к сферическим координатам:

 $M(\rho; \varphi; \Theta)$ — в сферической системе; M(x; y; z) — в декартовой системе координат.

Связь между декартовыми и сферическими координатами:

$$x = \rho \sin \Theta \cos \varphi$$

$$y = \rho \sin \Theta \sin \varphi$$
 $\Rightarrow x^2 + y^2 + z^2 = \rho^2$;

 $z = \rho \cos \varphi$.

$$\rho \in \left[0;+\infty\right]; \quad \phi \in \left[0;2\pi\right]; \qquad \Theta \in \left[0;\pi\right].$$

Якобиан преобразования:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \rho} & \frac{\partial x}{\partial \phi} & \frac{\partial x}{\partial \Theta} \\ \frac{\partial y}{\partial \rho} & \frac{\partial y}{\partial \phi} & \frac{\partial y}{\partial \Theta} \\ \frac{\partial z}{\partial \rho} & \frac{\partial z}{\partial \phi} & \frac{\partial z}{\partial \Theta} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sin \Theta \cos \phi & \rho \sin \Theta \sin \phi & \rho \cos \Theta \cos \phi \\ \sin \Theta \sin \phi & \rho \sin \Theta \cos \phi & \rho \cos \Theta \sin \phi \\ \cos \phi & -\rho \sin \phi & 0 \end{vmatrix} =$$

 $= \rho^2 \sin \Theta$.

Формула преобразования:

$$\iiint\limits_V f(x;y;z)dxdydz = \iiint\limits_V (\rho\sin\Theta\cos\varphi;\rho\sin\Theta\sin\varphi;\rho\cos\Theta;) \big|J\big|d\rho d\varphi dQ.$$

Используя якобиан преобразования: $J = \rho^2 \sin \Theta$ и замечая, что

$$x^2 + y^2 + z^2 = \rho^2$$
, получим:

$$Q_{\sum} = \alpha e^{-\beta t} \iiint_{V} \frac{\rho^{2} \sin \Theta d\rho d\phi d\Theta}{\sqrt{\rho^{2}}} = \alpha e^{-\beta t} \iiint_{V} \rho \sin Q d\rho d\phi d\Theta =$$

$$= \alpha e^{-\beta t} \int_{r}^{R} \rho d\rho \int_{0}^{\pi} \sin \Theta d\Theta \int_{0}^{2\pi} d\phi = \alpha e^{-\beta t} \int_{r}^{R} \rho d\rho \int_{0}^{\pi} \sin \Theta d\Theta \phi \Big|_{0}^{2\pi} =$$

$$= \alpha e^{-\beta t} \int_{r}^{R} \rho d\rho \int_{0}^{\pi} \sin \Theta d\Theta (2\pi - 0) = 2\pi \alpha e^{-\beta t} \int_{r}^{R} \rho d\rho (\cos \Theta) \Big|_{0}^{\pi} =$$

$$= 2\pi \alpha e^{-\beta t} \int_{r}^{R} \rho d\rho (1+1) = 4\pi \alpha e^{-\beta t} \frac{\rho^{2}}{2} \Big|_{r}^{R} = 2\pi \alpha e^{-\beta t} (R^{2} - r^{2}).$$

Уплотнение грунта приводит к увеличению β — скорости физико-химических структурных связей в слое 2, т. е. уменьшает Q_{\sum} с течением времени: $t \lim_{t \to \infty} Q_{\sum} = 0$ — завершается образование ДЭС, т. е. достигается

максимальная плотность для данного грунта в конкретных условиях на наноуровне.

Выводы. Рассматривая на наноуровне задачу уплотнения связных грунтов в качестве основания дорожной одежды можно сделать следующие основные выводы. 1. Ионный тип связей внутри твердых компонентов грунта характеризуется весьма высокой энергией связи (1,3 эВ) и энергией

структуры (180...220 ккал/моль). 2. По мере уплотнения грунта вначале включаются физические структурные связи. Превышение значений плотности грунта в естественном состоянии и уменьшение расстояний между структурными элементами до 0,5...3,5 А включают механизм молекулярных связей в силу его дальнодействия, а затем ионно-электростатический. Эти процессы создают предпсылки для уменьшения адсорбционного слоя, увеличения поверхностной плотности заряда σ_0 .

- 4. Чем больше поверхностная плотность заряда и термодинамический потенциал, тем выше параметры ДЭС. Силы притяжения в структурных связях могут составлять несколько сотен и даже тысяч мегапаскалей.
- 5. При соответствующим образом подобранном ПАВ уплотнение грунта приводит к увеличению скорости физико-химических структурных связей в поровом слое, уменьшает его суммарный заряд Q_{\sum} . С течением времени

 $\lim_{t \to \infty} Q_{\sum} = 0$ и завершается образование ДЭС, т. е. достигается максимальная

плотность для данного грунта в конкретных условиях на наноуровне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Ольховников В. М. Опыт использования стабилизаторов глинистых грунтов // Автомобильные дороги. 1994. № 3. С. 11—13.
- 2. *Боровик В. С., Алексиков С. В.* Дорожные основания из переуплотненного грунта в условиях Нижнего Поволжья // Наука и техника в дорожной отрасли. 2003. № 3. С. 35—36.
 - 3. *Трофимов В. Т., Королев В. А.* Грунтоведение. \dot{M} . : МГУ ; Наука, 2005.
 - 4. Безрук В. М. Укрепление грунтов. М.: Транспорт, 1965.
 - 5. URL: http://www.claw.ru/a-natural/34814.htm. (дата обращения : 22.08.2012).
- 6. Механизм образования ДЭС. URL : http://4108.ru/u/dvoynoy_elektricheskiy_sloy.(дата обращения 22.08.2012).
 - 7. Состав грунтов. URL: kompetent-stroy.ru (дата обращения : 22.08.2012).
- 8. *Петров В. М.* Гравитация как проявление электричества // Инженер. 2006. № 10. URL : http://ritz-btr.narod.ru/elgrav.html. (дата обращения : 22.08.2012).
- 1. *Ol'khovnikov V. M.* Opyt ispol'zovaniya stabilizatorov glinistykh gruntov // Avtomobil'nye dorogi. 1994. N 3. S. 11—13.
- 2. *Borovik V. S., Aleksikov S. V.* Dorozhnye osnovaniya iz pereuplotnennogo grunta v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2003. № 3. S. 35—36.
 - 3. Trofimov V. T., Korolev V. A. Gruntovedenie. M.: MGU; Nauka, 2005.
 - 4. Bezruk V. M. Ukreplenie gruntov. M.: Transport, 1965.
 - 5. URL: http://www.claw.ru/a-natural/34814.htm. (data obrasheniya: 22.08.2012).
- 6. Mekhanizm obrazovaniya DES. URL: http://4108.ru/u/dvoynoy_elektricheskiy_sloy. (data obrasheniya: 22.08.2012).
 - 7. Sostav gruntov. URL: kompetent-stroy.ru (data obrasheniya: 22.08.2012).
- 8. *Petrov V. M.* Gravitatsiya kak proyavlenie elektrichestva // Inzhener. 2006. № 10. URL: http://ritz-btr.narod.ru/elgrav.html. (data obrasheniya: 22.08.2012).

© Боровик В. С., Синяков В. Н., Фомичев В. Т., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Боровик В. С., Синяков В. Н., Фомичев В. Т. Определение влияния переуплотнения грунтов на характер контактных взаимодействий дисперсных частиц // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 61—69.

УДК 625.72

С. В. Алексиков, Г. И. Беликов, Б. Х. Санжапов, Д. И. Симончук

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Описана методика оперативного определения влажности грунтов при сооружении земляного полотна.

K л ю ч е в ы е с л о в а: автомобильные дороги, земляное полотно, грунты повышенной плотности, влажность.

The procedure of operational determination of soil moisture when constructing earth bed is described in the article.

K e y w o r d s: roads, earth bed, soils of high density, moisture.

Согласно подпрограмме «Автомобильные дороги» перед дорожниками РФ поставлена задача к 2015 г. построить 4455 км дорог с твердым покрытием, обеспечивающих круглогодичную связь 2309 сельских населенных пунктов с дорогами общего пользования. Строительство подъездных сельских дорог требует значительных финансовых затрат в объеме не менее 89 млд р.

Успешная реализация поставленной задачи в значительной степени определяется возможностью снижения сметной стоимости строительства дорожных одежд, за счет рационального использования местных строительных материалов и укрепленных грунтов.

Как показывает опыт строительства сельских дорог Казахстана, Тюменской, Новосибирской, Омской, Тамбовской и других областей РФ, наименее затратным и достаточно эффективным является повышенное уплотнение глинистых грунтов рабочего слоя насыпи [1]. Современная уплотняющая техника позволяет достичь коэффициентов уплотнения грунтов 1,01...1,05 при допустимой влажности грунтов $0,9...1,05\ W_0$ и достаточно четкой организации и технологии земляных работ. По сравнению с традиционной конструкцией дорожной одежды на основании из щебня, повышенное уплотнение грунтового основания на дорогах IVA-р, IV-Б-п и IV категорий позволяет снизить стоимость строительства до $10...15\ \%$ [1, 2]. Наибольший эффект наблюдается в районах с засушливым климатом и дефицитом месторождений каменных материалов, что характерно для территории Нижнего Поволжья.

С целью производственной проверки эффективности применения переуплотненных грунтов в основании дорожных одежд в 1998—2002 гг. на территории Волгоградской области построен экспериментальный участок дороги IV технической категории протяженностью более 10 км, включающий 7 опытных конструкций дорожных одежд, за которыми по настоящее время проводятся наблюдения.

Район строительства — Быковский — характеризуется засушливым климатом, с годовой суммой осадков 350 мм и испарением 973 мм/год. Максимальная среднегодовая влажность глинистых грунтов в весенний период не превышает $0.35...0.4~W_{\rm T}$. Для сооружения насыпи высотой 1.2...1.5 м исполь-

зовалась супесь и суглинок легкий из боковых резервов с естественной влажностью 5...8 %. В процессе строительства верхний слой насыпи 0,3...0,5 м рыхлился, увлажнялся до влажности, близкой к оптимальной и перемешивался фрезой. Уплотнение грунта выполнялось послойно 0,15...0,20 м кулачковым и пневмокатком весом 40 т. Укатка заканчивалась по мере достижения коэффициента уплотнения 1,03...1,05. Как показал опыт строительства, требуемая плотность достигалась при 14...16 проходах пневмокатка по следу при влажности 0,95...1,05 от оптимальной.

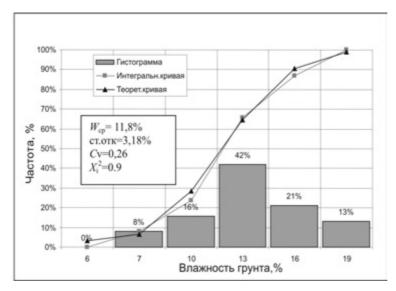


Рис. 1. Распределение влажности супеси после его увлажнения в насыпи



Рис. 2. Динамическая пенетрация грунта прибором ПГ-1 в приборе стандартного уплотнения Союздорнии

При производстве работ особое внимание уделялось операционному контролю влажности грунта в естественном состоянии в процессе его увлажнения и перемешивания фрезой перед уплотнением. Исследования показали, что влажность грунта подчинена нормальному закону распределения (рис. 1).

Для оперативного определения влажности грунта разработан экспресс-метод определения влажности грунта, основанный на его пенетрации прибором ПГ-1 в кольце прибора стандартного уплотнения Союздорнии (рис. 2). Навеска грунта в насыпи уплотнялась трамбовкой в кольце прибора (при стандартном количестве ударов) с последующей пенетрацией. Влажность грунта определялась по результатам показания ПГ-1 с помощью заранее построенных в лаборатории графиков (рис. 3).

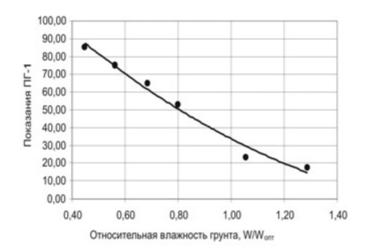


Рис. 3. Зависимость относительной влажности супеси от показаний пенетрометра $\Pi\Gamma$ -1

В результате проведенных экспресс-испытаний по разработанной методике установлено, что значения относительной влажности грунта, полученные путем пенетрационных испытаний, отличаются от значений, установленных методом термостатного высушивания, не более чем на $0.08\ W_{\rm on}$.

Статистический контроль влажности грунтов выполнялся с учетом нормальности ее распределения. Для обоснования объема контроля влажности (n) использована формула Чебышева:

$$n = (tC_{\nu}/\rho)^2, \tag{1}$$

где n — необходимое число испытаний; C_{ν} — коэффициент вариации влажности грунта; t — нормируемое отклонение, которое определяется в зависимости от доверительной вероятности или категории дороги, числа испытаний; ρ — показатель точности измерения влажности, определялся по формуле:

$$\rho = \Delta / W_{\rm cp} \,, \tag{2}$$

где Δ — абсолютная ошибка метода измерения; $W_{\rm cp}$ — среднее значение влажности грунта.

Результаты расчетов объема контроля влажности грунтов, в зависимости от типа грунта и коэффициента вариации, приведены в табл.

Оценка прочности построенных конструкций дорожных одежд показала, что повышенное уплотнение грунта ($K_y = 1,0...1,05$) позволяет увеличить модуль упругости основания с 59 до 81 МПа. Дренирующая прослойка из Дорнита (геотекстильное полотно производства ПСК «Геодор» с плотностью 600 г/кв.м., разрывной нагрузкой по длине 16 кН/м и по ширине 18 кН/м) за счет армирующего эффекта дополнительно повышает прочность грунтового основания до 97 МПа. Увеличение прочности грунтового основания привело к снижению толщины основания из местного известнякового щебня до 10 %, уменьшило стоимость строительства конструкции до 5 %.

Необходимый объем замеров влажности грунтов в пределах захватки

Vaahhuuvaya papuayay Cu	Минимальный объем замеров								
Коэффициент вариации <i>Cv</i>	Ky = 1,0-0,98	Ky = 0.95	Ky = 0.9						
Супесь легкая:									
0,1	3	1	1						
0,2	12	3	1						
Суглинок легкий, супесь тяжелая									
Коэффициент вариации Cv	Минимальный объем замеров								
	Ky = 1,0-0,98	Ky = 0.95	Ky = 0.9						
0,1	5	3	1						
0,2	19	12	5						
Глины, суглинки тяжелые									
0,1	12	5	2						
0,2	49	5	2						

Результаты диагностики построенного участка дороги через 10...12 лет эксплуатации показали, что состояние проезжей части хорошее. Влажность грунтового основания не превышает оптимальную, изменяется от $0.35W_{\rm T}$ до $0.43~W_{\rm T}$, коэффициент уплотнения — от $1.0~{\rm дo}~1.02$. Прочность дорожной одежды не ниже проектной, несмотря на то что строительство дороги привело к появлению воды в боковых резервах (рис.).



Состояние проезжей части дороги «Победа — Солдатское — Степное» (ПК 122+80) после строительства (слева) и через12 лет эксплуатации (справа)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Альбом рекомендуемых технических решений для применения в дорожном строительстве. М.: Росагропромдорпроек, 1990. 103 с.
- 2. Методические рекомендации по повышению прочности грунтов земляного полотна автомобильных дорог в засушливых районах Казахстана. М.: Союздорнии, 1979. 24 с.
- 3. Методические рекомендации по уточнению плотности грунтов насыпей автомобильных дорог в различных региональных условиях. М.: Союздорнии, 1988. 19 с.
- 4. *Сиденков В. М., Батраков О. Т., Покутнев Ю. А.* Дорожные одежды с парогидроизоляционными слоями: М.: Транспорт, 1894. 144 с.
- 1. Al'bom rekomenduemykh tekhnicheskikh resheniy dlya primeneniya v dorozhnom stroitel'stve. M.: Rosagropromdorproek, 1990. 103 s.
- 2. Metodicheskie rekomendatsii po povysheniyu prochnosti gruntov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog v zasushlivykh rayonakh Kazakhstana. M.: Soyuzdornii, 1979. 24 s.
- 3. Metodicheskie rekomendatsii po utochneniyu plotnosti gruntov nasypey avtomobil'nykh dorog v razlichnykh regional'nykh usloviyakh. M.: Soyuzdornii, 1988. 19 s.
- 4. *Sidenkov V. M., Batrakov O. T., Pokutnev Yu. A.* Dorozhnye odezhdy s parogidroizolyatsionnymi sloyami: M.: Transport, 1894. 144 s.

© Алексиков С. В., Беликов Г. И., Санжапов Б. Х., Симончук Д. Н., 2012

Поступила в редакцию в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Методика контроля влажности грунтов при строительстве земляного полотна / С. В. Алексиков, Г. И. Беликов, Б. Х. Санжапов, Д. Н. Симончук // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 70—74.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 699.86

С. В. Корниенко

ТЕСТИРОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА РЕЗУЛЬТАТАХ ТЕПЛОВИЗИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Тестирование разработанного метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах тепловизионного обследования жилого здания подтверждает его достоверность, что позволяет использовать этот метод в проектной практике.

Ключевые слова: температурно-влажностный режим, тепловизионное обследование, метод расчета.

Testing of the calculation method of temperature and moisture operation of building envelopes based on the results of thermal-imaging examination of the residential building proves its certainty. It allows to use this method in design.

Key words: temperature and moisture operation, thermal-imaging examination, calculation method.

Истощение энергетических природных ресурсов ставит остро проблему энергосбережения и повышения энергоэффективности зданий. Эта проблема тесно связана с необходимостью исследования процессов тепломассообмена, прогноза температурно-влажностного режима ограждающих конструкций и повышения надежности теплотехнических расчетов.

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

В статье приведены результаты тепловизионного обследования жилого здания, которые использованы для тестирования (верификации) разработанного метода расчета.

Тепловизионное обследование выполнено для 10-этажного 4-секционного жилого здания в г. Волжском Волгоградской области. Здание построено из железобетонных объемных блоков типа «колпак» с толщиной стенок 70 мм. Для утеп-

ления наружных стен объемных блоков использованы двухслойные навесные панели, состоящие из наружного защитно-отделочного слоя (керамзитобетон, $\rho_{\rm o}=1200~{\rm kr/m}^3$) толщиной 70 мм и эффективного утеплителя толщиной 190 мм. Для крепления панели к объемному блоку по ее контуру предусмотрены ребра из керамзитобетона средней толщиной 70 мм, образующие сквозные теплопроводные включения. Проектное значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен с учетом теплопроводных включений $R_h^{\rm des}=2,92~{\rm m}^2\cdot{\rm °C/BT}$, что соответствует требованиям норм по энергосбережению СНиП 23-02—2003 «Тепловая защита зданий». Световые проемы окон и балконных дверей заполнены стеклопакетами. Крыша здания выполнена с холодным чердаком, кровля плоская с рулонным гидроизоляционным покрытием.

Тепловизионное обследование проведено в марте 2008 года в дневное время при разности температур внутреннего и наружного воздуха около 20 °С и режиме теплопередачи, близком к стационарному. Обследование производилось при отсутствии ветра, атмосферных осадков, тумана и задымленности. В процессе измерений обследуемые наружные поверхности стен не подвергались воздействию прямого и отраженного солнечного облучения. Тепловизионное обследование выполнено совместно с ООО «СтройПромЭкспертиза» тепловизором марки IR 928 в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора.

Тепловизионные измерения выполнены по квадратам. Разбивка на квадраты произведена с захватом в обзорное поле тепловизора теплотехнически неоднородных участков ограждающих конструкций оболочки здания: вертикальных и горизонтальных стыков панелей, оконных откосов, теплопроводных включений. Внутри каждого квадрата выделены реперные (базовые) участки, т. е. зоны без температурных аномалий. На базовых участках проводят контактные измерения температуры и настраивают тепловизор.

Результатом тепловизионного обследования является совокупность термограмм ограждающих конструкций, полученная термографированием, расшифровкой и расчетом термоизображений. Термограмма представляет собой температурное поле, рассчитанное с шагом 0,1...0,2 °C по поверхности.

На рис. 1 представлены общий вид (рис. 1, a) и обзорная термограмма (рис. 1, b) фрагмента дворового фасада здания. Приведенная термограмма позволяет выявить участки, в которых нарушается однородность температурного поля: в зонах окон и балконных дверей, на стыках панелей наружных стен, в ограждениях цокольного этажа и чердака.



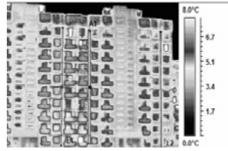


Рис. 1. Общий вид и обзорная термограмма фрагмента дворового фасада здания

На рис. 2 представлены общий вид (рис. 2, a) и детальная термограмма (рис. 2, δ) фрагмента торцевого фасада здания, включающего стыки панелей

наружных стен. Представленная термограмма конкретизирует температурное поле для указанного фрагмента. Как видно по термограмме, в зоне горизонтальных стыков панелей нарушается однородность температурного поля. Максимальная температура наружной поверхности в указанной краевой зоне 2,6 °C, что выше температуры по глади стены.

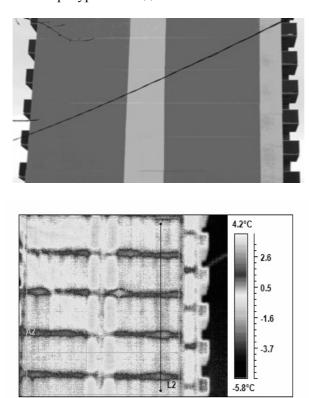


Рис. 2. Общий вид и детальная термограмма фрагмента торцевого фасада здания

Результаты тепловизионного обследования использованы для тестирования разработанного метода. Расчет нестационарного температурновлажностного режима выполнен по компьютерной программе «СОВТ-3» [2] для наиболее опасной краевой зоны — горизонтального стыка панелей наружных стен. Начальные условия, соответствующие моменту ввода здания в эксплуатацию, приняты на начало отопительного периода.

На рис. З представлено температурное поле, полученное расчетом спустя 135 суток с момента ввода конструкции в эксплуатацию. Из рисунка видно, что в зоне стыка панелей отмечается локализация температуры. Вдали от стыка панелей изотермы проходят параллельно поверхностям стены. По мере приближения к стыку изотермы изгибаются к внутренней и наружной поверхностям стены, что указывает на более интенсивный тепловой поток по керамзитобетонным ребрам панелей.

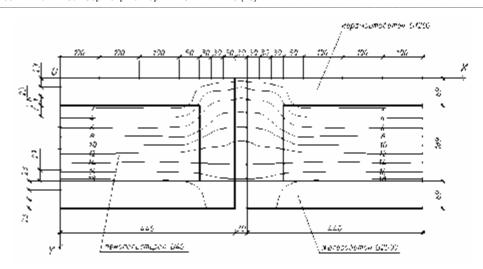


Рис. 3. Температурное поле t(x, y) в зоне горизонтального стыка панелей наружных стен

На рис. 4 представлен профиль температуры t(x) на наружной поверхности стены в зоне горизонтального стыка панелей. Начало координатной оси совпадает с осью стыка. Из рисунка видно, что в зоне стыка отмечается локальное повышение температуры. Максимальная температура в зоне стыка по результатам расчета — 2,6 °C, по данным измерений — 2,3 °C при средней температуре по глади стены 0,6 °C.

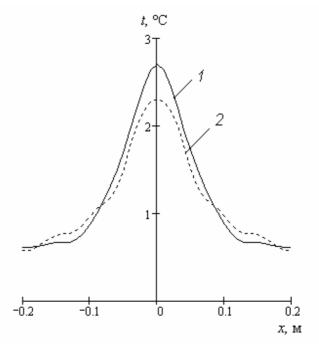


Рис. 4. Профиль температуры t(x) на наружной поверхности стены в зоне горизонтального стыка панелей: I — расчет по компьютерной программе; 2 — результаты измерений по данным тепловизионного обследования

Сравнение результатов расчета и экспериментальных данных показывает их хорошее согласование. Максимальное отклонение рассчитанного значения температуры от измеренного равно $13,1\,\%$ в сечении x=0.

Проведенное тестирование разработанного метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах тепловизионного обследования жилого здания подтверждает его достоверность, что позволяет использовать этот метод в проектной практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Корниенко C. B. Методы инженерной оценки влажностного режима ограждающих конструкций на основе теории потенциала влажности. Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. 100 с.
- 2. Корниенко С. В. Совместный влаготеплоперенос (COBT) : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011611175 от 04.02.2011.
- 3. *Корниенко С. В.* Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8 (26). С. 5—12.
- 1. *Kornienko S. V.* Metody inzhenernoy otsenki vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktsiy na osnove teorii potentsiala vlazhnosti. Volgograd : VolgGASU, 2011. 100 s.
- 2. Kornienko S. V. Sovmestnyy vlagoteploperenos (SOVT) : svidetel'stvo o gosudar-stvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2011611175 ot 04.02.2011.
- 3. Kornienko S. V. Otsenka vliyaniya kraevykh zon ograzhdayushchikh konstruktsiy na teplozashchitu i energoeffektivnost' zdaniy // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2011. N_2 8 (26). S. 5—12.

© Корниенко С. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Корниенко С. В. Тестирование метода расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на результатах тепловизионного обследования жилого здания // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 75—79.

УДК 699.841 (05)

А. В. Масляев

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ СТЕПЕНЬ ПОВРЕЖДЕНИЯ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В городах России расположены многие здания и сооружения с возрастом 30—50 лет. Отсутствие в нормативном документе СП 14.13330.2011 положения о предельно допустимой степени повреждения в зданиях и сооружениях обусловило неконтролируемое снижение прочностных показателей конструкций в процессе эксплуатации до землетрясения. Поэтому сегодня во многих российских городах значительная часть зданий и сооружений находится в ветхом и аварийном состоянии, что недопустимо в сейсмоопасных районах. Предлагаются значения предельно допустимых степеней повреждения в зданиях и сооружениях повышенной ответственности при эксплуатации.

К л ю ч е в ы е $\,$ с л о в а: степень повреждения, эксплуатация зданий, повторные толчки, разрушение.

Many buildings and constructions in Russian cities are 30-50 years old. The lack of regulatory document SP 14.13330.2011 (C Π 14. 13330.2011) regulations on extreme allowed damage degree of buildings and constructions has determined uncontrollable decrease of stability indexes of construction in operations till earthquake. Therefore today in many Russian cities the significant number of buildings and constructions are in bad or emergency condition that is inadmissible in seismic danger areas. The indexes of extreme allowed damage degree in buildings and structures of enhanced responsibility in operation are offered.

K e y w o r d s: damage degree, operation of buildings, repeated pushes, destruction.

Известно, что основную опасность для многих людей представляет воздействие сильного землетрясения на здания и сооружения, эксплуатирующиеся более 30—50 лет. При рассмотрении города как объекта воздействия землетрясения отдельное жилое здание, характеризующееся высокой плотностью заселения (100 и более человек), становится основным структурным элементом его капитальной застройки. Современные города с населением, например, в 50 тысяч человек и более застраиваются зданиями, срок эксплуатации которых составляет несколько сотен и даже тысяч лет. В связи с этим во всем мире принято считать, что разрушение города из-за землетрясения является признаком полной несостоятельности страны. Именно поэтому к возведению отдельных основных структурных элементов города должны предъявляться повышенные сейсмозащитные требования, которые позволяли обозначить недопустимую для города ситуацию, когда данные структурные элементы в процессе эксплуатации могут перейти в ветхий или аварийный фонд. Основными причинами перехода зданий и сооружений в ветхий и аварийный фонд могут быть и несовершенные правила их эксплуатации, в результате чего этот процесс может ускоряться. Как известно, одним из важнейших критериев сейсмостойкости зданий и сооружений является степень повреждения их конструкций при землетрясении расчетной интенсивности. Именно об этом говорится в [1]: «Оптимальные объемы повреждений и должны быть критериями для описания оптимальных (предельных) состояний сооружений». Количественную характеристику предельной степени повреждения зданий и сооружений при землетрясении обосновали известные

ученые России [1, 2]. Так, например, в [2] записано: «Существующий критерий сейсмостойкости, например, жилых зданий, вытекающий из требований обеспечения жизни людей, в переводе на номера степеней повреждаемости соответствует примерно d = 3.0». Так как при длительном процессе эксплуатации (несколько десятков лет) в конструкциях многих зданий и сооружений города по разным причинам часто образуются трещины, рассчитывать общую степень повреждения при землетрясении правильнее с учетом эксплуатационных повреждений (эксплуатационная степень повреждения — степень повреждения до землетрясения). О необходимости учитывать показатель эксплуатационной предельно допустимой степени повреждения свидетельствует как накопившаяся к настоящему моменту обширная статистика ее реальных значений, так и требование п. 6 ст. 16 Федерального закона [3]: «При проектировании здания или сооружения повышенного уровня ответственности должна быть учтена также аварийная ситуация, имеющая малую вероятность возникновения и небольшую продолжительность, но являющаяся важной с точки зрения последствий достижения предельных состояний, которые могут возникнуть при этой ситуации». Данное положение Федерального закона основано на том, что степени повреждений в зданиях и сооружениях под воздействием различных факторов могут суммироваться.

К сожалению, в расчетной концепции нормативного документа [4] вообще отсутствуют какие-либо сведения о предельно допустимой эксплуатационной степени повреждения. Однако можно предположить, что согласно нормативной концепции сооружение до землетрясения не должно иметь повреждений. Более того, в ее эмпирической формуле по определению сейсмической нагрузки на сооружение в виде множителя используется коэффициент K_1 , который понижает значение этой нагрузки примерно в 4 раза, для того чтобы при воздействии основного подземного толчка сооружение получило предельно допустимую 3-ю степень повреждения по шкале MSK-64. Известно, что примерно такое же значение коэффициента $K_1 = 0,25$ было принято еще авторами первого нормативного документа CH 8-57. Так как к настоящему моменту накопилось достаточно много статистических данных об эксплуатационных степенях повреждений сейсмостойких зданий и сооружений, специалистам следует изменить свое отношение к принятым ранее нормам.

Сегодня почти каждый взрослый житель России знает, что в городах многие жилые здания с возрастом в 30 — 50 лет имеют значительные повреждения. Так как от значения степени повреждения может зависеть сейсмоустойчивость зданий и сооружений и, соответственно, и жизнь людей в момент землетрясения, чиновники эксплуатационной службы не должны допускать ситуации, когда ее значение превышает нормативный показатель. Но, как отмечалось выше, такой нормативный показатель для сейсмостойких зданий и сооружений в нормативном документе отсутствует.

Вопрос об укреплении зданий и сооружений в сейсмоопасных районах обсуждался на селекторном совещании Председателя Правительства В. В. Путина с губернаторами 21 марта 2012 г. Так, критикуя строителей, премьер признал, что «нужно заниматься инвентаризацией и приводить в порядок существующие объекты, многие из которых не отвечают, к сожалению, современным стандартам сейсмической устойчивости, а иногда просто находятся в ветхом или даже аварийном состоянии, представляют угрозу для жизни и здоровья граждан».

Согласно официальным данным к концу 2010 г. на территории г. Волгограда 360 тыс. м² жилой площади было отнесено к ветхому и аварийному фонду. О критическом состоянии многих других жилых строений на территории города свидетельствует без как-либо внешних воздействий факт обрушения части наружной стены у 5- этажного кирпичного здания общежития по ул. Жолудева, д. 7-а в феврале 2012 г. без всяких внешних воздействий. Региональные СМИ крайне негативно отреагировали на данное происшествие. Так, в газете «Комсомольская правда» от 27 февраля 2012 г. была напечатана фотография обрушенной стены здания, сопровождающаяся надписью: «Такая же судьба ждет еще около 50 старых «общаг» города, которые власти отказываются признавать аварийными».

Перечисленные факты свидетельствуют о наличии «огромной дыры» в нормативной базе России относительно важнейшего вопроса сохранения жизни людей в жилых зданиях на сейсмоопасных территориях, что снимает с чиновников в сфере строительства всякую ответственность. Таким образом, не следует ожидать, что в ближайшее время повысится качество эксплуатации зданий и сооружений, расположенных в сейсмоопасных районах России. Но даже эта информация позволяет предположить, что многие города в сейсмоопасных районах России на сегодняшний день имеют значительный ветхий и аварийный фонд. Так, если признать, что степени повреждений как случайные величины распределяются по нормальному закону, то при степени повреждения в крайней правой части графика по оси абцисс d = 3.8 [9] (аварийное состояние) получается, что ее усредненное значение для многих городских зданий составляет примерно d = 1,8. Следовательно, в случае землетрясения расчетной интенсивности такие здания могут получить степень повреждения $d \ge 4,0$ по шкале MSK-64, что приведет к частичному обрушению их конструкций и гибели людей. Конечно, более точно спрогнозировать усредненную степень повреждения для многих зданий и сооружений при землетрясении на территории города можно только при наличии конкретных сведений о состоянии их конструкций до сейсмического воздействия. Но, насколько известно, такие объективные данные по каждому городу, находящемуся в сейсмоопасной зоне, отсутствуют.

Теория сейсмостойкого строительства развивается только на основании при достаточных статистических данных о реакции большого количества различных типов зданий и сооружений как на длительный процесс их эксплуатации, так и на воздействие различных землетрясений. Именно поэтому необходимо создать специальные федеральные электронные сайты, доступные каждому специалисту, и размещать на них подобную информацию по всем городам России. Только в таком случае можно поставить в жесткие рамки чиновников, от работы которых в немалой степени зависит грамотная эксплуатация зданий и сооружений.

Возникшие в процессе эксплуатации зданий и сооружений значительные повреждения анализируются учеными [5, 6, 7]. Например, в [5]: «Эти и другие факты показывают, что даже однотипные здания, построенные по одной серии, по существу являются разными зданиями с точки зрения их состояния и, следовательно, жесткости. Эти различные состояния зданий обусловлены как их возведением, так и процессом эксплуатации». В [6] дается такая же оценка: «На самом деле в каждом доме, в том числе и в новом, есть дефекты

строительства, следовательно, величина степени повреждения не равна нулю. Тем более если это здание много лет находилось в эксплуатации...». В [6] приводится некоторый обобщенный перечень причин образования повреждений в процессе эксплуатации зданий и сооружений на территориях разных регионов бывшего СССР: «Трещины могут быть усадочные, появляющиеся в результате усадки строительных материалов; температурные, возникающие в результате периодических температурных воздействий на строительные материалы; эксплуатационные трещины появляются в период эксплуатации в результате перегрузки или перенапряжения в несущих конструкциях при работе всего сооружения в целом». Далее в [6] приводится оценка значительной степени повреждения из-за пучинистости грунтов и ее влияние на общий сейсмический эффект в здании при землетрясении незначительной интенсивности: «Следовательно, здание до землетрясения имеет за счет пучинистости грунтов степень повреждения около трех ($d \sim 3$, а в отдельных случаях даже больше) и достаточно небольшого толчка (I = 5—6 баллов), чтобы повреждения стали как при 8-балльном землетрясении». В качестве вывода о влиянии повреждений в зданиях и сооружениях в процессе эксплуатации на общую степень повреждения при землетрясении расчетной интенсивности в [6] записано: «Таким образом, это еще раз подтверждает наше предположение, что не столь важно, каким образом накоплены повреждения до данного землетрясения, а очень важно знать величину степени повреждения до землетрясения, ибо только в этом случае можно рассчитать, какую степень повреждения будут иметь эти здания, если произойдет землетрясение...». В [5] анализируется влияние слабых, но частых сейсмических воздействий на образование повреждений в зданиях на территории г. Петропавловска-Камчатского: «Результаты инженерно-сейсмометрических наблюдений показали, что периоды колебаний 5-ти этажных крупнопанельных зданий после 30 сейсмических воздействий интенсивностью 3—5 баллов (с 1971 по 1983 г.г.) увеличились на 25—28 % по сравнению с периодами, определенными до землетрясения». В [7] анализируется влияние наземных взрывов боеприпасов на военном полигоне «Прудбой», который расположен в западном направлении на расстоянии примерно 50 км от г. Волгограда, на образование повреждений в верхних этажах 9-этажных жилых зданий.

Как обосновывается в [8, 9], за последние примерно 30 лет сильные землетрясения на земном шаре стали происходить чаще. При этом через несколько минут после основного толчка, когда люди еще не успевают выйти из зданий, наблюдается серия повторных толчков. Поэтому с целью обеспечения безопасности людей в [8] предложена концепция, которая предусматривает проектирование зданий с повышенной ответственностью на воздействия первых двух сильных повторных толчков в зависимости от времени эвакуации людей. При расчете воздействия первого повторного толчка для формулы 1 нормативного документа [4] предложено принять значение коэффициента $K_1 = 0.5$, а при расчете воздействия двух первых толчков — $K_1 = 0.75$. Так как общая предельно допустимая степень повреждения при всех расчетах не должна превышать 3-й степени по шкале MSK-64, в [8] при расчете зданий и сооружений с повышенной ответственностью на воздействия основного и первого повторного толчков предусмотрено образование следующих степеней повреждений: при воздействии основного толчка повреждение не более 2-й степени ($d \le 2.0$), а при воз-

действии первого повторного толчка не более 1-й степени. При расчетах зданий и сооружений на воздействия основного и двух первых повторных толчков предусмотрено образование следующих степеней повреждений: от воздействия основного толчка повреждение не более 1-й степени $d \le 1,0$, а от воздействия каждого повторного толчка повреждения не более 1-й степени. В обоих расчетах общая степень повреждения получается одинаковой — не более 3-й степени $d \leq 3,0$. С учетом получения в вышеприведенных расчетах зданиями и сооружениями определенной степени повреждения при воздействии основного толчка можно определить приближенное значение предельно допустимой эксплуатационной степени повреждения. При этом используется простая математическая зависимость: значение степени повреждения от воздействия основного толчка должно быть больше предельно допустимой эксплуатационной степени повреждения на значения от 0,5 и до 1,0. Поэтому для зданий и сооружений с повышенной ответственностью с учетом воздействия основного и первого повторного толчков значение эксплуатационной предельно допустимой степени повреждения получается не более $d_{\text{экс.}} \le 1,0$ ($d_{\text{осн}} \le 2,0-1,0=1,0$), а для зданий и сооружений с расчетом на воздействия основного и двух первых повторных толчков — не более $d_{3\text{кс.}} \le 0.5$ ($d_{\text{осн.}} \le 1.0 - 0.5 = 0.5$). Значения этих эксплуатационных степеней повреждения в зданиях и сооружениях с повышенной ответственностью должны обеспечить более высокие значения коэффициента K_1 .

Выводы.

- 1. Одной из причин наличия ветхого и аварийного фонда зданий и сооружений в городах России, что недопустимо в сейсмоопасных районах, является отсутствие в нормативном документе [4] значения предельно допустимой степени их повреждения в процессе эксплуатации.
- 2. Значение предельно допустимой степени повреждения в процессе эксплуатации для зданий и сооружений с повышенной ответственностью с расчетом на воздействия основного и одного повторного толчков должно быть не более $d_{\text{экс}} \leq 1,0$, а с расчетом основного и двух повторных толчков не более $d_{\text{экс}} \leq 0,5$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Айзенберг Я. М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат, 1976.
 - 2. Поляков С. В. Сейсмостойкие конструкции зданий. М., 1983.
- 3. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ.
- 4. СП 14.1330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7—81*— М., 2011.
- 5. *Обозов В. И., Мамаева Г. В.* Анализ динамических характеристик крупнопанельных зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2006. —№ 1. С. 48—55.
- 6. *Ананьин И. В.* Влияние многократности сейсмических воздействий на степень повреждения зданий // Источники и воздействие разрушительных сейсмических колебаний. Вопр. инж. сейсмологии: сб. науч. тр. М., 1990. Вып. 31. С. 142—148.
- 7. *Масляев А. В.* Анализ источника сейсмических воздействий на здания и сооружения Волгограда в 2010 г. // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2011. № 3. С. 25—27.
- 8. *Масляев А. В.* Критерии для определения уровня повышенной ответственности сейсмостойких зданий и сооружений с большим числом людей // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 5. С. 35—38.
- 9. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М. : Высш. шк., 1998. 479 с.

- 1. Ayzenberg Ya. M. Sooruzheniya s vyklyuchayushchimisya svyazyami dlya seysmicheskikh rayonov. M.: Stroyizdat, 1976.
 - 2. Polyakov S. V. Seysmostoykie konstruktsii zdaniy. M., 1983.
- 3. Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy : federal'nyy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 30 dekabrya 2009 g. № 384-FZ.
- 4. SP 14.1330.2011. Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh. Aktualizirovannaya redak-tsiya SNiP II-7-81*— M., 2011.
- 5. *Obozov V. I., Mamaeva G. V.* Analiz dinamicheskikh kharakteristik krupnopanel'nykh zdaniy // Seysmostoykoe. stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy. 2006. № 1. S. 48—55.
- 6. *Anan'in I. V.* Vliyanie mnogokratnosti seysmicheskikh vozdeystviy na stepen' povrezh-deniya zdaniy // Istochniki i vozdeystvie razrushitel'nykh seysmicheskikh kolebaniy. Vopr. inzh. seysmologii: sb. nauch. tr. M., 1990. Vyp. 31. S. 142—148.
- 7. *Maslyaev A. V.* Analiz istochnika seysmicheskikh vozdeystviy na zdaniya i sooruzheniya Volgograda v 2010 g. // Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy. 2011. N_2 3. S. 25—27.
- 8. *Maslyaev A.V.* Kriterii dlya opredeleniya urovnya povyshennoy otvetstvennosti seysmostoykikh zdaniy i sooruzheniy s bol'shim chislom lyudey // Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy 2011. № 5. C. 35—38.
- 9. $Gmurman\ V.\ E.$ Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika. M. : Vyssh. sh., 1998. 479 s.

© Масляев А. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Масляев А. В. Предельно допустимая степень повреждения в зданиях и сооружениях повышенной ответственности в процессе эксплуатации до землетрясения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 80—85.

УДК 624.072

И. Н. Кузнецов

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АВАРИЙНЫХ КИРПИЧНЫХ ЗДАНИЙ

Рассмотрено применение методики определения эффективности мероприятий восстановления и усиления аварийного кирпичного жилого здания. Методика основывается на исследованиях напряженно-деформированного состояния существующих зданий путем анализа их расчетных моделей, выполненных численными методами. Рассмотренная в статье задача актуальна, так как за последние годы произошли существенные изменения в каменном строительстве, вызванные увеличением нагруженности кирпичных элементов и усложнением реконструкции существующих зданий.

Ключевые слова: кирпичное здание, аварийное здание, грунтовое основание, характеристики грунтового основания, конечно-элементная модель здания, расчет конструкций.

Technique application by definition of efficiency of actions for restoration and strengthening of emergency brick residential building is considered. The technique is based on researches of the strain-deformed state of existing buildings by the analysis of their settlement models executed by numerical methods. The problem considered in article is actual because over the last years there were essential changes in the stone building, caused by increase of weighting of brick elements and complication of reconstruction of existing buildings.

Key words: brick building, emergency building, foundation soil, parameters of foundation soil, finite element model of building, structural analysis.

Аварийные деформации кирпичных жилых зданий в большинстве случаев связаны с неравномерным деформированием грунтового основания. Как правило, неравномерные деформации грунтового основания возникают вследствие наличия в основании участков грунта с разными деформационными характеристиками, аварийного замачивания грунтов, неравномерного изменения нагрузок, нового строительства на месте старого [1, 2].

Эти причины приводят к нарушению нормальной эксплуатации зданий. Возникает задача устранения неблагоприятных факторов и их последствий путем решения комплекса задач по усилению надземных конструкций, тела фундамента и грунтового основания.

Актуальным является разработка методики по определению эффективности мероприятий восстановления и усиления, как отдельных конструкций, так и зданий в целом. Это позволит развить область науки по исследованию и прогнозированию напряженно-деформированного состояния (НДС) зданий. Указанная методика должна основываться на исследованиях НДС существующих зданий путем анализа их расчетных моделей, выполненных численными методами. Характеристики элементов расчетных моделей должны определяться по результатам инструментальных обследований.

Помимо определения эффективности отдельных мероприятий восстановления и усиления, указанная методика позволит при появлении существенных дефектов прогнозировать изменение НДС зданий, что необходимо для принятия решений, предупреждающих аварии и обрушения.

В докторской диссертации В. В. Пангаева указывается на то, что за последние годы произошли значительные изменения в каменном строительстве: увеличение этажности новых зданий и усложнение задач реконструкции существующих зданий и сооружений вызывают необходимость повышения качества проектирования, в первую очередь, расчетов прочности каменных конструкций [3].

Научные работы в развитие учения о каменных конструкциях ведутся учеными из ближнего зарубежья, среди которых можно выделить В. Н. Деркач, Р. Б. Орлович, А. Я. Найчук, В. В. Белов и др. Разрабатываются современные способы ремонта и усиления каменных конструкций, ведутся работы по совершенствованию экспертизы и технологии усиления каменных конструкций, проводятся обширные исследования старой и современной каменной кладки в виде композиционного материала, состоящего из кладочных элементов и раствора [4, 5].

В последнее десятилетие зарубежными учеными интенсивно проводятся исследования кладки с использованием математического моделирования, основанного на численных методах расчета. Рассматриваются как плоские, так и объемные задачи [6, 7].

В качестве примера применения методики по определению эффективности мероприятий восстановления и усиления как отдельных конструкций, так и зданий в целом рассмотрим аварийное жилое кирпичное здание высотой 5 этажей, расположенное в Тамбовской области в г. Рассказово на ул. Ленинградская, 2 а (рис. 1).

Высота этажа 2,8 м. Наружные и внутренние стены здания выполнены из керамического кирпича толщиной 51 и 38 см соответственно. Марка кирпича М75 на растворе М50. Перекрытие состоит из сборных железобетонных пустотных плит толщиной 22 см. Фундаменты — сборные из бетонных стеновых блоков и железобетонных фундаментных плит.

В результате протечки подземных коммуникаций у торцевой стены по оси 1 (вблизи дома расположена группа канализационных колодцев) произошло сильное локальное замачивание грунтов под частью стены. Вследствие локального ухудшения прочностных и деформационных характеристик грунтов под стеной по оси 1 в ней появились многочисленные сквозные трещины. Здание было признано аварийным.

В сложившихся условиях требовалось принять решение для стабилизации деформаций.

В рассматриваемом жилом доме было проведено усиление надземной части здания напряженными стальными поясами в соответствии с указаниями [9]. Усиление торцевой стены и примыкающих участков выполнено при помощи горизонтальных металлических тяжей, которые установлены по поверхностям стен в уровне перекрытия (рис. 1). Для прохождения тяжей через стены, в них были просверлены отверстия. Натяжение тяжей производилось одновременно всеми муфтами. Деформации здания стабилизировались.

В подобных ситуациях необходимо рассматривать возможность усиления также и оснований, что является одним из эффективных методов повышения общей надежности системы основание — фундамент — здание.

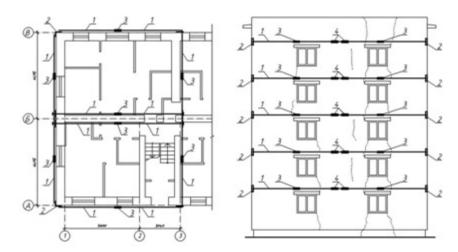


Рис. 1. План части здания и общий вид торцевой стены по оси 1: I — стальные тяжи из арматуры; 2 — стальные равнополочные уголки; 3 — стяжные муфты; 4 — стальные пластины

Для определения эффективности усиления здания стальными поясами и рассмотрения альтернативного варианта восстановления грунтового основания были разработаны следующие численные модели системы грунтовое основание — здание и выполнен их анализ:

- 1 модель пространственная модель из конечных элементов оболочечного типа при наличии трещины в стене по оси 1 на всю высоту;
- 2 модель первая модель с устройством стальных тяжей в плоскости перекрытий на всех этажах;
 - 3 модель первая модель с восстановленным основанием.

Исследование НДС моделей выполнялось моделированием работы здания средствами вычислительного комплекса SCAD Office, основанного на методе конечных элементов.

В среднем модели содержат более 3900 конечных элементов (КЭ), 3600 узлов и 22000 неизвестных, числа в моделях варьируются. В моделях кирпичного здания, в стене по оси 1 выполнено сгущение сетки конечных элементов. Для моделирования были применены трех- и четырехузловые оболочечные конечные элементы произвольного расположения в пространстве со степенями свободы в узлах по всем направлениям X, Y, Z, Ux, Uy, Uz. Упругое основание моделировалось связями конечной жесткости (пружины с жесткостью в вертикальном направлении).

Модуль деформации кирпичных стен принят равным E=0.5E0 в соответствии с п. 3.22 [10], коэффициент Пуассона принят 0,2. Жесткостные характеристики железобетонных перекрытий приняты с учетом приведенной толщины пустотных плит в соответствии с серией 1.141-1.

Для подобных моделей характерно варьирование жесткостных характеристик элементов в зависимости от материалов кирпичной кладки (изменения марок по этажам), наличия армирования и учета ползучести. В приведенном примере жесткостные характеристики элементов условно приняты постоянными по высоте здания.

К схеме были приложены нагрузки от собственного веса конструкций и отделочных материалов, полезные нагрузки на междуэтажных перекрытиях, снеговые нагрузки на покрытие и ветровые воздействия на стены.

После расчета моделей на заданные нагрузки и воздействия были определены напряжения и деформации во всех элементах. Наибольший интерес представляет НДС торцевой стены по оси 1 вследствие локального ухудшения под ней прочностных и деформационных характеристик грунтов.

Для каменных конструкций, находящихся в сложном напряженном состоянии, на практике используется гипотеза (теория прочности) о преимущественном влиянии на прочность одного фактора. Для каменных конструкций это фактор — напряжения вдоль вертикальной оси Z, учитываемые в расчете на прочность.

В моделях в стене по оси 1 были выбраны контрольные точки (рис. 2) для анализа напряжений и деформаций вдоль вертикальной оси Z.

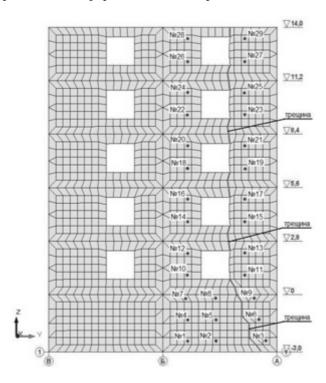


Рис. 2. Схема контрольных точек на стене по оси 1 в расчетных моделях

В табл. 1 и 2 даны величины изменения (Δji) напряжений и деформаций вдоль вертикальной оси Z в разных контрольных точках расчетных моделей со стальными тяжами и восстановленным основанием, которые вычисляются по формулам:

$$\Delta_{\sigma i} = \left[\left(\sigma_{i=1,2} / \sigma_0 \right) - 1 \right] 100 \%,$$

$$\Delta_{\delta i} = \left[\left(\delta_{i=1,2} / \delta_0 \right) - 1 \right] 100 \%,$$

где $\Delta_{\sigma i}$ и $\Delta_{\delta i}$ — величины изменения соответственно напряжений и деформаций, %; σ_0 , σ_1 , σ_2 — напряжения вдоль вертикальной оси Z соответственно в 1-й, 2-й и 3-й расчетных моделях, кг/см²; δ_0 , δ_1 , δ_2 — деформации вдоль вертикальной оси Z соответственно в 1-й, 2-й и 3-й расчетных моделях, мм.

Таблица Hапряжения вдоль вертикальной оси Z в конечных элементах стены по оси I

№ к.т	Мо- дель № 1	Модель № 2		Модель № 3		№	Мо- дель № 1	Модель № 2		Модель № 3	
	σ ₀ , κг/см 2	σ ₁ , κг/см 2	$\Delta_{\sigma 1}$, %	σ ₂ , κг/см 2	$\Delta_{\sigma 2}$, %	к.т	σ_0 , $\kappa\Gamma/cM^2$	σ ₁ , κγ/cm 2	$\Delta_{\sigma 1}, \ \%$	$\Delta_{\sigma 2}$, %	$\Delta_{\sigma 2}, \ \%$
1	-5,06	-5,06	0,0	-4,00	-20,9	16	-3,19	-3,20	0,3	-4,33	35,7
2	-0,02	-0,02	0,0	-3,51	_	17	-2,06	-2,09	1,5	-1,75	-15,0
3	-3,63	-3,64	0,3	-4,03	11,0	18	-2,82	-2,82	0,0	-3,50	24,1
4	-3,98	-3,98	0,0	-4,39	10,3	19	-1,82	-1,85	1,6	-1,57	-13,7
5	-0,65	-0,66	1,5	-3,22	-	20	-2,36	-2,35	-0,4	-2,85	20,8
6	-2,94	-2,98	1,4	-2,98	1,4	21	-1,63	-1,64	0,6	-1,42	-12,9
7	-3,88	-3,90	0,5	-5,74	47,9	22	-1,86	-1,86	0,0	-2,16	16,1
8	-0,52	-0,53	1,9	-2,60	_	23	-1,22	-1,23	0,8	-1,09	-10,7
9	-2,68	-2,74	2,2	-2,49	-7,1	24	-1,36	-1,35	-0,7	-1,55	14,0
10	-3,75	-3,76	0,3	-6,69	-	25	-0,95	-0,95	0,0	-0,86	-9,5
11	-1,99	-2,05	3,0	-1,70	-14,6	26	-0,73	-0,73	0,0	-0,82	12,3
12	-3,64	-3,66	0,5	-6,75	_	27	-0,58	-0,58	0,0	-0,54	-6,9
13	-2,07	-2,12	2,4	-1,75	-15,5	28	-0,03	-0,03	0,0	-0,06	_
14	-3,55	-3,56	0,3	-5,19	46,2	29	-0,24	-0,25	4,2	-0,23	-4,2
15	-2,08	-2,13	2,4	-1,75	-15,9						

Анализ расчетной модели № 2 при устройстве стальных тяжей позволяет сделать следующие выводы:

стальные тяжи включают в работу участки стен на пересечении со стеной по оси A. Это выражается в увеличении сжимающих напряжений вдоль вертикальной оси Z в указанных участках на 0,4...4,2 % (контрольные точки 3, 6, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21);

деформации в нижней части стены незначительно уменьшаются.

При наличии трещин в стене по оси 1 наблюдаются значительные участки растягивающих напряжений в перемычечных зонах, как в вертикальном, так и горизонтальном направлении.

Из анализа расчетной модели со стальными тяжами видно, что тяжи практически не изменяют НДС стены с дефектами и всего здания в целом. Величины изменения НДС стен стальными тяжами могут иметь большие величины при создании значительных усилий предварительного натяжения, но это ограничивается местной прочностью кирпичной кладки в местах установки анкерных элементов. В большинстве случаев кирпичная кладка

усиливаемых зданий не обладает необходимой прочностью для восприятия усилий натяжения, достаточных для изменения НДС стен.

Полученные результаты подтверждают то, что применение стальных тяжей является мерой для предотвращения последующих деформаций зданий, в т. ч. сейсмических. Методика подбора стальных тяжей с учетом сейсмических воздействий приведена в [9].

Анализ расчетной модели № 3 при восстановленном основании позволяет сделать следующие выводы:

поля сжимающих напряжений вдоль вертикальной оси Z приобретают более равномерный вид, отсутствуют концентрации напряжений в простенках и снижены растягивающие напряжения вблизи трещин;

деформации стены вдоль вертикальной оси Z во всех точках уменьшаются от $8,4\,\%$ в нижней части до $33\,\%$ в верхней части.

Таблица 2 Деформации узлов конечных элементов вдоль вертикальной оси Z стены по оси 1

№ к.т.	Модель № 1	Модель № 2		Модель № 3		№ к.т.	Модель № 1	Модель № 2		Модель № 3	
	δ0,	δ1,	Δδ1.	δ2,	Δδ2,		δ0,	δ1,	Δδ,	δ2,	Δδ,
	MM	MM	%	MM	%		MM	MM	%	MM	%
1	-27,4	-27,4	0,0	-21,4	-21,9	16	-30,0	-30,0	0,0	-25,3	-15,7
2	-28,6	-28,4	-0,7	-19,2	-32,9	17	-29,9	-29,9	0,0	-27,4	-8,4
3	-27,9	-27,8	-0,4	-24,9	-10,8	18	-30,5	-30,4	-0,3	-25,9	-15,1
4	-27,8	-27,8	0,0	-21,9	-21,2	19	-30,2	-30,2	0,0	-27,7	-8,3
5	-28,5	-28,4	-0,4	-19,6	-31,2	20	-30,8	-30,8	0,0	-26,2	-14,9
6	-28,4	-28,4	0,0	-25,7	-9,5	21	-30,4	-30,4	0,0	-27,9	-8,2
7	-28,2	-28,2	0,0	-22,6	-19,9	22	-31,1	-31,1	0,0	-26,6	-14,5
8	-28,5	-28,5	0,0	-19,9	-30,2	23	-30,6	-30,6	0,0	-28,0	-8,5
9	-28,8	-28,7	-0,3	-26,1	-9,4	24	-31,3	-31,3	0,0	-26,8	-14,4
10	-28,7	-28,6	-0,3	-23,1	-19,5	25	-30,8	-30,8	0,0	-28,1	-8,8
11	-29,2	-29,1	-0,3	-26,8	-8,2	26	-31,5	-31,5	0,0	-27,0	-14,3
12	-29,1	-29,1	0,0	-23,9	-17,9	27	-30,9	-30,9	0,0	-28,2	-8,7
13	-29,4	-29,3	-0,3	-26,9	-8,5	28	-31,5	-31,5	0,0	-27,1	-14,0
14	-29,6	-29,6	0,0	-24,7	-16,6	29	-30,9	-30,9	0,0	-28,3	-8,4
15	-29,7	-29,7	0,0	-27,2	-8,4						

Результаты анализа НДС расчетных моделей с устройством тяжей и восстановленным основанием указывают на то, что мероприятия по восстановлению грунтового основания эффективно влияют на НДС стены с трещинами, чем устройство стальных тяжей.

Представленная методика основывается на исследованиях НДС существующих зданий путем анализа их расчетных моделей, выполненных численными методами. Характеристики элементов расчетных моделей должны определяться по результатам инструментальных исследований. Методика позволяет при появлении дефектов прогнозировать изменение

НДС аварийных зданий, что необходимо для принятия решений по предотвращению аварий и обрушения.

На основании полученных нами результатов мы сделали вывод, что методика по определению эффективности мероприятий восстановления и усиления конструкций имеет дальнейшие перспективы развития. Современные тенденции вызывают необходимость повышения качества проектирования, в первую очередь, расчетов каменных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Обследование и испытание зданий и сооружений : учеб. пособие для вузов / В. Г. Козачек, Н. В. Нечаев, С. Н. Нотенко и др. ; под общ. ред. В. И. Римшина. М. : Высш. шк., $2004 447 \, \mathrm{c}$
 - 2. Сендеров Б. В. Аварии жилых зданий. М.: Стройиздат, 1991. 216 с.
- 3. *Пангаев В. В.* Развитие расчетно-экспериментальных методов исследования прочности кладки каменных конструкций: автореф. дис... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2009. 35 с.
- 4. Современные способы ремонта и усиления каменных конструкций / Р. Б. Орлович, Д. Мантегацца, А. Я. Найчук, В. Н. Деркач // Архитектура, дизайн и строительство. Санкт-Петербург. 2010. № 1 [44]. С. 86—87.
- 5. *Белов В. В., Деркач В. Н.* Экспертиза и технология усиления каменных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7. С. 14—20.
- 6. Cecchi A., Marco R. Di. Homogenization of masonry walls with a computational oriented procedure. Rigid or elastic block? // Eur. J. Mech. A Solids. 2000. № 19. P. 535—546.
- 7. *Anthoine A.* Homogenization of periodic masonry plane stress, generalized plane strain or 3D modelling? // Comm. Numer Methods Engrg, 1997. 13. P. 319—326.
- 8. Рекомендации по восстановлению и усилению зданий массовой застройки / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. М., 1990. 193 с.
- 9. СНиП II-22—81*. Каменные и армокаменные конструкции / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. М., 1995.
- 1. Obsledovanie i ispytanie zdaniy i sooruzheniy : uchebnoe posobie dlya vuzov / V. G. Kozachek, N. V. Nechaev, S. N. Notenko i dr. ; pod obshch. red. V. I. Rimshina. M. : Vyssh. shk., 2004. 447 s.
 - 2. Senderov B. V. Avarii zhilykh zdaniy. M.: Stroyizdat, 1991. 216 s.
- 3. *Pangaev V. V.* Razvitie raschetno-eksperimental'nykh metodov issledovaniya prochnosti kladki kamennykh konstruktsiy: avtoref. dis... d-ra tekhn. nauk. Novosibirsk, 2009. 35 s.
- 4. Sovremennye sposoby remonta i usileniya kamennykh konstruktsiy / R. B. Orlovich, D. Mantegatstsa, A. Ya. Naychuk, V. N. Derkach // Arkhitektura, dizayn i stroitel'stvo. Sankt-Peterburg. 2010. № 1 [44]. S. 86—87.
- 5. *Belov V. V., Derkach V. N.* Ekspertiza i tekhnologiya usileniya kamennykh konstruktsiy // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2010. № 7. S. 14—20.
- 6. *Cecchi A., Marco R. Di.* Homogenization of masonry walls with a computational oriented procedure. Rigid or elastic block? // Eur. J. Mech. A Solids. 2000. № 19. P. 535—546.
- 7. *Anthoine A.* Homogenization of periodic masonry plane stress, generalized plane strain or 3D model-ling? // Comm. Numer Methods Engrg, 1997. 13. P. 319—326.
- 8. Rekomendatsii po vosstanovleniyu i usileniyu zdaniy massovoy zastroyki / TsNIISK im. V. A. Kucherenko. M., 1990. 193 s.
- 9. SNiP II-22—81*. Kamennye i armokamennye konstruktsii / TsNIISK im. V. A. Kucherenko. M., 1995.

© Кузнецов И. Н., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Кузнецов И. Н. Развитие методов исследования напряженно-деформированного состояния аварийных кирпичных зданий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 86—92.

УДК 699.86:725

А. Н. Жуков, А. Г. Перехоженцев

К ОЦЕНКЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СОВМЕЩЕННОГО ПОКРЫТИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ГОДА

Приведены результаты экспериментального исследования температурного режима эксплуатируемого совмещенного покрытия общественного здания и даны рекомендации по повышению тепловой эффективности конструкции.

Ключевые слова: совмещенное покрытие, температурный режим, теплоустойчивость, перегрев.

The article presents the results of experimental research of the temperature mode of the combined covering of a public building and recommendations for improvement of the thermal efficiency of the construction.

Key words: combined covering, temperature mode, heat stability, overheat.

Задача энергосбережения при эксплуатации зданий требует сокращения расходов на отопление и кондиционирование воздуха. Экономия энергоресурсов должна проводиться только при условии обеспечения требуемых санитарно-гигиенических параметров микроклимата. Одним из вариантов решения данной проблемы является повышение теплозащитных свойств ограждающих конструкций.

Особое внимание следует уделять совмещенным покрытиям отапливаемых зданий. В зимний период 30 % теплопотерь происходит через покрытия, в летний период под действием высоких температур окружающего воздуха и солнечной радиации происходит перегрев конструкций, что приводит к значительному повышению температуры внутри помещения и снижению комфортных условий жизнедеятельности людей.

С целью получения достоверных данных о температурном режиме эксплуатируемого совмещенного покрытия были проведены экспериментальные исследования.

В работе [1] были представлены результаты исследования совмещенного покрытия общественного здания в зимний период года. На основании полученных результатов было выявлено, что конструкция не удовлетворяет требованиям СНиП по тепловой защите, так как сопротивление теплопередаче совмещенного покрытия ниже нормированного значения для Волгограда.

Для определения температурного режима данной конструкции в летний период было проведено следующее натурное исследование.

Метод исследования и результаты. В качестве исследуемой конструкции было выбрано совмещенное покрытие общественного здания [1]. Основными элементами данной конструкции являются многопустотная железобетонная плита покрытия толщиной 220 мм, теплоизоляционный слой из керамзита и гидроизоляционный ковер из битумной мастики на твердых эмульгаторах. Метод исследования заключается в определении температур на внутренней и наружной поверхности совмещенного покрытия, а также внутри помещения верхнего этажа с целью определения соответствия требований действующим строительным нормам и правилам тепловой защиты зданий в летний период.

Исследование проводилось с помощью электронного измерителя ИТП-МГ 4.03-10 «Поток», имеющего 3 датчика для определения теплового потока и 7 датчиков для измерения температуры поверхностей и воздуха окружающей среды. Прибор измерял и записывал показания с интервалом в 30 минут непрерывно в течение 8 суток.

На рис. 1 приведен график распределения температур на внутренней $\tau_{\rm вн}$ и наружной $\tau_{\rm нар}$ поверхности совмещенного покрытия, внутреннего $t_{\rm вн}$ и наружного $t_{\rm нар}$ воздуха окружающих сред.

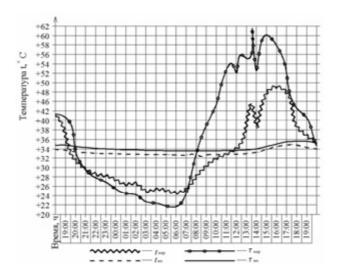


Рис. 1. Температурный режим совмещенного покрытия

На основании результатов измерений:

максимальная температура наружной поверхности покрытия наблюдалась в 13:30 часов дня и составила $\tau_{\text{нар}}^{\text{max}} = 61,4$ °C при температуре наружного воздуха $t_{\text{нар}} = 43,4$ °C;

минимальная температура наружной поверхности покрытия наблюдалась в 6:00 утра и составила $\tau_{\text{нар}}^{\text{max}} = 21,7$ °C при температуре наружного воздуха $t_{\text{нар}} = 24,6$ °C;

температурный перепад наружной поверхности за сутки составил $\Delta \tau_{\text{нар}} = 39.7~^{\circ}\text{C};$

максимальная температура воздуха в помещении составила $t_{\rm BH}=33.9~^{\circ}{\rm C}$, средняя температура $t_{\rm BH}^{\rm cp}=32.9~^{\circ}{\rm C}$;

максимальная температура внутренней поверхности совмещенного покрытия наблюдалась в вечерние часы в период с 18:00 до 19:00 и составила $\tau_{\text{вн}}=34,8\,^{\circ}\text{C}$, средняя температура $\tau_{\text{нар}}^{\text{cp}}=33,8\,^{\circ}\text{C}$.

Согласно ГОСТ 30494—96 [2, п. 3.4, табл. 2] для общественных зданий в теплый период года оптимальная температура воздуха составляет 23 ... 25 °C, допустимая — 18...28 °C. Соответственно, полученная по результатам эксперимента температура воздуха внутри помещения $t_{\rm вн}^{\rm cp}=32.9$ °C не удовлетворяет требованиям ГОСТ, при этом превышение относительно допустимой температуры составляет 4,9 °C, оптимальной — 7,9 °C.

Определим допустимое значение температуры внутренней поверхности совмещенного покрытия $\tau_{_{\rm R}}^{_{_{\rm 201}}}$ по методике, предложенной в работе [3].

Допустимая температура внутренней поверхности конструкции совмещенного покрытия, °С, определяется по формуле:

$$\tau_{_{\rm B}}^{_{\rm \Pi}{\rm o}{\rm i}}=t_{\rm B}^{^{\rm I}{\rm I}}+[2,5-0,1\cdot(t_{\rm H}^{^{\rm I}{\rm I}}-21)]=24+[2,5-0,1(23,6-21)]=26,24,$$

где $t_{\rm B}^{\rm T}$ — расчетная температура внутреннего воздуха в теплый период года, С, принимаемая согласно ГОСТ [2] и равная 24 °C.

Таким образом, сравнивая значения, полученные в результате натурного эксперимента и допустимого, определенного по формуле 1, с значениями температуры внутренней поверхности совмещенного покрытия получим:

 $au_{\rm вH} = 32~{\rm ^{\circ}C} > au_{\rm B}^{\rm доп} = 26{,}24~{\rm ^{\circ}C},$ что соответствует значительному перегреву внутренней поверхности конструкции.

Результаты эксперимента показали необходимость проведения конструктивных мероприятий по обеспечению требуемых параметров теплозащиты совмещенного покрытия.

В качестве дополнительной теплоизоляции совмещенного покрытия в работе [1] был рассмотрен участок кровли с нанесением слоя жидкой керамической теплоизоляции. Сопротивление теплопередаче на данном участке покрытия повысилось в 1,6 раз. Определим влияние данного теплоизоляционного материала на температурный режим рассматриваемой конструкции совмещенного покрытия в теплый период года.

Для этого на участок исследуемого совмещенного покрытия общественного здания было уложено теплоизоляционное покрытие на основе жидкого керамического утеплителя [4] и установлены датчики тепломера, фиксирующего изменение температуры поверхности.

На рис. 2 представлен график распределения температуры наружной поверхности участка с дополнительным теплоизоляционным покрытием $\tau_{\text{тп}}$, непокрытого участка совмещенного покрытия $\tau_{\text{нар}}$ и температуры окружающего воздуха $t_{\text{нар}}$.

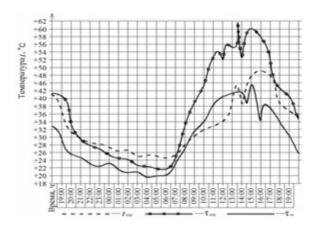


Рис. 2. Температурный режим покрытия с дополнительной теплоизоляцией

Согласно полученным данным:

максимальная температура нагрева наружной поверхности участка с теплоизоляционным покрытием $\tau_{\rm наp}^{\rm max}=43.4$ °C, при температуре наружной поверхности совмещенного покрытия $\tau_{\rm нap}^{\rm max}=61.7$ °C и температуре наружного воздуха $t_{\rm hap}=46$ °C;

температурная разница между участками с дополнительной теплоизоляцией и без составляет $\Delta \tau_{\rm rp} = 18,3~^{\circ}{\rm C};$

минимальное значение температуры наружной поверхности участка с теплоизоляционным покрытием $au_{\text{тп}}^{\text{min}}=19,4\,^{\circ}\text{C}$, при температуре наружной поверхности совмещенного покрытия $au_{\text{нар}}^{\text{max}}=21,6\,^{\circ}\text{C}$ и температуре наружного воздуха $t_{\text{нар}}=23,6\,^{\circ}\text{C}$;

температура на поверхности участка с дополнительным теплоизоляционным покрытием незначительно отличается от температуры наружного воздуха, это свидетельствует об отражающих способностях материала с низким коэффициентом поглощения солнечной радиации, то есть поверхность нагревается, в основном, за счет температуры окружающего воздуха.

На основании результатов, проведенных натурных экспериментов, можно сделать следующие выводы.

- 1. Исследуемое совмещенное покрытие общественного здания с прямым размещением слоев, т. е. все слои последовательно уложены на несущую конструкцию покрытия, по теплотехническим параметрам не удовлетворяет требованиям СНиП [5], подвержено значительному перегреву в теплый период года и требует конструктивных мероприятий по повышению тепловой эффективности.
- 2. Температура внутренней поверхности совмещенного покрытия превышает допустимую на $5.8~^{\circ}$ С.
- 3. Температура внутреннего воздуха в помещении верхних этажей превышает допустимую и оптимальную температуру, регламентируемую ГОСТ [2], тем самым не обеспечиваются санитарно-гигиенические нормы.
- 4. Температурный перепад наружной поверхности совмещенного покрытия за сутки составляет 40 °C, при этом кровельное покрытие испытывает значительные деформации, что необходимо учитывать при выборе материала покрытия.
- 5. При выборе методов повышения тепловой эффективности совмещенных кровельных покрытий необходимо добиться повышения сопротивления теплопередаче и теплоустойчивости конструкции.
- 6. Один из вариантов устранения перегрева совмещенного покрытия использование в качестве верхнего слоя теплоизоляционного покрытия на основе жидкого керамического утеплителя, обладающего низким коэффициентом поглощения солнечной радиации.

В связи широким распространением жилых и общественных зданий с конструкциями совмещенных покрытий повышение тепловой эффективности совместно с энергосбережением ресурсов на отопление и кондиционирование помещений является весьма актуальной задачей, требующей детального изучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Жуков А. Н., Перехоженцев А. Г. Исследование возможности применения жидких керамических теплоизоляций для повышения сопротивления теплопередаче совмещенных кровельных покрытий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2012. Вып. 27(46). С. 5—8.
- 2. ГОСТ 30494—96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М. : ГОССТРОЙ РФ, 1999.
- 3. *Перехоженцев А. Г.* Расчет наружных ограждений зданий на перегрев в теплый период года // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : материалы Международной конф. Волгоград, 2011.
- 4. Теплоизоляционное покрытие : пат. 118654. Росс. Федерация: МПК Е04В 1/76 / А. Н. Жуков, А. Г. Перехоженцев, В. А. Власов. № 2012106531/03 ; заявл. 22.02.12 ; опубл. 27.07.2012. Бюлл. № 21. 3 с.
 - 5. CHиП 23-02—2003. Тепловая защита зданий. M.: ГОССТРОЙ РФ, 2004.
- 1. Zhukov A. N., Perekhozhentsev A. G. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya zhidkikh keramicheskikh teploizolyatsiy dlya povysheniya soprotivleniya teploperedache sovmeshchennykh krovel'nykh pokrytiy // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkhit. 2012. Vyp. 27(46). S. 5—8.
- 2. GOST 30494—96. Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh. M.: GOSSTROY RF,1999.
- 3. *Perekhozhentsev A. G.* Raschet naruzhnykh ograzhdeniy zdaniy na peregrev v teplyy period goda // Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhayushchey sredy : materialy Mezhdunarodnoy konf. Volgograd, 2011.
- 4. Teploizolyatsionnoe pokrytie : pat. 118654 Ross. Federatsiya: MPK E04B 1/76 / A. N. Zhukov, A. G. Perekhozhentsev, V. A. Vlasov. N = 2012106531/03; zayavl. 22.02.12; opubl. 27.07.2012. Byull. N = 21. 3 s.
 - 5. SNiP 23-02—2003. Teplovaya zashchita zdaniy. M.: GOSSTROY RF, 2004.

© Жуков А. Н., Перехоженцев А. Г., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Жуков А. Н., Перехоженцев А. Г. К оценке температурного режима совмещенного покрытия общественного здания в летний период года // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 93—97.

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

УДК 536.24

Ю. В. Видин, Д. И. Иванов

РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧИСЕЛ В ЗАДАЧЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ СТЕНКУ ПРИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВТОРОГО РОДА

С использованием аналитических зависимостей разработан приближенный метод расчета собственных чисел в задаче нестационарной теплопередачи через цилиндрическую стенку при граничных условиях второго рода. Показано, что высокой точности расчета можно достигнуть с помощью доступных математических преобразований, т. е. не прибегая к сложным специальным функциям Бесселя.

Ключевые слова: теплопередача, нестационарный процесс, цилиндрическая стенка, температурное поле, аналитический метод.

With the use of analytical dependence approximate method of eigenvalue analysis in non-stationary heat transfer through cylinder wall under boundary conditions of the second type was developed. It is shown that the high accuracy of calculation can be obtained with the help of available mathematical developments, that is not using complex special Bessel function.

 $K\,e\,y\,\,$ w o r d s : heat transfer, non-stationary process, cylinder wall, temperature field, analytical method.

Аналитический расчет процесса нестационарной теплопередачи через цилиндрическую стенку связан с задачей нахождения собственных чисел на основе сложного характеристического уравнения [1]:

$$\frac{Bi_{1}J_{0}(\mu)+\mu J_{1}(\mu)}{Bi_{1}Y_{0}(\mu)+\mu Y_{1}(\mu)} = \frac{Bi_{2}J_{0}(\psi^{*}\mu)-\mu J_{1}(\psi^{*}\mu)}{Bi_{2}Y_{0}(\psi^{*}\mu)-\mu Y_{1}(\psi^{*}\mu)},$$
(1)

где $Bi_1=\alpha_1R_1/\lambda$, $Bi_2=\alpha_2R_2/\lambda$ — безразмерные числа подобия (числа Био), $\psi=r/R_1$ — безразмерная радиальная координата ($1\leq\psi\leq\psi^*$), $\psi^*==R_2/R_1$.

В связи с большим числом параметров в зависимости (1) составить таблицу корней затруднительно. Поэтому первоначально имеет смысл установить возможные пределы для искомых чисел μ_n . С этой целью рассмотрим частный случай уравнения (1): примем, что $Bi_1 = 0$ и $Bi_2 = 0$, т. е. на внутренней и внешней поверхностях полого цилиндрического тела действуют граничные условия второго рода. Тогда формулу (1) можно записать в виде:

$$\frac{J_1(\mu)}{Y_1(\mu)} = \frac{J_1(\psi^*\mu)}{Y_1(\psi^*\mu)}.$$
 (2)

Если предположить, что искомые корни $\mu_n \ge 3$, то допустимо аппроксимировать функции Бесселя $J_1(\mu)$, $Y_1(\mu)$, $J_1(\psi^*\mu)$ и $Y_1(\psi^*\mu)$ следующими приближениями [2]:

$$J_I(\mu) = \frac{1}{\sqrt{\mu}} f_1 \cos \theta_1, \tag{3}$$

$$Y_1(\mu) = \frac{1}{\sqrt{\mu}} f_1 \sin \theta_1, \tag{4}$$

где θ_1 описывается выражением

$$\theta_1 = \mu - 2,35619449 + 0,12499612 \left(\frac{3}{\mu}\right) + 0,00005650 \left(\frac{3}{\mu}\right)^2 - \\ - 0,00637879 \left(\frac{3}{\mu}\right)^3 + 0,00074348 \left(\frac{3}{\mu}\right)^4 + 0,00079824 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 - \\ - 0,00637879 \left(\frac{3}{\mu}\right)^3 + 0,00074348 \left(\frac{3}{\mu}\right)^4 + 0,00079824 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 - \\ - 0,00637879 \left(\frac{3}{\mu}\right)^3 + 0,00074348 \left(\frac{3}{\mu}\right)^4 + 0,00079824 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 - \\ - 0,00637879 \left(\frac{3}{\mu}\right)^3 + 0,00074348 \left(\frac{3}{\mu}\right)^4 + 0,00079824 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 - \\ - 0,00637879 \left(\frac{3}{\mu}\right)^3 + 0,00074348 \left(\frac{3}{\mu}\right)^4 + 0,00079824 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 - \\ - 0,00637879 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 + 0,00074348 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 + 0,00074348 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 - \\ - 0,000637879 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 + 0,00074348 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 + 0,00074348 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 - 0,00074348 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 + 0,00074348 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 - 0,0007448 \left(\frac{3}{\mu}\right)$$

$$-0,00029166 \left(\frac{3}{\mu}\right)^5 + \varepsilon.$$
 (5)

 $|\varepsilon| < 9 \cdot 10^{-8}$.

$$J_1(\psi^*\mu) = \frac{1}{\sqrt{\psi^*\mu}} f_1^* \cos \theta_1^*. \tag{6}$$

$$Y_1(\psi^*\mu) = \frac{1}{\sqrt{\psi^*\mu}} f_1^* \sin \theta_1^*.$$
 (7)

В зависимостях (6) и (7) величины θ_1^* рассчитываются по формуле, аналогичной (5), в которой необходимо только μ заменить на комплекс $\psi^*\mu$.

С учетом (3), (4), (6) и (7) уравнение (2) запишется в виде

$$\frac{\cos\theta_1}{\sin\theta_1} = \frac{\cos\theta_1^*}{\sin\theta_1^*}.$$
 (8)

Согласно [3] зависимость (8) эквивалентна выражению

$$\sin\left(\theta_1^* - \theta_1\right) = 0. \tag{9}$$

Отсюда следует, что

$$\theta_1^* - \theta_1 = n\pi, \ n = 1, 2, 3, \dots$$
 (10)

Подставив в (10) вместо θ_1^* соотношение (5) и аналогичное для θ_1^* и ограничиваясь в них первыми тремя слагаемыми, составим квадратное уравнение для вычисления μ_n :

$$\mu_n^2 - \frac{n\pi}{\psi^* - 1} \mu_n - \frac{0.375}{\psi} = 0.$$
 (11)

Решая это уравнение, находим

$$\mu_n = \frac{n\pi}{2(\psi^* - 1)} + \sqrt{\frac{n^2\pi^2}{4(\psi^* - 1)^2} + \frac{0,375}{\psi}}.$$
 (12)

В таблице приведены значения первых трех собственных чисел μ_n для $\psi^*=1,1;$ $\psi^*=1,2$ $\psi^*=1,5;$ $\psi^*=2,0,$ рассчитанные по описанной выше методике и приведенные в [2].

 μ_1 μ_2 μ_3 Расчет по Расчет по Расчет по Расчет по Расчет по Расчет по методике формуле методике формуле методике формуле [2] (12)[2] (12)[2] (12) $\psi *=1,1$ 31,42676 31,42677 62,83728 62,83728 94,25140 94,25140 $\psi *=1.2$ 15,72774 15,72783 31,42586 31,42587 47,13052 47,13052 $\psi *=1.5$ 6,32187 6,32273 12,58612 12,58623 18,86278 18,86281 $\psi *=2,0$ 3,19658 3,20018 6.31235 6,31289 9,44446 9,44463

Корни характеристического уравнения μ_n

Из таблицы видно, что расхождение, даже для собственных чисел μ близких к 3, не превышает 0,2 %.

Высокая точность расчета собственных чисел в задаче нестационарной теплопередачи через цилиндрическую стенку при граничных условиях второго рода на внешней и внутренней поверхностях цилиндрического тела может быть достигнута с помощью приближенного решения поставленной задачи. При этом точность расчета повышается с уменьшением толщины стенки рассматриваемого цилиндра (с уменьшением параметра ψ^*) и увеличением порядкового номера корня характеристического уравнения μ_n .

Процесс нахождения собственных чисел упрощается за счет:

- 1) уменьшения числа параметров в уравнении;
- 2) использования вместо сложных Бесселевых функций известного приближения [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М. : Высш. шк., 1967. 600 с.
- 2. Абрамовиц М., Стиган Й. Справочник по специальным функциям М. : Наука, 1979. 832 с.
- 3. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М. : Наука, 1965. 608 с.
 - 1. Lykov A. V. Teoriya teploprovodnosti. M.: Vyssh. shk., 1967. 600 s.
- 2. Abramovits M., Stigan I. Spravochnik po spetsial'nym funktsiyam M.: Nauka, 1979. 832 s.
- 3. Bronshteyn I. N., Semendyaev K. A. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vtuzov. M.: Nauka, 1965. 608 s.

© Видин Ю. В., Иванов Д. И., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Видин Ю. В., Иванов Д. И. Расчет собственных чисел в задаче нестационарной теплопередачи через цилиндрическую стенку при граничных условиях второго рода // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. унта. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 98—101.

УДК 624.072.2:539.214

А. В. Старов

ПЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ КРУГЛЫХ ПЛАСТИНОК С ШАРНИРНЫМ ОПИРАНИЕМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ

Рассмотрена задача пластического деформирования круглых пластин с шарнирнонеподвижным опиранием под действием осесимметричной нагрузки с учетом больших прогибов. Используется модель идеально пластического тела, поверхность текучести для оболочек со сплошным однослойным сечением, кинематические условия совместности. Получено аналитическое решение в параметрическом виде.

Ключевые слова: круглые пластинки, пластическое деформирование, осесимметричные нагрузки, физически и геометрически нелинейные задачи.

The problem of plastic deforming of circular plates with hinger support under the action of axisymmetric loading in view of greater bending flexures is observed. The model of ideally plastic body, surface of flow for shells with continuous single-layer cross-section, the kinematic conditions of jointness is used. The analytical solution in a parametric aspect is gained.

Key words: circular plate, plastic deformation, axisymmetric loadings, physically and geometrically nonlinear problems.

Методика решения квазистатических задач деформирования жесткопластических круглых пластинок с шарнирно-неподвижным опиранием края под действием равномерно распределенной нагрузки [1] обобщается на действие распределенной по любому закону осесимметричной нагрузки. Тезисы статьи были опубликованы в работе [3].

Уравнения равновесия в полярной системе координат записываются в следующем безразмерном виде:

$$n_{2} - \frac{d}{d\rho}(\rho n_{1}) = 0, \quad m_{2} - \frac{d}{d\rho}(\rho m_{1}) - \rho Q = 0,$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho}(\rho Q) - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d}{d\rho}\left(\rho n_{1} \frac{dw}{d\rho}\right) - P = 0,$$
(1)

где $\rho=\overline{\rho}/\rho_0$ — радиус-вектор произвольной точки срединной поверхности; ρ_0 — радиус пластинки; $m_i=\overline{M}_i/\sigma_sh^2$, $n_i=\overline{N}_i/2\sigma_sh$ — изгибающие моменты и мембранные силы; $w=2\overline{w}/h$, $u=4\overline{u}\rho_0/h^2$ — перемещения в нормальном радиальном направлениях; 2h — толщина пластинки; $Q=\overline{Q}\rho_0/\sigma_sh^2$, $P=\overline{P}\rho_0^2/\sigma_sh^2$ — поперечная сила и параметр нагрузки; σ_s — предел текучести материала; i=1,2 — индексы радиального и окружного направлений. Горизонтальная черта указывает на размерность соответствующей величины.

Граничные условия:

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

Будем использовать поверхность текучести для оболочек со сплошным однослойным сечением, построенную на основе условия пластичности Мизеса [2], полагая k = 1:

$$m_1^2 - m_1 m_2 + m_2^2 + n_1^2 - n_1 n_2 + n_2^2 = k^2$$
 (2)

Из уравнений (1) и (2) при стремлении пластинки к безмоментному состоянию следует, что распределение нормальных сил не зависит от радиуса пластинки, то есть $n_1=n_2=n$, что соответствует эллипсу текучести

$$m_1^2 - m_1 m_2 + m_2^2 = k^2 - n^2 = m^2, (3)$$

который может быть линеаризован путем использования кусочно-линейного условия пластичности

$$|m_1 - m_2| \le m, \ |m_i| \le m, \ m = \sqrt{k^2 - n^2}$$
 (4)

Линеаризация дает возможность получить решения задач в замкнутой форме, однако приводит к разделению срединной поверхности на ряд пластических зон, на границах которых должны выполняться кинематические условия совместности для слабых разрывов, подробно описанных в [2]:

$$\left[\frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho}\right] + \dot{\rho}_1 \left[\frac{\partial^2 w}{\partial \rho^2}\right] = 0 \Big|_{\rho = \rho_1}, \quad \left[\ddot{w}\right] + \dot{\rho}_1 \left[\frac{\partial \dot{w}}{\partial \rho}\right] = 0 \Big|_{\rho = \rho_1}, \tag{5}$$

где ρ_1 — радиус границы раздела зон, точка — дифференцирование по неубывающему параметру нагружения, квадратные скобки — разрыв соответствующей величины.

Пусть пластинка загружена произвольной по радиусу осесимметричной нагрузкой, представленной гладкой функцией $P(\rho) = P_0 \cdot \psi(\rho)$, где P_0 — максимальная интенсивность нагрузки. Полагая, что в центральной части пластинки реализуется пластический режим $n_1 = n_2 = n$, $m_1 = m_2 = m$, находим из уравнений равновесия (1) распределение прогибов

$$w = w_0 - \frac{P_0}{n} \cdot \int_0^\rho \frac{1}{\eta} \int_0^\eta \psi(\eta) \eta d\eta d\eta, \quad (0 \le \rho \le \rho_1).$$
 (6)

Полагая, что напряженное состояние в пограничной зоне пластинки соответствует пластическому режиму $n_1 = n_2 = n, \ 0 \le m_1 \le m_2 = m$, и, принимая ассоциированный закон течения, получим распределение прогибов

$$w = \frac{w_1}{1 - \rho_1} (1 - \rho), \ (\rho_1 \le \rho \le 1), \tag{7}$$

где w_1 — характерный прогиб на границе раздела пластических зон.

Определяя разрывы соответствующих величин, согласно (6) и (7), и подставляя в первое условие совместности (5), после преобразований и интегрирования с учетом начального условия для квазистатической задачи $w_1 = 0$ при $\rho_1 = 0$ получаем

$$w_{1} = \frac{P_{0}}{n} \cdot \frac{1 - \rho_{1}}{\rho_{1}} \int_{0}^{\rho_{1}} \psi(\eta) \eta d\eta.$$
 (8)

Из выражений (8) и (6) при $\rho = \rho_1$ следует зависимость

$$w_0 = \frac{P_0}{n} \cdot Z, \ Z = \frac{1 - \rho_1}{\rho_1} \int_0^{\rho_1} \psi(\eta) \eta d\eta + \int_0^{\rho_1} \frac{1}{\eta} \int_0^{\eta} \psi(\eta) \eta d\eta d\eta \ . \tag{9}$$

Второе условие совместности (5) также выполняется.

Распределение поперечных сил и изгибающих моментов можно найти, интегрируя (1) с учетом (7), (8) и граничных условий $m_1 = m_2$, Q = 0 при $\rho = \rho_1$:

$$Q + \frac{1}{\rho_{1}} \int_{0}^{\rho_{1}} P \eta d\eta - \frac{1}{\rho} \int_{0}^{\rho} P \eta d\eta = 0,$$

$$m_{1} = m_{2} + \left(\frac{\rho}{2\rho_{1}} - \frac{\rho_{1}}{2\rho}\right) \int_{0}^{\rho_{1}} P \eta d\eta - \frac{1}{\rho} \int_{\rho_{1}}^{\rho} \int_{0}^{\eta} P \eta d\eta d\eta.$$
(10)

Учитывая граничное условие $m_1 = 0$ при $\rho = 1$, получаем значение нагрузки, как функцию параметра ρ_1 :

$$P_0 Y = m, \ Y = \int_{\rho_1}^{1} \int_{0}^{\eta} \psi(\eta) \eta d\eta d\eta - \frac{1 - \rho_1^2}{2\rho_1} \int_{0}^{\rho_1} \psi(\eta) \eta d\eta. \tag{11}$$

Зависимость $n = n(\rho_1)$ можно получить из условия максимума безусловной функции, образованной из уравнений (9) и (11):

$$\Phi = \left\{ P_0 \cdot Y - m \right\} + \lambda_1 \left\{ \frac{P_0}{n} \cdot Z - w_0 \right\},\tag{12}$$

где λ_1 — неопределенный множитель Лагранжа.

Составив систему уравнений $\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0$, $\frac{\partial \Phi}{\partial \rho_1} = 0$ и исключив λ_1 , получим

искомую функцию мембранного усилия от параметра ρ_1 :

$$\frac{n^2}{m^2} = \frac{1 + \rho_1}{2} \cdot \frac{Z}{Y} \,. \tag{13}$$

Рассмотрим конкретные виды нагрузок.

1. Функция распределения нагрузки $P = P_0 \psi(\rho)$, $\psi(\rho) = \rho^{\alpha} (0 \le \alpha \le \infty)$. В этом случае согласно (9) и (11) получаем следующие значения нагрузки и прогиба в центре пластинки:

$$P_0 \cdot Y = m, \ Y = \frac{2 - (\alpha + 3)\rho_1^{\alpha + 1} + (\alpha + 1)\rho_1^{\alpha + 3}}{2(\alpha + 2)(\alpha + 3)}, \tag{14}$$

$$w_0 = \frac{P_0}{n} \cdot Z, \ Z = \frac{\rho_1^{\alpha + 1} \left[(\alpha + 2) - (\alpha + 1) \rho_1 \right]}{(\alpha + 2)^2}.$$
 (15)

Распределение прогибов по радиусу пластинки согласно (6) и (7), имеет следующий вид:

$$w = w_0 - \frac{P_0 \rho^{\alpha + 2}}{n(\alpha + 2)^2}, \ (0 \le \rho \le \rho_1),$$

$$w = \frac{P_0 \rho_1^{\alpha + 1}}{n(\alpha + 2)} (1 - \rho), \ (\rho_1 \le \rho \le 1).$$
(16)

Распределение поперечных сил и радиальных изгибающих моментов согласно (10):

$$Q = 0, \ m_{1} = m, \ \left(0 \le \rho \le \rho_{1}\right), \ Q = P_{0} \left[\frac{\rho^{\alpha+1} - \rho_{1}^{\alpha+1}}{(\alpha+2)}\right], \ \left(\rho_{1} \le \rho \le 1\right),$$

$$m_{1} = m + \frac{P_{0}}{\rho} \left[\frac{1}{2\rho_{1}} \left(\rho^{2} - \rho_{1}^{2}\right) \frac{\rho_{1}^{\alpha+2}}{\alpha+2} - \frac{\rho^{\alpha+3} - \rho_{1}^{\alpha+3}}{(\alpha+2)(\alpha+3)}\right], \ \left(\rho_{1} \le \rho \le 1\right).$$

$$(17)$$

Проверим выполнение условия пластичности. Согласно (17)

$$\left. \frac{\partial m_1}{\partial \rho} \right|_{\rho = \rho_1} = 0, \left. \frac{\partial^2 m_1}{\partial \rho^2} \right|_{\rho = \rho_1} = -\frac{(\alpha + 1) P_0 \rho_1^{\alpha}}{(\alpha + 2)} < 0.$$

Следовательно, при $\rho = \rho_1$ имеется экстремум (максимум). Условие

$$\frac{\partial m_1}{\partial \rho}\Big|_{\rho=1} = \frac{P_0\Big[(\alpha+3)\rho_1^{\alpha+1}(1+\rho_1^2) - 2\rho_1^{\alpha+3} - 2(\alpha+2)\Big]}{2(\alpha+2)(\alpha+3)} < 0$$

выполняется при любых значениях ρ_1 и α в интервале $0 \le \rho_1 \le 1$, $0 \le \alpha \le \infty$. Следовательно, экстремума в окрестности $\rho \to 1$ нет.

2. Функция распределения нагруки: $P = P_0 \psi(\rho)$, $\psi(\rho) = 1 - \rho^{\alpha} (0 \le \alpha \le \infty)$.

В этом случае зависимости (13), (14), (15) остаются в прежнем виде, но при этом

$$Y = Y(\alpha = 0) - Y(\alpha), Z = Z(\alpha = 0) - Z(\alpha).$$
 (18)

Распределение прогибов по радиусу пластинки имеет следующий вид:

$$w = w_0 - \frac{P_0}{n} \left[\frac{\rho^2}{4} - \frac{\rho^{\alpha+2}}{(\alpha+2)^2} \right], \ (0 \le \rho \le \rho_1),$$

$$w = \frac{P_0}{n} \left[\frac{\rho_1}{2} - \frac{\rho_1^{\alpha+1}}{\alpha+2} \right] (1-\rho), \ (\rho_1 \le \rho \le 1).$$
(19)

Распределение поперечных сил и радиальных изгибающих моментов: $Q = 0, \ m_1 = m, \ (0 \le \rho \le \rho_1), \$ в зоне $\ \rho_1 \le \rho \le 1$

$$Q = P_0 \left[\frac{\rho - \rho_1}{2} - \frac{\rho^{\alpha+1} - \rho_1^{\alpha+1}}{(\alpha + 2)} \right],$$

$$m_1 = m + \frac{P_0}{\rho} \left[\frac{1}{2\rho_1} \left(\rho^2 - \rho_1^2 \right) \left(\frac{\rho_1^2}{2} - \frac{\rho_1^{\alpha+2}}{\alpha + 2} \right) - \frac{1}{6} \left(\rho^3 - \rho_1^3 \right) + \frac{\rho^{\alpha+3} - \rho_1^{\alpha+3}}{(\alpha + 2)(\alpha + 3)} \right].$$
(20)

Проверим выполнение условия пластичности. Согласно (20)

$$\frac{\partial m_1}{\partial \rho}\Big|_{\rho=\rho_1}=0, \frac{\partial^2 m_1}{\partial \rho^2}\Big|_{\rho=\rho_1}=\frac{P_0}{2(\alpha+2)}\Big[2\rho_1^{\alpha}(\alpha+1)-(\alpha+2)\Big]\leq 0.$$

Из этого следует, что при $\rho = \rho_1$ имеется экстремум (максимум), т. е. условие пластичности не нарушается.

В зоне $\rho_1 \le \rho \le 1$ при $\rho \to 1$ имеем

$$X = \left[\frac{1}{12} \left(\rho_1^3 + 3\rho_1 - 4 \right) - \frac{(\alpha + 1)\rho_1^{\alpha + 3} + (\alpha + 3)\rho_1^{\alpha + 1} - 2(\alpha + 2)}{2(\alpha + 2)(\alpha + 3)} \right]. \tag{21}$$

$$\frac{\partial m_1}{\partial \rho} \Big|_{\rho = 1} = P_0 \cdot X, \quad \frac{\partial^2 m_1}{\partial \rho^2} \Big|_{\rho = 1} = P_0 \left[-\frac{1}{3} \left(1 + \frac{\rho_1^3}{2} \right) + \frac{\alpha + 1}{\alpha + 3} \cdot \left(1 + \frac{\rho_1^{\alpha + 3}}{\alpha + 2} \right) \right] > 0.$$

Это ограничение выполняется при любых значениях $\, \rho_1 \,$ и $\, \alpha \,$. Это означает, что в окрестностях $\, \rho \to 1 \,$ имеется экстремум (минимум).

Зависимость между ρ_1 и α , соответствующая нарушению условия пластичности $0 \le m_1 \le m_2$ в окрестности $\rho \to 1$, имеет вид X=0 (21).

Предположим, что с момента $\rho_1=\rho_1^0$, где ρ_1^0 — корень уравнения (21) пластинка находится в трех пластических режимах: $m_1=m_2=m$, $\left(0\leq\rho\leq\rho_1\right)$; $m_1\leq m_2\leq m$, $\left(\rho_1\leq\rho\leq\rho_2\right)$; $m_1=0, m_2=m$, $\left(\rho_2\leq\rho\leq1\right)$; причем $\rho_2=1$ при $\rho_1\leq\rho_1^0$.

Распределение прогибов в центральной зоне пластинки остается в виде (6). В зоне ($\rho_1 \le \rho \le \rho_2$) на основании ассоциированного закона течения распределение прогибов описывается линейной функцией.

В соответствии с (6)

$$\frac{\partial w}{\partial \rho}\Big|_{\rho_1 \le \rho \le \rho_2} = \frac{\partial w}{\partial \rho}\Big|_{\rho = \rho_1} = \frac{\partial w}{\partial \rho}\Big|_{\rho = \rho_2} = -\frac{1}{\rho_1} \int_{0}^{\rho_1} \frac{P}{n} \eta d\eta. \tag{22}$$

Распределение поперечных сил и изгибающих моментов в зоне ($\rho_1 \le \rho \le \rho_2$) остается в виде (17).

Учитывая граничное условие $m_1=0$ при $\rho=\rho_2$ получим значение нагрузки как функцию параметров ρ_1 и ρ_2 :

$$P_0 Y = m, \ Y = \frac{1}{\rho_2} \int_{\rho_1}^{\rho_2} \int_{0}^{\eta} \psi(\eta) \eta d\eta d\eta - \frac{1}{2\rho_1 \rho_2} (\rho_2^2 - \rho_1^2) \int_{0}^{\rho_1} \psi(\eta) \eta d\eta.$$
 (23)

Согласно (20) для нагрузки $P=P_0\left(1-\rho^{\alpha}\right)$ условие $\left.\frac{\partial m_1}{\partial \rho}\right|_{\rho=\rho_2}=0$ дает зависимость между параметрами ρ_1 и ρ_2 :

$$X = \frac{1}{12} \left(\rho_1^3 + 3\rho_1 \rho_2^2 - 4\rho_2^3 \right) - \frac{(\alpha+1)\rho_1^{\alpha+3} + (\alpha+3)\rho_2^2 \rho_1^{\alpha+1} - 2(\alpha+2)\rho_2^{\alpha+3}}{2(\alpha+2)(\alpha+3)} = 0.$$
 (24)

Найдем распределение прогибов в зоне $\rho_2 < \rho < 1$ для режима $m_1 = 0$, $m_2 = m$, Q = 0.

Из уравнений равновесия (1) с учетом (22) и граничного условия $w\big|_{\phi=1}=0$ следует

$$w = ln\rho \left[\int_{0}^{\rho_{2}} \frac{P}{n} \eta d\eta - \frac{\rho_{2}}{\rho_{1}} \int_{0}^{\rho_{1}} \frac{P}{n} \eta d\eta \right] + \int_{\rho}^{1} \frac{1}{\eta} \int_{0}^{\eta} \frac{P}{n} \eta d\eta d\eta.$$
 (25)

Условие $w|_{\rho=\rho_2} = w_2$ позволяет получить зависимость

$$w_{2} = ln\rho_{2} \left[\int_{0}^{\rho_{2}} \frac{P}{n} \eta d\eta - \frac{\rho_{2}}{\rho_{1}} \int_{0}^{\rho_{1}} \frac{P}{n} \eta d\eta \right] + \int_{\rho_{2}}^{1} \frac{1}{\eta} \int_{0}^{\eta} \frac{P}{n} \eta d\eta d\eta.$$
 (26)

В зоне $\rho_1 < \rho < \rho_2$, $m_2 = m$, $0 \le m_1 \le m$ на основании ассоциированного закона течения $\dot{\chi}_1 = 0$, т. е. функция распределения прогибов линейная.

Условие непрерывности прогибов и углов наклона при $\rho = \rho_2$ позволяют получить выражение для прогибов

$$w = w_2 + \frac{\rho_2 - \rho}{\rho_1} \int_0^{\rho_1} \frac{P}{n} \eta d\eta.$$
 (27)

Характерный прогиб w_1 при $\rho = \rho_1$

$$w_1 = w_2 + \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} \int_0^{\rho_1} \frac{P}{n} \eta d\eta .$$
 (28)

Из уравнения (6) при $\rho = \rho_1$ следует

$$w_0 = w_1 + \int_0^{\rho_1} \frac{1}{\eta} \int_0^{\eta} \frac{P}{n} \eta d\eta d\eta.$$
 (29)

Прогиб в центре пластинки в соответствии с (28) и (29)

$$w_0 = w_2 + \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \int_0^{\rho_1} \frac{P}{n} \eta d\eta + \int_0^{\rho_1} \frac{1}{\eta} \int_0^{\eta} \frac{P}{n} \eta d\eta d\eta.$$
 (30)

Зависимость $n = n(\rho_1, \rho_2, \alpha)$ можно получить из условия максимума безусловной функции, образованной из уравнений (23), (24), (26) и (30), из-за громоздкости представим ее в виде

$$\Phi = \left\{ P_0 \cdot Y - m \right\} + \lambda_1 \left\{ \frac{P_0}{n} \cdot Z - w_0 \right\} + \lambda_2 \cdot X, \tag{31}$$

где λ_1 и λ_2 — неопределенные множители Лагранжа,

$$Z = ln\rho_{2} \left[\int_{0}^{\rho_{2}} \psi(\eta) \eta d\eta - \frac{\rho_{2}}{\rho_{1}} \int_{0}^{\rho_{1}} \psi(\eta) \eta d\eta \right] + \int_{\rho_{2}}^{1} \frac{1}{\eta} \int_{0}^{\eta} \psi(\eta) \eta d\eta d\eta + \frac{\rho_{2} - \rho_{1}}{\rho_{1}} \int_{0}^{\rho_{1}} \psi(\eta) \eta d\eta + \int_{0}^{\rho_{1}} \frac{1}{\eta} \int_{0}^{\eta} \psi(\eta) \eta d\eta d\eta.$$
(32)

Выражение для X представлено формулой (24). Составляя систему уравнений $\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0$, $\frac{\partial \Phi}{\partial \rho_1} = 0$, $\frac{\partial \Phi}{\partial \rho_2} = 0$ и исключая λ_1 и λ_2 , получим искомую функцию мембранного усилия $n = n(\rho_1, \rho_2, \alpha)$:

$$\frac{n^2}{m^2} = -\frac{Z}{Y} \cdot \left(\frac{\partial Y}{\partial \rho_1} \cdot \frac{\partial X}{\partial \rho_2} - \frac{\partial Y}{\partial \rho_2} \cdot \frac{\partial X}{\partial \rho_1} \right) \cdot \left(\frac{\partial Z}{\partial \rho_1} \cdot \frac{\partial X}{\partial \rho_2} - \frac{\partial Z}{\partial \rho_2} \cdot \frac{\partial X}{\partial \rho_1} \right)^{-1}.$$
 (33)

Распределение радиальных изгибающих моментов остается в виде (17) с учетом того, что $m_1 = 0$ ($\rho_2 < \rho < 1$).

На рис. 1, 2 представлены графики зависимости нагрузка — прогиб в центре пластинки для нагрузок различного очертания.

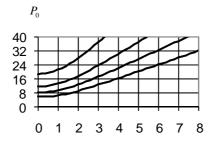


Рис. 1. Графики зависимости нагрузка — прогиб в центре пластинки для нагрузок, $P=P_0\cdot \rho^{\alpha}, \ \alpha=0; 0,5; 1,2$

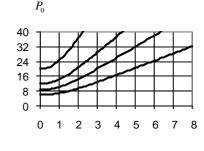


Рис. 2. Графики зависимости нагрузка — прогиб в центре пластинки для нагрузок, $P = P_0(1 - \rho^{\alpha})$, $\alpha = \infty$ 2, 1; 0,5

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. *Ерхов М. И., Кислова Л. В.* Большие прогибы жесткопластических круглых пластинок с шарнирным опиранием края // Исследования по строительной механике и методам расчета. М.: Госстройиздат, 1981. С. 4—11.
- 2. *Ерхов М. И.* Теория идеально-пластических тел и конструкций. М. : Наука, 1978. 352 с.
- 3. *Ерхов М. И., Старов А. В.* Большие прогибы идеально-пластических круглых пластинок при осесимметричной нагрузке // Геометрическое моделирование и начертательная геометрия. Пермь, 1988. С. 71—73.
- 1. *Erkhov M. I., Kislova L. V.* Bol'shie progiby zhestkoplasticheskikh kruglykh plastinok s sharnirnym opiraniem kraya / M. I. Erkhov, L. V. Kislova // Issledovaniya po stroitel'noy mekhanike i metodam rascheta. M.: Gosstroy-izdat, 1981. S. 4—11.
- 2. Erkhov M. I. Teoriya ideal'no-plasticheskikh tel i konstruktsiy. M. : Nauka, 1978. 352 s.
- 3. Erkhov M. I., Starov A. V. Bol'shie progiby ideal'no-plasticheskikh kruglykh plastinok pri osesimmetrichnoy nagruzke // Geometricheskoe modelirovanie i nachertatel'naya geometriya. Perm', 1988. S. 71—73.

© Старов А. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Старов А. В. Пластические деформации круглых пластинок с шарнирным опиранием под действием осесимметричной нагрузки // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 102—109.

УДК 634.074.433:624.21.09

Г. И. Беликов

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПОЛОГИИ ГИПЕРБОЛОИДА ВРАЩЕНИЯ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ

Рассмотрены вопросы оптимального проектирования градирен в форме однополостного гиперболоида вращения при свободных колебаниях. Установлено, что требования к оболочке по частоте свободных колебаний хорошо согласуются с требованиями по условию прочности. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании градирен.

Ключевые слова: градирня, свободные колебания, оптимизация, топология.

The paper deals with the optimal design of cooling towers in the form of a one-sheeted hyperboloid of revolution with free oscillations. It was established that the requirements to the shell for the frequency of free oscillations are in good agreement with the requirements of strength condition. The investigation results can be used for the design of cooling towers.

Key words: cooling tower, free oscillations, optimization, topology.

Исследование оптимальности проводилось для тонкостенных оболочек в форме однополостного гиперболоида вращения. Гиперболические башни часто принимают при строительстве градирен, а также и в качестве резервуаров.

Уравнение меридиана этой поверхности имеет вид:

$$r = \frac{c}{b}\sqrt{b^2 + z^2}$$

где с и b — параметры гиперболы.

На рис. 1 приведена геометрия гиперболоида вращения.

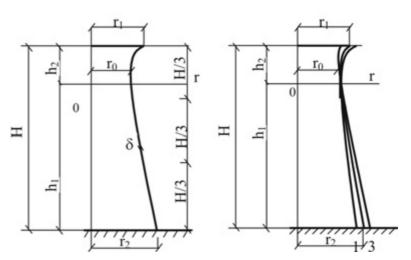


Рис. 1. Геометрия гиперболоида вращения

Исходя из условия прочности [1] установлены оптимальные геометрические параметры тонкостенной оболочки в форме однополостного гиперболоида вращения, при которых обеспечивается высокая экономичность по материалу при условии сохранения прочности оболочки.

Эти параметры определяются следующими соотношениями.

$$H/2r_1 = 0.6...0.8$$
; $r_2/r_1 = 0.6...0.8$; $r_0/r_1 = 0.5...0.6$; $r_2/r_0 \approx 1.2$.

Упругие свойства материала оболочки определяются модулем Юнга E и коэффициентом Пуассона ν .

Определим оптимальную топологию тонкостенной оболочки в форме однополостного гиперболоида вращения при свободных колебаниях, и как она согласуются с требованиями по условию прочности Hampe E.

При этих параметрах низшая частота свободных колебаний будет максимальной, что соответствует наиболее жесткой конструкции.

Рабочий объем оболочки V будет неизменным. Собственный вес оболочки в расчетах учитывается.

На базе рекомендаций Натре E нами установлены некоторые зависимости геометрических параметров для оболочки с уравнением меридиана [2]:

$$r = \frac{c}{b}\sqrt{b^2 + z^2} \ .$$

При $r_0 = 0.5r_1$ получаем

$$r_1 = (1,025...1,156)h_1$$
, при $r_0 = 0,6r_1-r_1=(0,869...0,997)h_1$,

При $h_1 = 64$ м получаем уравнение меридиана в границах, м:

$$r = (34...37)\sqrt{1+z^2/(1360...2300)}$$
.

В дальнейшем изучались свободные колебания оболочки с уравнением меридиана $r=(35\dots37)\sqrt{1+z^2/1412}$, м.

Граничные условия: верхний край свободен, а нижний жестко закреплен.

Для гармоник m=0—6 определен спектр частот. Низшая частота свободных колебаний соответствует гармонике m=4.

Влияние геометрических параметров и крутизны меридиана на величину частоты ω_4 изучалось для трех градирен со стенкой постоянной толщины 0,14 м.

$$r = 35\sqrt{1+z^2/1412}$$
, m; $r = 35\sqrt{1+z^2/1300}$, m; $r = 35\sqrt{1+z^2/1222}$, m.

Безразмерные константы материала оболочки принимались следующими: E=1000 и $\nu=0.18$.

Задача на собственные значения решалась численно. Колебания градирни считались гармоническими.

При рассмотрении гармонических свободных колебаний все компоненты напряженного состояния будут являться функциями времени и иметь вид для m-й гармоники:

$$u = u_{\min m\theta \cos \omega t}^{\cos m\theta \cdot \cos \omega t} [w, \theta_1, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \beta_1, \chi_1, \chi_2, N_1, N_2, Q_1, M_1, M_2],$$

$$u = u_{m\cos m\theta\cos mt}^{\sin m\theta\cdot\cos mt}[\theta_2, \omega, \beta_2, \tau, S, Q_2, H_1, H_2].$$

Примем первый случай, когда форме деформации соответствует m волн по параллели срединной поверхности:

$$u(z,\theta) = u(z)\cos m\theta\cos\omega t[w,\theta_1,\varepsilon_1,\varepsilon_2,\beta_1,\chi_1,\chi_2,N_1,N_2,Q_1,M_1,M_2],$$

$$v(z,\theta) = v(z)\sin m\theta\cos\omega t(\theta_2,\beta_2,\tau,S,Q_2,H_1,H_2),$$

где в квадратных скобках показаны функции, которые преобразуются аналогично.

Рассмотрим случай несимметричных колебаний ($m \neq 0$). Уравнения равновесия, геометрические уравнения и уравнения упругости представляются системой обыкновенных дифференциальных уравнений.

Эта система преобразуется так, что для ограниченного неизвестных получаем однородную систему обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка.

Для каждой гармоники получены независимые соотношения в виде однородных систем дифференциальных уравнений в нормальной форме, удобной для численного решения краевых задач свободных колебаний.

После разделения переменных получена разрешающая однородная система обыкновенных дифференциальных уравнений восьмого порядка в нормальной форме:

$$y'(z) = A(z)y(z),$$

где
$$y(z)=\{y_1=u, y_2=v, y_3=w, y_4=\gamma_1, y_5=N_1, y_6=S, y_7=M_1, y_8=\overline{Q}_1\}.$$

Задачи на собственные значения для систем однородных уравнений при соответствующих однородных краевых условиях решались в безразмерных параметрах. Переход к безразмерным параметрам низших частот осуществлялся по формуле:

$$\omega^{*2} = \nu R^2 \omega^2 / E.$$

Алгоритм определения частот и форм свободных колебаний состоит из лвух частей:

- 1) для заданного числа волн m в окружном направлении ищем наименьшее собственное значение ω^* с определенной точностью в диапазоне $\omega_1 \leq \omega^* \leq \omega_2$;
 - 2) определяем формы колебаний для найденного значения $\omega = \omega^*$.

Задача определения частот и форм колебаний оболочных конструкций сводится к решению однородной краевой задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с однородными граничными условиями.

При интегрировании систем линейных дифференциальных уравнений задача сводится к задачам Коши, которые решаются методом Рунге — Кутта с дискретной ортогонализацией по С. К. Годунову [3].

Общее решение представляем в виде
$$y(\omega, z) = \sum_{j=1}^{k} \alpha_j y_j(\omega, z)$$
,

где y — совокупность линейно независимых решений системы дифференциальных уравнений, удовлетворяющих граничным условиям; k — количество залач Коши.

Процесс решения строится следующим образом:

- 1) задают число волн m в окружном направлении;
- 2) принимают диапазон частот [ω_1 , ω_2];
- 3) задают величину параметра частоты собственных колебаний ω ;
- 4) по исходной информации о геометрических и физических параметрах оболочки формируют матрицу системы уравнений;
- 5) в качестве системы начальных векторов, удовлетворяющих граничным условиям в точке $z=z_0$, формируют начальную матрицу фундаментальных решений;
- 6) задают шаги интегрирования, точки ортогонализации и выдачи результатов на интервале $[z_0, z_1]$;
- 7) методом Рунге Кутта решают задачи Коши с ортонормированием векторов решений в промежуточных точках. Вычисляют промежуточную информацию в точках выдачи результатов;
- 8) в конечной точке интегрирования $z = z_1$ с использованием граничных условий получают систему алгебраических уравнений и определяют значение определителя системы. Для нетривиального решения краевой задачи необходимо, чтобы определитель алгебраической системы был равен нулю;
- 9) процесс численного решения повторяется на каждом шаге по ω до смены знака определителя;
- 10) методом деления пополам величин приращения частот находят первое значение частоты с заданной точностью;
- 11) в конечной точке интегрирования определяют постоянные интегрирования;
- 12) с точностью до одной из произвольных постоянных в процессе обратной прогонки определяют компоненты искомого вектора;
- 13) повторяя численное решение, определяют весь спектр частот в исследуемом интервале и соответствующие им формы свободных колебаний.

Для всего диапазона изменения $r_2 / r_1 = 0.6 - 0.8$ получены близкие по показателям отношения V_i / V^* трех групп сооружений, м³:

$$V_1 = 593150,$$

 $V_2 = 633670,$
 $V_3 = 743640 (V_i/V^* = 135...145).$

Численным расчетом установлено, что с ростом высоты градирни за счет надгорловинной части для всех трех оболочек частота уменьшается (рис. 2).

При отношении $r_2/r_0>1,25$ параметр крутизны меридиана не приводит к существенному изменению частоты, а при $r_2/r_0=1,18...1,25$ чувствительность частоты к крутизне меридиана начинает проявляться.

Низшая частота в этом диапазоне частот соответствует оболочке с более крутым меридианом.

С точки зрения колебаний сооружения являются рациональными с параметрами $h_2/h_1 = 0.35$ и $r_2/r_0 = 1.17$. Анализ полученных результатов показал, что требования к геометрии оптимальных градирен по частоте свободных колебаний вполне согласуются с требованиями по условию прочности.

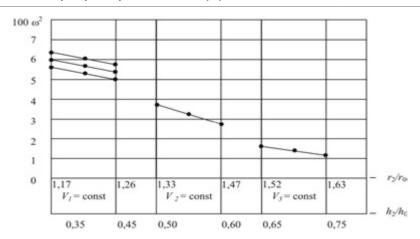


Рис. 2. Изменение собственных частот при изменении параметра $h_2\left(r_2\right)$

Уравнение меридиана: $r=35\sqrt{1+z^2/1412}$, м, при $h_2=63,71$ м и $h_2=25,48$ м, т. е. $h_2/h_1\approx 0,62$ и $r_2/r_1=0,6$.

Полученные результаты могут быть использованы при расчете гиперболоидов вращения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. *Hampe E., Greiner-Mai D.* Senkung des Materialeinsatzes und Verbesserung der Trag qualitat von hyperbollidchen Grosskuhlturmen // Bauplan-Bautech. 1975. № 7. S. 328—337.
- 2. *Беликов Г. И.* Статика, динамика и устойчивость сетчатых и подкрепленных оболочек с учетом поперечного сдвига. Волгоград : ВолгГАСА, 2003. 298 с.
- 3. Годунов С. К. О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений // Успехи мат. наук. 1961. Т. 16. Вып. 3. С. 171—174.
- 1. *Hampe E., Greiner-Mai D.* Senkung des Materialeinsatzes und Verbesserung der Trag qualitat von hyperbollidchen Grosskuhlturmen // Bauplan-Bautech. 1975. № 7. S. 328—337.
- 2. *Belikov G. I.* Statika, dinamika i ustoychivosť setchatykh i podkreplennykh obolochek s uchetom poperechnogo sdviga. Volgograd: VolgGASA, 2003. 298 s.
- 3. Godunov S. K. O chislennom reshenii kraevykh zadach dlya sistem lineynykh obyknovennykh differentsial'nykh uravneniy // Uspekhi mat. nauk. 1961. T.16. Vyp. 3. C. 171—174.

© Беликов Г. И., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Беликов Г. И. Оптимизация топологии гиперболоида вращения по условиям прочности и жесткости // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 110—114.

УДК 624.014

А. В. Чесноков

ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ФРАГМЕНТОВ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Исследуются пневматические оболочки, состоящие из отдельных фрагментов (пневмоэлементов). Рассматриваются вопросы равновесия пневмоэлементов в составе оболочки в целом. Предлагаются функциональные зависимости распоров, передаваемых фрагментами пневматических оболочек на соседние элементы и конструкции. Приводятся рекомендации по взаимному расположению отдельных фрагментов в пневматической оболочке.

Ключевые слова: воздухонаполненные оболочки, пневмоэлементы, функциональные зависимости распоров, равновесие.

Pneumatic envelopes, which consist of separate fragments (pneumatic elements), are researched. The issues of equilibrium these elements in the whole envelope are discussed. The functional dependences of support reactions given by the fragments of pneumatic envelopes to near elements and constructions are presented. The recommendations on the mutual disposition of separate fragments in the whole envelope are outlined.

 $K\ e\ y\ w\ o\ r\ d\ s$: air-inflated envelopes, pneumatic elements, functional dependences of support reactions, equilibrium.

Воздухонаполненные пневматические оболочки, состоящие из тентовых или пленочных материалов, имеют ряд преимуществ. Среди них, в первую очередь, можно отметить светопроницаемость, а также улучшенные тепло- и звукоизолирующие характеристики. Это ведет к сокращению расходов электроэнергии, к возможности применения внутренней подсветки, улучшающей архитектурную выразительность сооружения в темное время суток и позволяет использовать пневматические оболочки в зданиях и сооружениях, эксплуатирующихся продолжительное время, в том числе в осенне-зимний период [1]. Таким образом, область применения пневматических оболочек значительно шире, по сравнению с однослойными тентовыми конструкциями, используемыми для перекрытия временных зданий, а также неотапливаемых сооружений.

Цельные пневматические оболочки, не разделенные на отдельные модули или отсеки, имеют незначительные пролеты, так как увеличение их размеров ведет либо к росту высоты (стрелки) оболочки, либо к повышению напряжений и к увеличению распоров [1].

Большинство применяемых пневмооболочек состоит из отдельных фрагментов. Непосредственное соединение этих фрагментов между собой [2, 3] имеет преимущества перед опиранием пневмоэлементов на дополнительные конструкции, такие как балки, структурные системы или тросовые сети. Основные преимущества — это упрощение узловых соединений и сокращение расхода материалов на опорные конструкции.

Фрагменты пневматической оболочки, соединяемые в цельное покрытие, можно разделить на две группы: основные и доборные (рис. 1). Необходимость применения доборных элементов обусловливается сложными криволинейными гранями тентовых покрытий. Таким образом, в пневматических оболочках присутствуют элементы различной формы и размеров, которые должны находиться в равновесии между собой.

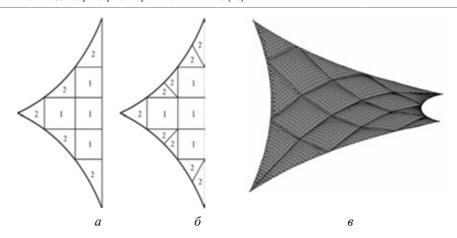


Рис. 1. Пневматическая оболочка, состоящая из отдельных фрагментов (пневмоэлементов): a, δ — вид сверху, различные варианты разрезки; ϵ – аксонометрия; ℓ 1, 2 — основные и доборные пневмоэлементы соответственно

Отдельные пневмоэлементы, подобно традиционным тентовым системам, могут изготавливаться из множества полос пленочного материала [4], соединяемых между собой по т. н. геодезическим линиям. Однако, учитывая относительно небольшие размеры пневмоэлементов и для сокращения количества швов в оболочке, пневмоэлементы следует составлять из нескольких цилиндрических поверхностей [1] (рис. 2) одинаковых радиусов R, которые строятся на каждой опорной грани. Цилиндрическая поверхность, имея нулевую кривизну в продольном направлении, может быть получена путем обертывания плоского листа тента по дуге окружности, лежащей в плоскости, перпендикулярной грани пневмоэлемента.

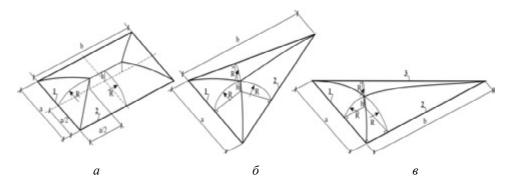


Рис. 2. Пневмоэлементы, полученные пересечением цилиндрических поверхностей: a, δ , ε – различные формы плана пневмоэлементов — прямоугольник (фигура I), равнобедренный треугольник (фигура II), прямоугольный треугольник (фигура III) соответственно; показана нумерация граней пневмоэлементов

Основными параметрами фрагментов пневматической оболочки являются следующие (рис. 2): ширина a, отношение длины к ширине $k_B=b/a$, отношение ширины a к высоте h пневмоэлемента в недеформированном состоянии — $L_f=a/h$, внутреннее избыточное давление — P.

Для четырехугольных пневмоэлементов (форма I) и пневмоэлементов в виде прямоугольных треугольников (форма III) размер a — наименьший, а соотношение k_B принято в диапазоне от 1 до 3. Для пневмоэлементов в виде равнобедренных треугольников (форма II), грань a является основанием, при этом соотношение k_B принято в диапазоне от 0,289 до 1,866, что соответствует диапазону углов между гранями 2 30°...120° (рис. 2, δ).

Вершина прямоугольного пневмоэлемента располагается на его средней линии, параллельной грани 2, на расстоянии а/2 от каждой грани 1 (рис. 2). У треугольных пневмоэлементов вершина проецируется в центр вписанной окружности.

Отношение L_f принято для пневмоэлементов в форме I и III, а также элементов в форме II при $k_B \ge 0.5$, имеющих углы менее 90° , в диапазоне от 10 до 20. Для пневмоэлементов в форме II, при $k_B < 0.5$, отношение L_f принято в диапазоне от 20 до 30.

Жесткости тентового материала в направлении т. н. «основы» и «утка» приняты следующими: 1200 и 800 кН/м соответственно. Направление «основы», в котором тент имеет большие прочностные и жесткостные характеристики, чем в направлении «утка», принято по нормали к соответствующей грани фрагмента пневматической оболочки, т. к. напряжения в этом направлении (σ_1) больше, чем вдоль грани (σ_2) : в недеформированном состоянии $\sigma_1 = 2\sigma_2 = PR$ [3].

Исследования показали, что распоры, действующие по граням пневмоэлементов, распределяются не равномерно и не линейно, в отличие от теоретических распоров, полученных в предположении недеформируемости оболочки. Типичные графики (эпюры) распоров, действующих по граням пневмоэлементов от внутреннего избыточного давления, приведены на рис. 3.

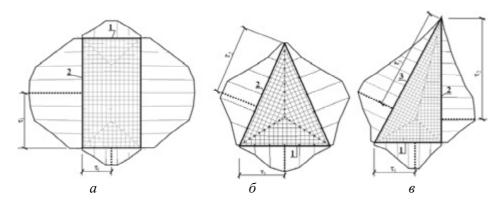


Рис. 3. Графики распоров, действующих по граням пневмоэлементов, подверженных действию внутреннего избыточного давления: τ — относительные координаты максимумов на графиках, остальные обозначения — по рис. 2

Из рис. З видно, что графики распоров, действующих по граням четырехугольных пневмоэлементов могут быть описаны квадратными параболами, симметричными относительно центров соответствующих граней. Для треугольных пневмоэлементов графики распоров имеют более сложную форму, однако могут быть представлены квадратными параболами, вершины которых лежат на нормали к соответствующей грани, проходящей через центр вписанной в данный треугольник окружности.

Для соблюдения равновесия на границе контакта двух фрагментов пневматической оболочки 1 и 2 необходимо, чтобы распоры H в каждой точке, передаваемые данными пневмоэлементами, были бы одинаковыми:

$$H_1(x_i) = H_2(x_i)$$
, (1)

где x_i — координата данной точки вдоль соответствующей границы.

Выполнение условия (1) возможно в следующих случаях: объединяемые пневмоэлементы одинаковы (например: квадратные элементы или прямоугольные с одинаковым соотношением сторон); равновесие достигается деформацией стыкуемых пневмоэлементов. В результате распоры H 1 и H 2 выравниваются, а общая грань пневмоэлементов искривляется.

Очевидно, что в пневматической оболочке на сложном контуре, состоящей из фрагментов различной формы и размеров (рис. 1), равновесное состояние соседних пневмоэлементов может быть достигнуто только вторым способом. Таким образом, для минимизации искривления объединяемых пневмоэлементов необходимо, чтобы эпюры распоров, действующих на стыкуемых гранях пневмоэлементов, как можно более точно соответствовали бы друг другу. Имеет место задача поиска минимума следующей целевой функции:

$$\Psi = \frac{\sum_{i} |H_1(x_i) - H_2(x_i)|}{0.5 \sum_{i} (H_1(x_i) + H_2(x_i))} 100 \%.$$
 (2)

Функцию распора, действующего вдоль грани пневмоэлемента, можно представить в виде:

$$H(x) = H(x)_0 f_P f_A$$
, (3)

где x — относительная координата вдоль соответствующей грани пневмоэлемента, x = X/L (X — расстояние от точки, где вычисляется распор до начала грани, L — длина грани); $H(x)_0$ — функция распора, полученная для пневмоэлемента с шириной a_0 =2 м, подверженного действию внутреннего давления P_0 =10 кПа; f_P и f_A — переходные функции, учитывающие заданное давление P и ширину a пневмоэлемента.

Функция $H(x)_0$ представлена в виде:

$$H(x)_0 = \alpha(x - \tau)^2 + \beta, \qquad (4)$$

где α , β — функции, зависящие от L_f и k_B , а τ — относительная координата центра параболы, описывающей распоры (рис. 3).

Для четырехугольных пневмоэлементов и для оснований пневмоэлементов в виде равнобедренных треугольников $\tau_1 = 0.5$. Для граней 2 (рис. 3) равнобедренных треугольников:

$$\tau_2 = 1 - \frac{1}{\sqrt{4 \cdot k_B^2 + 1}} \,. \tag{5}$$

Для граней прямоугольных треугольников (рис. 3):

$$\tau_{1} = \frac{1 - k_{B} + \sqrt{1 + k_{B}^{2}}}{2}, \quad \tau_{2} = \frac{k_{B} - 1 + \sqrt{1 + k_{B}^{2}}}{2 \cdot k_{B}}, \quad \tau_{3} = \frac{k_{B} - 1 + \sqrt{1 + k_{B}^{2}}}{2 \cdot \sqrt{1 + k_{B}^{2}}}. \quad (6)$$

Функции α, β представлены в виде:

$$\alpha (L_f, k_B) = \vec{C}_\alpha \cdot \vec{V}$$
 (7)

$$\beta (L_f, k_B) = \vec{C}_B \cdot \vec{V}, \qquad (8)$$

где векторы \vec{V} , \vec{C}_{α} и \vec{C}_{β} приведены в табл. 1.

Таблица 1 Векторы \vec{V} , \vec{C}_{α} и \vec{C}_{β}

			Форма	ппормо	энамант	(puo 2)	`		
$ec{V}$	— Форма I II ¹⁾		пневмоэлемента (рис. 2)) III				
V	Грань								
	1	2	1	2	1	2	1	2	3
$L_f \cdot k_B$	0,371	<u>0,378</u>	<u>-0,175</u>	<u>-0,105</u>	<u>-7,366</u>	<u>-1,163</u>	_0,185	0,044	0,559
\mathbf{L}_f κ_B	-0,165	0,050	0,131	0,177	1,538	0,669	0,010	0,075	0,039
k_B^2	<u>6,670</u>	11,924	13,126	28,261	<u>160,91</u>	<u>73,772</u>	<u>2,554</u>	<u>1,298</u>	<u>=</u> 3,150
κ_B	1,634	-3,562	-3,252	-3,440	-44,64	-52,63	-1,030	-0,892	- 0,460
k_B	<u>30,639</u>	<u>-41,64</u>	<u>-46,06</u>	<u>-73,34</u>	0,031	<u>-57,45</u>	<u>-17,18</u>	<u>-7,879</u>	<u>9,953</u>
<i>KB</i>	-7,569	16,340	10,789	10,619	10,787	36,740	5,974	5,139	3,414
	<u>51,39</u>	<u>4,970</u>	<u>38,561</u>	<u>45,149</u>	<u>79,394</u>	<u>34,538</u>	<u>25,779</u>	14,353	0,534
1	10,691	-13,57	-9,447	-9,013	-16,12	-16,02	-9,921	-9,309	- 7,790
L_f	<u>-2,121</u>	<u>-2,702</u>	<u>-3,549</u>	<u>-2,448</u>	<u>-6,257</u>	<u>-1,829</u>	<u>-2,707</u>	<u>-2,430</u>	<u>=</u> 4,347
J	1,132	1,817	0,811	0,725	1,074	0,716	1,252	1,215	1,280
_ 2	0,043	<u>0,046</u>	<u>0,073</u>	0,049	0,164	0,041	0,071	0,054	0,074
${L_f}^2$	0,020	0,046	0,017	0,016	0,029	0,017	0,029	0,030	0,030

Примечания: 1) пневмоэлемент с $k_{\scriptscriptstyle B} \ge 0,5;$ 2) пневмоэлемент с $k_{\scriptscriptstyle B} < 0,5;$ 3) над чертой приведены компоненты $\vec{C}_{\scriptscriptstyle \alpha}$, под чертой — $\vec{C}_{\scriptscriptstyle \beta}$.

Исследования показали, что переходные функции f_P и f_A близки к линейным относительно параметров k_P и k_A соответственно, и могут быть представлены в виде:

$$f_p = \alpha_p(k_p - 1) + 1,$$
 (9)

$$f_{A} = \alpha_{a}(k_{A} - 1) + 1, \tag{10}$$

где k_P и k_A учитывают заданное давление P внутри оболочки и ее ширину a:

$$k_P = P/P_0, (11)$$

$$k_A = a/a_0. (12)$$

Функции α_p и α_a представлены в виде:

$$\alpha_P(L_f, k_B) = \vec{C}_{\alpha p} \vec{W} \,, \tag{13}$$

$$\alpha_a(L_f, k_B) = \vec{C}_{\alpha a} \vec{W} , \qquad (14)$$

где векторы \vec{W} , \vec{C}_{ap} и \vec{C}_{aa} приведены в табл. 2.

 $\label{eq: Taблицa 2} \textit{Векторы \vec{W}} \text{ , $\vec{C}_{\alpha p}$ } \textit{u}$ $\vec{C}_{\alpha a}$$

	Форма пневмоэлемента (рис. 2)						
$ec{W}$	I		II		III		
**				Грань			
	1	2	1	2	1	2	3
7	-0,005	<u>-0,008</u>	<u>-0,003</u>	<u>-0,003</u>	<u>-0,009</u>	<u>-0,008</u>	<u>-0,008</u>
L_f	-0,007	-0,013	-0,033	-0,029	-0,030	-0,029	-0,028
	<u>-0,040</u>	<u>-0,005</u>	<u>-0,032</u>	<u>-0,026</u>	-0,040	-0,016	-0,018
k_B	-0,039	-0,030	-0,175	-0,365	-0,096	-0,072	-0,073
	<u>1,034</u>	1,035	1,049	1,045	1,106	1,068	1,071
1	0,882	0,963	1,741	1,864	1,611	1,567	1,531

Примечание: над чертой приведены компоненты \vec{C}_{ap} , под чертой — \vec{C}_{aa} .

Данные табл. 1 и 2 получены методом наименьших квадратов путем обработки результатов серии расчетов фрагментов пневматической оболочки, подверженных действию внутреннего избыточного давления. Анализ работы пневмоэлементов производился в лицензированном программном комплексе EASY 8,3, который реализует т. н. «метод плотности сил» [5].

Из формулы (2) получены относительные расхождения распоров, характерные для различных вариантов соединения фрагментов пневматической оболочки между собой (рис. 4, 5). При стыковке четырехугольных пневмо-элементов расхождение распоров не превышает 15 %.

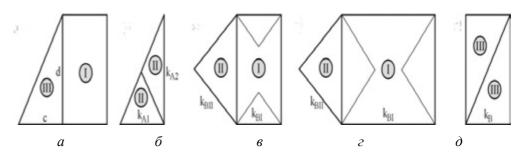


Рис. 4. Варианты соединения пневмоэлементов (вид сверху): I...III — обозначения фигур по рис. 2

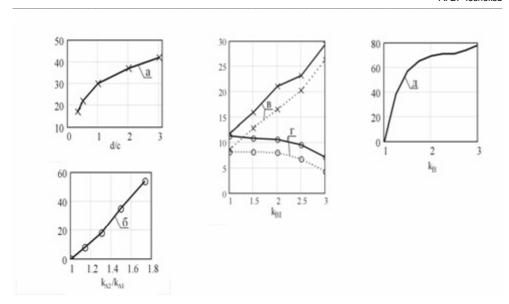


Рис. 5. Расхождения распоров, %, полученные по формуле (2): $a...\partial$ — варианты соединения пневмоэлементов по рис. 4; для вариантов e и e приведены наибольшие и наименьшие значения, полученные при изменении e

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

- 1. Распоры, действующие по граням фрагментов пневматических оболочек, распределяются не равномерно и не линейно. Они зависят от формы и соотношения размеров пневмоэлементов в плане, высоты и внутреннего давления.
- 2. Для обеспечения равновесия тентового покрытия и сохранения формы составляющих его пневмоэлементов, необходимо минимизировать расхождения распоров, действующих вдоль стыкуемых граней.
- 3. Наименьшие расхождения распоров имеют место при стыковке пневмоэлементов I и I, а также при стыковке основания элемента II с меньшей гранью элемента I (рис. 4, z; обозначения по рис. 2).
- 4. При стыковке элемента III с элементом I (рис. 4, a), величина расхождения распоров не зависит от ориентации элемента I.
- 5. Замена элемента III, стыкуемого с элементом I (рис. 4, a), на два элемента II (рис. 4, δ) целесообразна при соотношении сторон элемента III в диапазоне d/c=1,0...1,3.
- 6. Стыковка элемента II с большей гранью элемента I (рис. 4, θ), либо двух элементов III (рис. 4, θ) нецелесообразна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Пневматические конструкции воздухоопорного типа / В. В. Ермолов, А. С. Воблый, А. И. Маньшавин, М. И. Петровнин, Ю. И. Хрущев / под ред. В. В. Ермолова. М. : Стройиздат, 1973. 288 с.
- 2. *Tarczewski R*. Post-rensioned modular inflated structures // Textile composites and inflatable structures. Netherlands: Springer, 2005. P. 221—239.
- 3. От Φ ., Тростель P. Пневматические строительные конструкции. Конструирование и расчет сооружений из тросов, сеток и мембран M. : Изд-во литературы по строительству, 1967. 320 с.

- 4. Чесноков А. В. Проектирование тентовой оболочки // Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве и архитектуре : сб. стат. Международной конф. Липецк : ЛГТУ, 2009. С. 130—134.
- 5. Чесноков А. В., Михайлов В. В., Хорошилов Е. А. Метод плотности сил для расчета тросовых сетей // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. Воронеж Липецк : РААСН, ЛГТУ, 2008. С. 270—274.
- 1. Pnevmaticheskie konstruktsii vozdukhoopornogo tipa / V. V. Ermolov, A. S. Voblyy, A. I. Man'shavin, M. I. Petrovnin, Yu. I. Khrushchev / Pod red. V. V. Ermolova. M. : Stroyizdat, 1973. 288 s.
- 2. *Tarczewski R*. Post-tensioned modular inflated structures // Textile composites and inflatable structures Netherlands: Springer, 2005. P. 221—239.
- 3. Otto F., Trostel' R. Pnevmaticheskie stroitel'nye konstruktsii. Konstruirovanie i raschet sooruzheniy iz trosov, setok i membrane M.: Izd-vo literatury po stroitel'stvu, 1967. 320 s.
- 4. *Chesnokov A.V.* Proektirovanie tentovoy obolochki // Effektivnye konstruktsii, materialy i tekhnologii v stroitel'stve i arkhitekture : Sb. stat. Mezhdunarodnoy konf. Lipetsk : LGTU, 2009. S. 130—134.
- 5. Chesnokov A. V., Mikhaylov V. V., Khoroshilov E. A. Metod plotnosti sil dlya rascheta trosovykh setey // Vestnik tsentral'nogo regional'nogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk. Voronezh Lipetsk: RAASN, LGTU, 2008. S. 270—274.

© Чесноков А. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Чесноков А. В. Особенности совместной работы фрагментов пневматических оболочек // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 115—122.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 536.24

В. Н. Чернышов, А. В. Ковылин

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

Приведены методика, эксперименты, расчеты по определению теплофизических свойств строительных материалов методом неразрушающего контроля с использованием электронного прибора.

К лючевые слова: ограждающие конструкции зданий, неразрушающий контроль, строительные материалы, теплофизические свойства.

The technique, experiments, calculations for the determination of thermal-physical properties of construction materials by the method of non-destructive testing with the use of electronic device are presented in the article.

 $K\ e\ y\ w\ o\ r\ d\ s$: envelopes of enclosure, non-destructive control, construction materials, thermal-physical properties.

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем является разработка точных, надежных неразрушающих методов контроля теплофизических свойств (ТФС) строительных материалов, а также систем их реализации. Теплофизические свойства строительных материалов, из которых состоят ограждения, существенно влияют на тепловой и воздушный режим зданий различного назначения, а также на работу систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Фактические свойства материалов ограждений зданий могут изменяться в процессе эксплуатации и не соответствовать их сертификату. Поэтому при возведении объектов различного назначения, в процессе строительства, необходимо знание ТФС строительных материалов, а в процессе эксплуатации здания необходимо проводить мониторинг ТФС ограждения.

Анализ предшествующих исследований экспериментального определения коэффициентов температуропроводности, теплопроводности и теплоемкости веществ и материалов показывает, что для методов теплообмена, а также проведения экспериментов требуется создание специальных условий: установка термопар внутри исследуемого материала или образца; поддержание постоянной температуры среды, теплового потока или определенных коэффициентов теплообмена; устройство торцевой изоляции; учет поправок на

^{*}Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-08-90816-мол_рф_нр).

нелинейность, контактное сопротивление, боковой теплообмен; устройство охранных нагревателей.

Следовательно, оптимальным методом для экспериментального определения ТФС — коэффициентов температуропроводности, теплоемкости, теплопроводности строительных и теплоизоляционных материалов ограждений зданий — является метод, исключающий влияние внешних условий на процесс исследования и основанный на измерениях температур и тепловых потоков на поверхности.

На этой основе разработан метод определения ТФС строительных материалов, основанный на измерении температур и теплового потока на поверхностях без подвода тепловых или электрических источников теплоты.

На рис. приведены экспериментальные распределения по часам в течение суток с интервалом в один час: температура внутренней $T_{\rm вн}$, °C, и наружной поверхности ограждения здания $T_{\rm нар}$, °C, температуры внутреннего $T_{\rm вн. в}$, °C и наружного воздуха $T_{\rm нар. s}$, °C, теплового потока на наружной поверхности стены ограждения здания $q_{\rm нар}$, BT/M^2 .

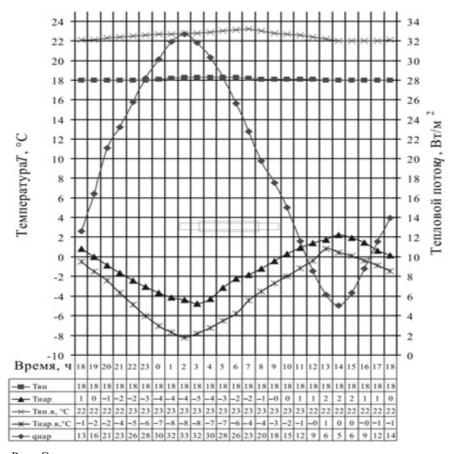


Рис. Экспериментальные распределения температур и теплового потока ограждения здания из силикатного кирпича: — температура поверхности внутренней стены ограждения здания, °C; \blacktriangle — температура поверхности наружной стены ограждения здания, °C; х— температура внутреннего воздуха помещения здания, °C; х— температура внутреннего воздуха помещения здания, °C; х— температура наружного воздуха, °C; х— плотность теплового потока на наружной поверхности ограждения здания, $\mathtt{BT/M}^2$

Толщина однородной стены здания из силикатного кирпича $\delta = 0.6$ м. Минимальная плотность теплового потока наблюдалась в дневные часы и составила $q_{\pi}^{\, \text{min}} = 5 \; \text{Bt/m}^2$.

При максимальной плотности теплового потока на наружной поверхности ограждения здания в ночное время $q_{\rm II}^{\rm min}=32,7~{\rm Bt/m^2}$ температура наружной поверхности ограждения здания составляла $t_{\rm hap}=-4,4~{\rm ^{\circ}C}$, температура внутренней поверхности ограждения здания — $t_{\rm BH}=18,3~{\rm ^{\circ}C}$, разность температур наружной и внутренней поверхностей ограждения здания — $\Delta t=18,3+4,4=22,7~{\rm ^{\circ}C}$.

Согласно методике для определения коэффициента теплопроводности используется температура внутренней $T_{\rm вн}$ и наружной поверхности ограждения здания $T_{\rm нар}$, °C при максимальном тепловом потоке на наружной поверхности ограждения здания $q_{\rm наp}$, ${\rm BT/m}^2$.

Коэффициент теплопроводности λ определяется по формуле:

$$\lambda = (q_{\Pi}^{\text{max}} \cdot \delta)/(t_{\text{BH}} - t_{\text{Hap}}) = (32,7.0,6) / 22,7 = 0,86 \text{ BT/M·K}.$$

Максимальная амплитуда колебаний температурной волны 9_{Π}^{max} на наружной поверхности ограждения здания между 3 ч 10 февраля и 14 ч 11 февраля в течение суток составила:

$$g_{\Pi}^{\text{max}} = 0.5(T_{\Pi^{1}}^{\text{max}} - T_{\Pi^{1}}^{\text{min}}) = 0.5(2.2 - (-4.8)) = 3.5 \, ^{\circ}\text{C},$$

где $T_{\Pi 1}^{\max} = 2,2$ °C — максимальная температура на наружной поверхности ограждения здания в 14 часов; $T_{\Pi 1}^{\max} = -4,8$ °C — минимальная температура на наружной поверхности ограждения здания в 3 часа.

Коэффициент теплоусвоения ограждения определяется по формуле:

$$B = q_{\Pi}^{\text{max}} / g_{\Pi}^{\text{max}} = 34.5 / 3.5 = 9.9 \text{ BT/M}^2 \cdot \text{K}.$$

Объемная теплоемкость ограждения определяется по формуле:

$$(c\rho) = (B^2 z)/(\lambda \cdot 2\pi) = (98.86400)/(0.86.2.3.14) = 1568 \text{ Дж/м}^3 \cdot \text{K},$$

где z=86400 — полный период колебаний температуры на наружной поверхности ограждения, с.

Коэффициент температуропроводности ограждения здания составляет:

$$a = \lambda / (c\rho) = 0.86 / 1568000 = 0.55 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{c}.$$

Термическое сопротивление теплопроводности ограждения здания определяется из выражения

$$R = \delta / \lambda = 0.6 / 0.86 = 0.698 \text{ m}^2 \cdot \text{K/Bt}.$$

Тепловая инерция ограждения здания рассчитывается по формуле:

$$b = \lambda \cdot (c\rho) = 0.86 \cdot 1568000 = 1.348 \cdot 10^6$$
, $\Delta \text{J} \times \text{J} / (c \cdot \text{M}^4 \cdot \text{K}^2) = 1.348 \cdot 10^3$, $\Delta \text{J} \times \text{J} \times$

Рассчитанные значения ТФС ограждения здания из силикатного кирпича: λ , a, (ср), B, R, b приведены в табл.

ТФС ограждения здания из силикатного кирпича

ТФС ограждения здания	ИТП «Теплограф»	Справочные значения
1	2	3
Коэффициент теплопроводности λ, Вт/м·К	0,86	0,811,0
Коэффициент температуропроводности a , м ² /с	$0,55\cdot 10^{-6}$	$0,450,61\cdot 10^{-6}$
Объемная теплоемкость c р, кДж/м 3 ·К	1568	16501800
Коэффициент теплоусвоения B , $B_{\text{Т}/M}$ $^2 \cdot \text{K}$	9,9	_
Термическое сопротивление R , $\mathbf{M}^2 \cdot \mathbf{K} / \mathbf{B} \mathbf{T}$	0,698	_
Тепловая инерция b , кДж 2 /с·м 4 ·К 2	$1,348 \cdot 10^3$	_

Полученные значения ТФС ограждения здания из силикатного кирпича с использованием измерителя теплофизических параметров ИТП «Теплограф» согласуются со справочными (литературными) значениями этих коэффициентов. Расхождение рассчитанных значений со справочными не превышает 10 %.

Разработанный способ и методики позволяют в течение одного опыта по тепловым и температурным измерениям на поверхности методом неразрушающего контроля комплексно определять ТФС.

Методика комплексного определения коэффициентов теплопроводности, температуропроводности, объемной теплоемкости, термического сопротивления, теплоусвоения и тепловой инерции ограждений зданий, строительных и теплоизоляционных материалов по тепловым и температурным измерениям на поверхности ограждения здания в течение одного опыта методом неразрушающего контроля имеет значительное преимущество по сравнению с известными методами и способами ранее:

нет необходимости создавать нагрев или охлаждение материала ограждения здания для проведения эксперимента;

нет необходимости в создании чисто конвективной или чисто лучистой окружающей среды, что значительно упрощает экспериментальные установки;

не требуется учета потерь теплоты за счет теплообмена с окружающей средой, а также контактным сопротивлением между образцом и нагревателем;

измерения температур производятся на поверхности ограждения без нарушения целостности и эксплуатационных характеристик материалов ограждений зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Фокин В. М., Ковылин А. В. Теоретические основы определения теплопроводности, объемной теплоемкости и температуропроводности материалов по тепловым измерениям на поверхности методом неразрушающего контроля // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архит. 2009. № 14(33). С. 123—127.
- 2. Чернышов В. Н., Чернышов А. В., Голиков Д. О. Метод и система оперативного контроля теплофизических характеристик строительных материалов // Контроль. Диагностика. 2010. N 2010. —
- 3. Ковылин А. В., Фокин В. М. Методика определения коэффициентов теплопроводности, теплоусвоения, тепловой инерции, температуропроводности и объемной теплоемкости строительных и теплоизоляционных материалов методом неразрушающего контроля // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архит. 2010. № 19(38). С. 112—117.
- 1. Fokin V. M., Kovylin A. V. Teoreticheskie osnovy opredeleniya teploprovodnosti, ob"emnoy teploemkosti i temperaturoprovodnosti materialov po teplovym izmereniyam na poverkhnosti metodom nerazrushayushchego kontrolya // Vestnik VolgGASU. Ser. : Str-vo i arkhit. 2009. № 14(33). S. 123—127.
- 2. Chernyshov V. N., Chernyshov A. V., Golikov D. O. Metod i sistema operativnogo kontrolya teplofizicheskikh kharakteristik stroitel'nykh materialov // Kontrol'. Diagnostika. 2010. № 11. S. 34—41.
- 3. *Kovylin A. V., Fokin V. M.* Metodika opredeleniya koeffitsientov teploprovodnosti, teplousvoeniya, teplovoy inertsii, temperaturoprovodnosti i ob"emnoy teploemkosti stroitel'nykh i teploizolyatsionnykh materialov metodom nerazrushayushchego kontrolya // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkhit. 2010. № 19(38). S. 112—117.

© Чернышов В. Н., Ковылин А. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Чернышов В. Н., Ковылин А. В. Неразрушающий метод определения теплофизических свойств строительных материалов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 123—127.

УДК 620.3:666.972

В. М. Фокин, Д. В. Образцов

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ С ЗАДАННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ *

Проведенные экспериментальные исследования выявили зависимость прочности, теплопроводности и других свойств бетона от количества, структуры и состава наномодифицирующих добавок.

К л ю ч е в ы е с л о в а : бетон, наномодифицирующие добавки, строительные материалы, прочность, теплопроводность, морозожаростойкость.

Carried out experimental study revealed the dependence of strength, heat conductivity and other properties of concrete on the quantity, structure and composition of the nanomodified additives.

K e y w o r d s: concrete, nanomodified additives, construction materials, strength, heat conductivity, frost and heat resistance.

В настоящее время увеличиваются объемы строительства жилых домов, спортивных комплексов, промышленных зданий и сооружений. В связи с этим актуальной задачей является разработка строительных материалов с улучшенными свойствами, такими как прочность, теплопроводность, морозо-жаростойкость. Основным материалом при строительстве зданий является бетон, который, наряду со всевозможными добавками и наполнителями, позволяет применять его для решения огромного спектра инженерных и технических задач в различных климатических условиях.

Потребность в высокопрочных бетонах растет по мере проектирования и возведения большепролетных и сильнонагруженных несущих конструкций. Высокопрочные бетоны в этих случаях позволяют перейти на более эффективные сечения конструктивных элементов, уменьшить расход бетона и существенно снизить вес конструкций, что должно повысить конкурентоспособность железобетона по сравнению с другими современными конструкционными материалами и расширить область его применения.

Именно в этом направлении важным является изучение возможности использования наномодификаторов для повышения эксплуатационных характеристик бетона при одновременном снижении расхода цемента.

Для достижения поставленной задачи необходимо произвести экспериментальные исследования, которые позволят выявить зависимость прочности, теплопроводности и других свойств бетона от количества, структуры и состава наномодифицирующих добавок. Предположительно наномодифицирующие добавки, в зависимости от состава, изменяют свойства бетона по двум направлениям. Первое направление заключается в образовании новых химических связей, которые изменяют состав и структуру бетона. Второе направление основано на способностях нанообъектов становиться центрами кристаллизации цементного камня, что позволяет создавать более стабильную структуру во всем объеме. При использовании многокомпонентных наномодифицирующих добавок также возможно формирование различных вариантов структуры цементного камня. Поэтому основным направлением исследования является определение оптимальной

 $^{^*}$ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-08-90818-мол_рф_нр).

концентрации и состава наноструктурных добавок, которые позволят улучшить прочностные и теплофизические свойства бетона.

Основным качеством бетона является его прочность, которая зависит от множества факторов, таких как количество затравочной воды, температура и время отверждения, влажность воздуха при отверждении, химический состав цемента, присутствие в растворе специальных добавок. В специальной литературе описывается увеличение прочности бетонов при использовании наноструктурных добавок. Также возможно применять резервы цемента, например, производить домол его частиц до наноразмерной величины, тем самым увеличивая его поверхность, что улучшит его взаимодействие с водой и позволит создавать плотную цементную массу с меньшим содержанием воды. Это благоприятно скажется на уменьшении усадки и процессах образования трешин при высыхании. Данное свойство также благоприятно скажется на удержании внутренней влаги, необходимой для набора прочности, а также избавит от необходимости дополнительно увлажнять бетон в процессе набора расчетной прочности. Внесение дополнительных наноструктурных компонентов возможно в процессе домола цемента, что позволит производить равномерное распределение их во всем объеме для получения стабильных параметров при производстве наномодифицированного бетона.

Прочность бетона нарастает в течение длительного времени, но наиболее интенсивный ее рост наблюдается в начальный период выдержки. Прочность бетона, приготовленного на портландцементе, интенсивно нарастает в первые 28 суток, а на пуццолановом и шлаковом портландцементе — в первые 90 суток. В дальнейшем при благоприятных условиях выдержки, таких как положительная температура, влажность, прочность бетона может нарастать годами, что объясняется длительным процессом твердения геля и ростом кристаллов.

Лабораторные испытания на прочность бетона, согласно стандарту, производят с помощью кубов, определенных размеров. Опытами установлено, что прочность бетона одного и того же состава зависит от размера куба: если временное сопротивление сжатию бетона для базового куба с ребром 15 см равно R, то для куба с ребром 20 см оно уменьшается и равно приблизительно 0,93 R, а для куба с ребром 10 см — увеличивается и равно 1,1 R. Это объясняется изменением эффекта обоймы с изменением размеров куба и расстояния между его торцами. При осевом сжатии бетонные кубы разрушаются вследствие разрыва в поперечном направлении. Наклон трещин разрыва обусловлен силами трения, которые развиваются на поверхностях между плитами пресса и гранями куба. Силы трения, направленные внутрь, препятствуют свободным поперечным деформациям куба и создают эффект обоймы. Удерживающее влияние сил трения по мере удаления от торцовых граней куба уменьшается, поэтому после разрушения куб приобретает форму усеченных пирамид, сомкнутых малыми основаниями.

На прочность бетона влияет множество факторов, так, образцы из одного и того же замеса, твердевшие в одинаковых условиях и испытанные на одном прессе, показывают различные значения прочности бетона. На результаты испытаний влияют параллельность граней образца, их ровность и шероховатость, условия изготовления. Так, при изготовлении бетонных образцов из пластичных смесей при больших расходах воды и в ряде других случаев под зернами заполнителя, вследствие седиментации, возникают ослабленные места, которые имеют горизонтальное направление. При испытании в этом случае

значительное влияние на результаты будет оказывать расположение образца между плитами пресса. Наименьшие результаты получаются при сжатии образцов, положенных на бок, т. е. когда ослабленные полости совпадают с направлением усилия сжатия. Наличие слабых мест заметно уменьшает сопротивление образца действию растягивающих усилий в горизонтальном направлении и способствует его разрушению.

Прочность образцов, испытанных в положении на боку, может быть на 10...20 % ниже, чем при испытании в том положении, в котором образец формовался. Поэтому при испытаниях обязательно следует учитывать указанные факторы и располагать образцы на прессе в одинаковом положении.

При испытании бетонного образца в прессе, напряжения возникают не только в образце, но и в плитах пресса. Так, как модуль упругости стали намного выше модуля упругости бетона, даже при одинаковых напряжениях деформации, возникающих в плитах пресса, в том числе поперечные деформации от действия растягивающих напряжений оказываются меньше, чем деформации бетона. Между плитами пресса и образцом обычно действуют силы трения, в результате чего поверхность бетонного образца, прилегающая к плитам пресса, имеет одинаковые с последними деформации. Эти деформации значительно меньше деформаций в других сечениях. Образец же разрушается тогда, когда деформации достигают предельных значений, при которых возникают сплошные трещины. Действие плит пресса, уменьшая деформации слоев бетона, прилегающих к ним, как бы оказывает на них поддерживающее влияние и предохраняет от разрушения. Это явление принято называть эффектом обоймы. Поэтому кубы бетона имеют обычно характерную форму разрушения, когда наибольшие деформации и разрушения наблюдаются в среднем сечении образца.

Теплопроводность бетона в значительной мере определяется видом используемого в нем заполнителя. Например, теплопроводность керамзитобетона при плотности 1000 кг/м³ составляет 0,41 Вт/м °С, что в 2 раза меньше теплопроводности кирпичной кладки. Также известно, что аморфные материалы менее теплопроводны, чем кристаллические. Так, обычное силикатное стекло с плотностью 2500 кг/м³ имеет теплопроводность около 0,8 Вт/м °С, т. е. такую же, как у кирпича, плотность которого 1700 кг/м³. Теплопроводность обычного бетона с плотностью, близкой к плотности стекла, составляет примерно 1,4 Вт/м °С. Теплопроводность бетона также зависит от его влажности. Теплопроводность воды составляет 0,58 Вт/м°С, что во много раз больше теплопроводности воздуха. Поэтому, если поры бетона вместо воздуха заполняет вода, то теплопроводность его резко увеличивается, теплопотери через увлажненные ограждающие конструкции возрастают.

Таким образом, анализ работ, посвященных получению высокопрочных бетонов, позволил определить основные направления проведения исследований, намечены возможные варианты модификации бетона как на этапе производства цемента и наполнителей, так и в процессе замеса и отверждения. Для проведения экспериментов по прочности бетона на приборе $\Gamma\Pi$ -100 будет применена оправка для приготовления одновременно трех образцов кубической формы с гранью размером 10 см, а для проведения измерения теплопроводности бетонов на приборе $\Pi\Pi$ - Π "250" будут изготовлены образцы в заливочной форме размером $250 \times 250 \times 10$ мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Специальные бетоны. М. : Инфра-Инженерия, 2012. 368 с.
 - 2. Зоткин А. Г. Бетон и бетонные конструкции. Ростов н/Д : Феникс, 2012. 336 с.
- 3. *Лермит Р*. Проблемы технологии бетона. 4-е. изд., перераб. и доп. М. : ЛКИ, 2010. 296 с.
- 4. Бетоны. Материалы. Технологии. Оборудование. 2-е изд., перераб. и доп. Ростов н/Д : Феникс, 2008. 384 с.
- 5. Сухие строительные смеси. Бетоны. Материалы и технологии. М. : Стройинформ, 2007. 828 с.
 - 1. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L. Spetsial'nye betony. M.: Infra-Inzheneriya, 2012. 368 c.
 - 2. Zotkin A. G. Beton i betonnye konstruktsii. Rostov n/D : Feniks, 2012. 336 s.
- 3. *Lermit R*. Problemy tekhnologii betona. 4-e. izd., pererab. i dop. M. : LKI, 2010. 296 s.
- 4. Betony. Materialy. Tekhnologii. Oborudovanie. 2-e izd., pererab. i dop. Rostov n/D : Feniks, 2008. 384 s.
- 5. Sukhie stroitel'nye smesi. Betony. Materialy i tekhnologii. M. : Stroyinform, 2007. 828 s

© Фокин В. М., Образцов Д. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Фокин В. М., Образцов Д. В. Методы получения наномодифицированных бетонов с заданными прочностными и теплофизическими свойствами // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 128—131.

УДК 537.311.324:691:699.86

В. М. Фокин, В. Н. Злобин, М. А. Шило, А. В. Ковылин

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ

Приведены исследования, определяющие электрическую прочность теплоизоляционного полимерного покрытия при воздействии переменного напряжения с частотой 50 Гц.

K л ю ч е в ы е с л о в а : теплоизоляционный материал, электрическая прочность, энергоэффективность, полимерное покрытие.

The authors describe the researches which determine electric strength of heat and electro insulating polymeric coating when exposed to an alternating voltage with frequency of 50 Hz.

 $K\,e\,y\,$ words: heat insulating material, electric strength, energy efficiency, polymeric coating.

В связи с увеличением использования жидкого теплоизоляционного полимерного покрытия в промышленности и ЖКХ появляется необходимость в более подробном исследовании данного материала [1]. В статье представлены результаты исследования диэлектрических свойств теплоизоляционного полимерного покрытия (ТПП) «Астратек». Одним из основных показателей диэлектрических покрытий является электрическая прочность. Была проведена серия лабораторных испытаний, определяющих электрическую прочность материала при воздействии переменного напряжения с частотой 50 Гц.

Электрическая прочность — минимальная напряженность однородного электрического поля, $E_{\rm np}$, при которой наступает пробой диэлектрика. Электрическая прочность зависит от материала диэлектрика, конфигурации электродов, внешних факторов, качества изготовления диэлектрика, типа воздействующего напряжения.

Исследования проводились в соответствии с методическими рекомендациями [2]. Эта методика основана на определении напряжения пробоя и дальнейшем вычислении электрической прочности образца.

При определении электрической прочности, для исключения теплового пробоя, измерения производятся, как правило, в импульсном режиме, в то же время импульсы напряжения должны быть достаточно длительными, чтобы процессы, приводящие к электрическому пробою, протекали без перенапряжений, поэтому для пробоя используется переменное напряжение с частотой 50 Гц.

Когда напряженность электрического поля превышает электрическую прочность, диэлектрик начинает проводить электрический ток. При напряжениях выше электрической прочности диэлектрик становится проводником. Переход в проводящее состояние часто приводит к разрушению материала из-за перегрева токами короткого замыкания.

Испытания на электрическую прочность ТПП «Астратек» проводились в учебно-исследовательской лаборатории кафедры «Энергоснабжение и теплотехника» ВолгГАСУ с февраля по апрель 2012 года.

Электрическую прочность теплоизоляционного полимерного покрытия определяли на образцах, материал покрытия наносился на них по рекомендациям, приведенным в [3]. В качестве подложки использовались металлические пластинки из стали Ct.3 с размерами $90\times60\times2$ мм с закругленными для уменьшения электрической короны краями. Толщина покрытия составляла 1.5 ± 2.5 мм. Поверхность образца не должна иметь видимых невооруженным глазом короблений, препятствующих плотному прилеганию электродов, а также трещин, сколов, вмятин, загрязнений. Стальная подложка, на которую был нанесен материал, с одной стороны, использовалась в качестве электрода, с другой — имела стальной электрод из того же материала, который приклеивался перпендикулярно поверхности покрытия с помощью тонкого слоя исходного материала. Диаметр второго электрода составляет 20 мм, радиус закругления 2 мм. Этот метод крепежа электрода позволяет улучшить эффективность контакта с покрытием и тем самым уменьшить погрешность замеров.

Электрическая прочность при переменном напряжении исследовалась на установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 1.

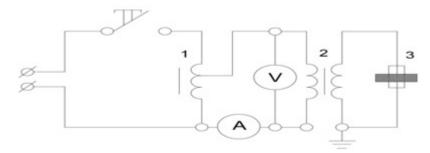


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема: 1 — устройство, позволяющее осуществлять подъем напряжения на образце; 2 — высоковольтный испытательный трансформатор; 3 — образец с электродами

Для определения пробивного напряжения покрытия образец фиксировался в электрической схеме, фотография установки показана на рис. 2.



Рис. 2. Установка для определения напряжения пробоя материалов

В процессе «тренировки» покрытия под напряжением происходило стекание свободных зарядов. Так, например, на ступени 1,5 кВ ток падал с 10 до 2,8 МА в пределах 1 мин. Пробой покрытия носит точечный характер, связанный с дефектами в покрытии (рис. 3). При пробое покрытия ток ограничивался высоким сопротивлением продуктов пробоя и находился в пределах от 1...2 А.

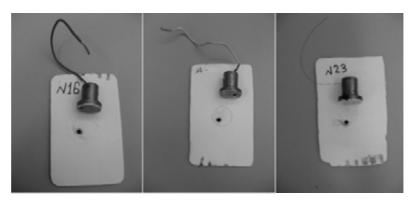


Рис. 3. Образцы после пробоя

Испытания проводятся методом ступенчатого подъема напряжения на образце с выдержкой длительностью 1 мин на каждой «ступени» напряжения.

Значение электрической прочности покрытия определялось по формуле, кВ/мм:

$$E_i = \frac{U_i}{\delta},\tag{1}$$

где U_i — пробивное напряжение, кВ, δ — средняя арифметическая толщина образца в месте расположения электрода, мм.

Результаты испытаний приведены в табл.

Значения испытаний электроизоляционных свойств ТПП «Астратек»

№	No	Напряжение	Толщина	Электрическая
	образца	пробоя, В	покрытия, мм	прочность, кВ/мм
1	19	2,7	1,8	1,50
2	20	3	2,2	1,36
3	21	2,5	1,8	1,39
4	22	3,3	2,1	1,57
5	23	3,1	2,1	1,48
6	18	4	1,9	2,11
7	13	4	1,9	2,11
8	12	4	1,7	2,35
9	14	3	1,7	1,76
10	3	5,8	2,5	2,32
11	16	5,1	2,2	2,32
12	7	3,3	1,65	2,00
13	15	4,9	2	2,45
14	14	4	1,9	2,11

Среднее значение электрической прочности (\bar{E}_{np}), кВ/мм, вычисляют по формуле:

$$\overline{E_{\rm np}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{U_i}{\delta},\tag{2}$$

где п — количество измерений.

Среднее значение электрической прочности составило $\overline{E_{\text{mp}}} = 1,92 \text{ кB/мм}.$

На основании результатов экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

- 1. Напряжение пробоя теплоизоляционного полимерного покрытия составляет при толщине 2,5 мм 5800 В,1,7 мм 4000 В.
 - 2. Среднее значение электрической прочности покрытия 1,92 кВ/мм.
 - 3. Электрическое сопротивление пробоя покрытия ≈ 3 кОм.

Полученные результаты показывают высокие электроизоляционные свойства ТПП «Астратек». Значение электрической прочности покрытия находится на уровне электрической прочности современных изоляционных проводниковых материалов, используемых для монтажа электрических сетей напряжением до 1000 В. Высокие диэлектрические свойства покрытия «Астратек» позволяют примененять данный материал в элементах электроники. Величина предпробойных токов и токов короткого замыкания могут характеризовать структуру покрытия в этих режимах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Фокин В. М., Шило М. А., Таранов В. Ф. Исследование теплофизических параметров многослойной полимерной теплоизоляции с целью обеспечения экологической безопасности // Вестник Волгоградского гос. архит. строит. ун-та. Сер. : Стро-во и архит. 2011. № 25 (44). С. 212—218.
- 2. ГОСТ 6433.3—71. Методы определения электрической прочности при переменном (частота $50 \, \Gamma$ ц) и постоянном напряжении. Введен. $01.07.1972 \, \Gamma$.
- 3. ТУ 5768-002-62584336-2009. Теплоизоляционные полимерные покрытия «Астратек».
- 1. *Fokin V. M., Shilo M. A., Taranov V. F.* Issledovanie teplofizicheskikh parametrov mnogosloynoy polimernoy teploizolyatsii s tsel'yu obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti // Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-ta. 2011. № 25 (44). S. 212—218.
- 2. GOST 6433.3—71. Metody opredeleniya elektricheskoy prochnosti pri peremennom (chastota 50 Gts) i postoyannom napryazhenii. Vveden. 01.07.1972 g.
 - 3. TU 5768-002-62584336-2009. Teploizolyatsionnye polimernye pokrytiya «Astratek».

© Фокин В. М., Злобин В. Н., Шило М. А., Ковылин А. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Исследование теплоэлектроизоляционных свойств полимерного покрытия / В. М. Фокин, В. Н. Злобин, М. А. Шило, А. В. Ковылин // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 132—135.

УДК 624.131

В. Г. Офрихтер, Н. Н. Лихачева

УСЛОВИЕ ТЕКУЧЕСТИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Предложено условие текучести твердых бытовых отходов. Твердые бытовые отходы рассматриваются как армогрунтоподобный материал с особыми свойствами.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, армогрунтовый материал, условие текучести.

Condition for household solid waste flow is proposed. Solid waste is considered as reinforced soil-like material with particular properties.

Key words: household solid waste, reinforced soil-like material, condition for flow.

Рост стоимости земельных участков в городской черте и на смежных территориях приводит к необходимости уменьшения размеров площадок для размещения полигонов твердых бытовых отходов (ТБО). Проектируются высоконагруженные полигоны, представляющие собой комплексные инженерные сооружения из особых грунтоподобных материалов. Расчет таких сооружений связан с необходимостью всесторонней оценки напряженнодеформированного состояния и прогнозом его развития во времени.

1. Условие тверучести ТБО. В соответствии с экспериментальными результатами массив твердых бытовых отходов может рассматриваться как композитный материал, состоящий из двух компонентов: основная материнская порода, состоящая из мелко- и среднезернистых частиц, в большинстве своем грунтоподобных, характеризующаяся фрикционным поведением, и армирующая матрица, включающая в себя фиброподобные компоненты отходов. В этом случае смешанные ТБО могут быть смоделированы подобно грунту, армированному произвольно ориентированными фибрами [1].

Экспериментальными исследованиями [2] установлено, что огибающая сдвиговых напряжений для измельченных ТБО параллельна огибающей для основной материнской породы ТБО. Эти результаты позволяют предположить, что армирование не влияет на фрикционные свойства грунтоподобных материалов, но увеличивает сцепление.

На рис. 1 изображены огибающие предельных напряжений при сдвиге основной материнской породы, состоящей из грунтоподобных частиц, характеризующихся фрикционным поведением и ТБО.

При приложении девиаторной нагрузки к образцу ТБО в нем развиваются вертикальные сжимающие (в направлении оси σ_1) и горизонтальные растягивающие (в направлении оси σ_3) напряжения. Соответственно, растягивающие горизонтальные напряжения (σ_0) мобилизуются и в армирующей матрице. В основной породе ТБО, в связи с развитием в армирующей матрице растягивающих напряжений, будут развиваться дополнительные сжимающие горизонтальные напряжения (σ_0), увеличивая прочность ТБО. В этом случае на диаграмме Мора для неармированной основной породы ТБО (рис. 1, a) логично уменьшить σ_3 на величину σ_0 (рис. 1, a), поскольку прочность ТБО возрастает по сравнению с неармированной основной породой, и построить на этой осно-

ве круг напряжений для образца ТБО, оставив неизменным вертикальное напряжение σ_1 . Если же принять для образца ТБО всестороннее давление $\sigma_3^{'}$, то увеличится вертикальное напряжение $\sigma_1^{'} > \sigma_1$, и новый круг предельных напряжений будет иметь больший диаметр, не выходя за пределы огибающей кругов предельных напряжений: $\sigma_3 = \sigma_3^{'} - \sigma_0$.

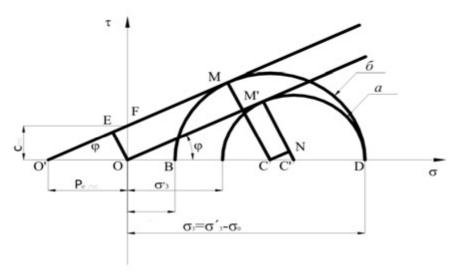


Рис. 1. Огибающие предельных напряжений при сдвиге основной неармированной материнской породы из грунтоподобных частиц, характеризующейся фрикционным поведением (a) и ТБО (δ)

Обозначим по аналогии со связными грунтами и армогрунтами:

$$\mathbf{p}_{enc} = \mathbf{O}'O$$
 — псевдодавление связности;

$$c_{nc} = OF$$
 — псевдосцепление;

$$p_{enc} = O'O$$
; $O'O = \frac{OE}{\sin \alpha}$; $OE = CM - C'M' + C'N$; $C'M' = \frac{\sigma_1 - \sigma_3'}{2}$,

$$C'N = (DC - DC')\sin\varphi = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3' + \sigma_0}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3'}{2}\right)\sin\varphi = \frac{\sigma_0}{2}\sin\varphi,$$

$$OE = CM - C'M' + C'N = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{3}' - \sigma_{0}\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{3}' - \sigma_{0}\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{3}' - \sigma_{0}\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{3}' - \sigma_{0}\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{3}' - \sigma_{0}\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{3}' - \sigma_{0}\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{3}' - \sigma_{0}\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{3}' - \sigma_{0}\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{3}' - \sigma_{0}\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right) + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] - \left[\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right] + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] - \left[\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right] + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] - \left[\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right] + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \left(\sigma_{1} - \sigma_{3}'\right)\right] + \sigma_{0}\sin\phi}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \sigma_{1}'\right] + \sigma_{0}'}{2} = \frac{\left[\sigma_{1} - \sigma_{1}'\right] + \sigma_{0}'}{2}$$

$$=\frac{\sigma_{1}-\sigma_{3}'+\sigma_{0}-\sigma_{1}+\sigma_{3}'+\sigma_{0}\sin\phi}{2}=\frac{\sigma_{0}}{2}+\frac{\sigma_{0}\sin\phi}{2}=\frac{\sigma_{0}}{2}\left(1+\sin\phi\right),$$

$$p_{enc} = O'O = \frac{OE}{\sin \varphi} = \frac{\sigma_0}{2} \frac{1 + \sin \varphi}{\sin \varphi}, \tag{1}$$

где $\sigma_0 = n_r R$; R — прочность армирующей матрицы на растяжение. (2)

Зная величины главных напряжений, прочности на растяжение армирующей матрицы и учитывая, что треугольники O'MC и OM'C' прямоугольные, будем иметь:

$$\sin \varphi = \frac{CM}{O'C}, CM = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2};$$

$$O'C = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + \sigma_3 + p_{enc} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + \frac{2\sigma_3}{2} + \frac{\sigma_0}{2} \frac{1 + \sin \varphi}{\sin \varphi} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3 + 2\sigma_3 + \sigma_0 \cos ec\varphi + \sigma_0}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_0 \cos ec\varphi + \sigma_0}{2};$$

$$\sin \varphi = \frac{CM}{O'C} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)/2}{(\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_0 \cos ec\varphi + \varphi_0)/2};$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \varphi + \sigma_0 \cos ec\varphi \sin \varphi + \sigma_0 \sin \varphi$$
.

После несложных преобразований, получим условие предельного равновесия для композитного образца твердых бытовых отходов при $\sigma_1 > \sigma_3$.

$$(\sigma_1 - \sigma_3 - \sigma_0) - (\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_0) \sin \varphi = 0.$$
(3)

При $\sigma_3 > \sigma_1$ условие текучести имеет вид

$$(\sigma_3 - \sigma_1 - \sigma_0) - (\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_0) \sin \varphi = 0. \tag{4}$$

Условия текучести (3) и (4) соответствуют механизму разрушения, который зависит от сдвига материала по площадкам скольжения, наклоненным под углом \pm 45° — ϕ /2 по отношению к направлению наибольшего главного напряжения.

Образец ТБО находится в напряженном состоянии, не превышающем условий текучести, если выполняются неравенства

$$\begin{cases} (\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_0) \sin\varphi - (\sigma_1 - \sigma_3 - \sigma_0) > 0 \\ (\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_0) \sin\varphi - (\sigma_3 - \sigma_1 - \sigma_0) > 0. \end{cases}$$

$$(5)$$

Преобразуем систему (5):

$$\begin{cases} \sigma_1 - \sigma_3 < (\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_0) \sin\phi + \sigma_0 \\ \sigma_1 - \sigma_3 > -(\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_0) \sin\phi - \sigma_0 \end{cases}$$

следовательно,

$$(\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_0)\sin\phi - \sigma_0 < \sigma_1 - \sigma_3 < (\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_0)\sin\phi + \sigma_0$$

ипи

$$\left|\sigma_{1}-\sigma_{3}\right|<\left(\sigma_{1}+\sigma_{3}+\sigma_{0}\right)\sin\varphi+\sigma_{0}.\tag{6}$$

Если неравенство (6) возвести в квадрат, то условие, определяющее область линейного напряженного состояния массива отходов запишется в виде (7), при котором неравенство f < 0 обозначает область линейного напряженного состояния, а равенство f = 0 обозначает напряженное состояние,

удовлетворяющее критериям разрушения. Эти напряженные состояния можно графически представить в пространстве напряжений в соответствии с рис. 2, при этом уравнения (3) и (4) — это границы этой области, характеризующие напряженное состояние, соответствующее условиям разрушения.

$$(\sigma_1^2 + \sigma_3^2)\cos^2 \phi - 2\sigma_1\sigma_3(1 + \sin^2 \phi) - \\
-2\sigma_0(\sigma_3 + \sigma_1)(\sin^2 \phi + \sin \phi) - \sigma_0^2(1 + \sin^2 \phi) \le 0.$$
(7)

Графически в осях $\sigma_1...\sigma_3$ область линейного напряженнодеформированного состояния ТБО представляет бесконечный клин, соответствующий напряженному состоянию, не превышающему условий текучести.

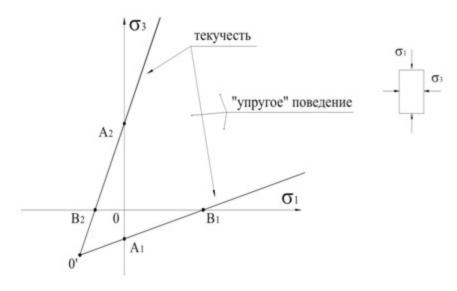


Рис. 2. Поверхность текучести Кулона — Мора твердых бытовых отходов

Этот клин ограничен двумя прямыми линиями (8), соответствующими разрушению отходов, которые отсекают от начала координат равные треугольники.

$$\sigma_3 = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \sigma_1 - \sigma_0; \ \sigma_3 = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_1 + \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_0. \tag{8}$$

Напряженные состояния, лежащие за пределами клина, недопустимы. На рис. 2 изображена область «упругого» поведения массива ТБО. Точки, отмеченные на рисунке, имеют следующие координаты:

$$A_1(0; -\sigma_0); B_1\left(\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\sigma_0; 0\right); A_2\left(0; \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}\sigma_0\right);$$

$$B_2\left(-\sigma_0; 0\right); \quad O\left(-\frac{1+\sin\phi}{2\sin\phi}\sigma_0; -\frac{1+\sin\phi}{2\sin\phi}\sigma_0\right).$$

Армирующая компонента массива ТБО сама является композитом, поскольку состоит из различных материалов (пластик, текстиль, бумага, картон, ветви деревьев и иные фиброподобные компоненты отходов). В соответствии с принятой схемой армирующая компонента является композитом «первого порядка», а весь массив ТБО — композитом «второго порядка», в который армирование входит как компонента.

Прочность армирующей матрицы определяется по формуле (9) [3]:

$$R = n_1 R_1 + n_2 R_2 + \dots + n_i R_i, (9)$$

где R_i — прочность на растяжение i-го компонента; n_i — численная составляющая компонента в композитной матрице.

Состав армирующей матрицы можно принять по табл. 1

Таблица 1 Морфологический состав ТБО (% по массе) [4]

	Климатическая зона				
Компонент ТБО	средняя	канжо	северная		
Морфологический состав ТБО					
Пищевые отходы	3545	4049	3239		
Бумага, картон	3235	2230	2635		
Дерево	12	12	25		
Черный металлолом	34	23	34		
Цветной металлолом	0,51,5	0,51,5	0,51,5		
Текстиль	35	35	46		
Кости	12	12	12		
Стекло	23	23	46		
Кожа, резина	0,51	1	23		
Камни, штукатурка	0,51	1	13		
Пластмасса	34	36	34		
Прочее	12	34	12		
Отсев (менее 15 мм)	57	68	46		

К армирующим компонентам относятся: бумага, картон (35 %), дерево (2 %), черный металлолом (4 %), цветной металлолом (1,5 %), текстиль (5 %), кости (2 %), кожа, резина (1 %), пластмасса (4 %).

Данные по изменению морфологического состава отходов с 1958 по 2000 г.г. Екатеринбурга приведены в табл. 2.

Таблица 2 Морфологический состав ТБО для г. Екатеринбурга, % по массе [5]

Компонент ТБО	Годы				
ROMHOHEHT TBO	1958—1961	1970—1975	1995—2000		
Пищевые отходы	2,0	33,2	33,1		
Бумага, картон	9,0	24,5	23,8		

Окончание	mann	,
OKURTURUE	muon.	~

Компонент ТБО	Годы				
	1958—1961	1958—1961	1958—1961		
Дерево	4,0	2,9	3,3		
Металл	3,0	5,4	6,1		
Текстиль	4,0	4,3	5,1		
Кости	2,0	2,5	1,8		
Стекло	3,0	7,6	8,9		
Кожа, резина	0,5	3,9	2,3		
Камни, штукатурка	8,0	1,6	0,9		
Полимеры (пленка)	0,5	7,5	8,2		
Уголь, шлак	10,0	1,1	0,4		
Отсев (менее 15 мм)	54,0	5,5	6,1		

2. Условие текучести ТБО в составляющих напряжениях. Принимая во внимание, что главные напряжения выражаются через составляющие напряжения [6],

$$\begin{vmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_3 \end{vmatrix} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(\sigma_x - \sigma_z\right)^2 + 4\tau_{xz}^2} ,$$
 (10)

условию предельного равновесия для массива ТБО (3) в случае одновременного пластического течения грунтоподобной породы и армирующей матрицы можно придать иной вид, выразив главные напряжения через компоненты напряжений:

$$\left(\sigma_{x} - \sigma_{z}\right)^{2} + 4\tau_{xz}^{2} = \left[\sigma_{x} + \sigma_{z} + \sigma_{0}\left(1 + \cos ec\varphi\right)\right]^{2} \sin^{2}\varphi. \tag{11}$$

Условие текучести ТБО информирует только о таком напряженном состоянии грунта, которое может быть причиной пластических (необратимых) деформаций. Другим важным условием является закон течения, определяющий пластические деформации, которые могут развиться при удовлетворении условий текучести. Поскольку величина пластического течения не ограничена, нельзя ничего сказать об общих пластических деформациях, но можно представить так называемую скорость деформаций. Общая скорость деформаций состоит из упругой и пластической частей:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^p \,, \tag{12}$$

где
$$\binom{\cdot}{\bullet} = \partial \left(\bullet \right) / \partial \xi$$
 , ξ — монотонно возрастающий параметр.

Значение ξ не всегда физически ясно. Во многих публикациях этот параметр рассматривается как время. Необходимо отметить, что идеально-пластичное поведение не должно зависеть от реального времени, таким образом, более удобно ввести приращение пластических деформаций $d\varepsilon_{ii}^{p}$ взамен скорости деформаций [3].

Скорости упругих деформаций (или приращений деформаций) можно выразить в виде закона Гука, в котором вместо компонент общих деформаций необходимо использовать скорости деформаций или приращения деформаций.

Скорости упругих деформаций применяются в упругопластических моделях и не применяются в идеальной жесткопластической теории. Приращения пласти-

ческих деформаций могут быть определены из закона течения, который базируется на понятии пластического потенциала $g = g(\sigma_{ij})$. Хотя эта концепция, впервые представленная Мизесом, является спорной в теории пластичности, тем не менее она широко применяется [3]. Общий вид закона пластического течения:

$$d\varepsilon_{ij}^{p} = d\lambda \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}}, \qquad (13)$$

где $d\lambda$ — некоторый скалярный коэффициент пропорциональности, являющийся функцией напряженного состояния.

В практических целях пластический потенциал часто идентифицируется с функцией текучести g = f, что приводит к ассоциированному закону течения:

$$d\varepsilon_{ij}^{p} = d\lambda \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ii}}.$$
 (14)

Уравнение (14) означает, что приращения пластических деформаций могут быть представлены вектором, нормальным к поверхности текучести [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Kockel R., Jessberger H. L. Stability Evaluation of Municipal Solid Waste Slopes // Proceedings of 11th european conference for soil mechanics and foundation engineering. Vol. 2. Copenhagen, Denmark: Danish Geotechnical Society, 1995. P. 73—78.
- 2. Manassero M., Van Impe W. F., Bouazza A. Waste Disposal and Containment // Proceedings of 2nd International Congress on Environmental Geotechnics. Rotterdam, 1996. P. 1425—1474.
 - 3. Sawicki A. Mechanics of reinforced Soil. Rotterdam, 2000.
- 4. МДС 13-8-2000. Концепция обращения с твердыми бытовыми отходами в Российской Федерации. М.: ГОССТРОЙ РОССИИ, 2000.
- 5. Мирный А. Н. Прогноз изменения состава ТБО крупных городов России // Сб. докладов 4 Международного конгресса по охране окружающей среды «ВэйстТэк-2005». М., 2005. С. 124—125.
- 6. Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский, З. Г. Тер-Мартиросян, С. Н. Чернышев. М. : АСВ, 1994.
- 1. Kockel R., Jessberger H. L. Stability Evaluation of Municipal Solid Waste Slopes // Proceedings of 11th european conference for soil mechanics and foundation engineering. Vol. 2. Copenhagen, Denmark: Danish Geotechnical Society, 1995. P. 73—78.
- 2. Manassero M., Van Impe W. F., Bouazza A. Waste Disposal and Containment // Proceedings of 2nd International Congress on Environmental Geotechnics. Rotterdam, 1996. P. 1425—1474.
 - 3. Sawicki A. Mechanics of reinforced Soil. Rotterdam, 2000.
- 4. MDS 13-8-2000. Kontseptsiya obrashcheniya s tverdymi bytovymi otkhodami v Rossiyskoy Federatsii. M.: GOSSTROY ROSSII, 2000.
- 5. *Mirnyy A. N.* Prognoz izmeneniya sostava TBO krupnykh gorodov Rossii // Sb. dokladov 4 Mezhdunarodnogo kongressa po okhrane okruzhayushchey sredy «VeystTek-2005». M., 2005. S. 124—125.
- 6. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty / S. B. Ukhov, V. V. Semenov, V. V. Znamenskiy, Z. G. Ter-Martirosyan, S. N. Chernyshev. M.: ASV, 1994.

© Офрихтер В. Г., Лихачева Н. Н., 2012

Поступила в редакцию в ноябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Офрихтер В. Г., Лихачева Н. Н. Условие текучести твердых бытовых отходов // Вестник Волгогр. гос. архит.строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 136—142. УДК 666.972

Е. Ю. Миненко, Ю. В. Грачева, Т. С. Кижватова

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ПОЛИАКТИЛОВОГО ВОЛОКНА

Исследована прочность цементного камня, обработанного полиактиловым волокном.

Ключевые слова: фибробетон, цементный камень, прочность, модификация полиамидными волокнами.

The cement stone strength by polyacrylic fiber processing is studied.

Key words: fibre concrete, cement stone, strength, polyamide fibers modification.

В последние годы как в зарубежном, так и в отечественном строительном материаловедении широкое распространение получило дисперсное армирование бетона путем введения армирующих элементов длиной 1—5 см и диаметром 0,1—0,8 мм. Для этого применяются стальные, минеральные, углеродные и другие виды волокон [1].

Дисперсное армирование бетона рассматривается как эффективное средство повышения прочности на растяжение и изменение условий образования трещин на всех уровнях его структуры [1].

В специальной литературе отмечается, что повышение прочности фибробетона и снижение усадочных деформации достигается путем обработки волокон смесью силанов, озоном, бихроматом калия и др. [2, 3].

Так, например, американские исследователи установили, что улучшить качество растворов и бетонов, содержащих добавки микрокремнезема и углеродного волокна, можно с помощью поверхностной обработки этих добавок силанами и раствором бихромата калия [3].

В связи с этим в лаборатории ПГУАС была изучена прочность цементного камня и высокопрочный фибробетон на основе полиамидного волокна Rhoximat NIL фирмы Rodia и полиакрилового волокна фирмы Ricem. Для выявления степени влияния вида и дозировки волокон на прочность цементного камня были использованы 4 вида волокон, отличающихся соотношением l/d: полиакриловые волокна длиной 4 мм с l/d = 160, длиной 6 мм, для которых l/d = 240, длиной 8 мм и соотношением l/d = 320, а также длиной 12 мм и l/d = 480.

Для приготовления опытных образцов использовался портландцемент марки ПЦ500-Д0-Н ОАО «Вольскцемент».

В ходе проведенных экспериментов были определены прочность на сжатие и растяжение, а также ряд других физико-механических показателей растворов, приготовленных с обработанным силанами и бихроматом калия микрокремнеземом. Было зафиксировано, что показатели образцов с обработанным растворами микрокремнеземом превышают аналогичные показатели образцов с необработанным микрокремнеземом. Это явление объясняется повышением прочности сцепления между цементом и микрокремнеземом в результате обработки последнего растворами силанов и бихроматом калия [3].

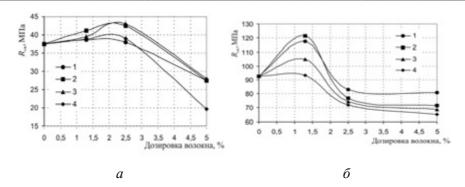


Рис. 1. Нормативная прочность цементного камня в зависимости от содержания и длины волокна: a — прочность при сжатии; δ — то же на растяжение при изгибе; l — волокно длиной 4 мм; 2 — волокно длиной 6 мм; 3 — волокно длиной 8 мм; 4 — волокно длиной 12 мм

В результате эксперимента было установлено, что суточная прочность цементного камня контрольного состава без волокон составляет 37 и 50 МПа. При дозировке полиакриловых волокон 1,3 % их прочность при длине 4, 6, 8, 12 мм увеличивается на 3,22, 9,1, 5,1, 1,3 % соответственно. Максимальная суточная прочность цементного камня при данной дозировке составила 41,25 МПа, она обеспечивалась на волокнах длиной 6 мм. Данная закономерность прослеживается и при дозировке волокон 2,5 % — при длине 6 мм получено значение 42,5 МПа. Оптимальное значение суточной прочности при данной дозировке было получено на волокнах длиной 8 мм — 43,0 МПа, что на 12,8 % выше, чем прочность контрольного образца. Также было выявлено понижение суточной прочности цементного камня при использовании волокон разной длины с дозировкой 5 %. При использовании волокон длиной 4, 6, 8, 12 мм образцы имели прочность 27,5, 27,5, 28,0, 19,75 МПа соответственно.

Нормативная прочность цементного камня контрольного состава без волокон составляет 92,50 МПа. Установленные ранее закономерности полностью подтвердились и после 28 суток выдержки. Максимальная нормативная прочность цементного камня — 121,5 МПа — была получена на волокнах длиной 6 мм при дозировке 1,3 %. На волокнах длиной 4, 6, 8 мм прочность по сравнению с нормативным образцом без волокон при данной дозировке увеличивается на 21,3, 23,9, 11,9 % соответственно. При использовании волокон 4 мм была получена прочность 117,5 МПа, а при 8 мм — 105,0 МПа. Также выявлено, что при использовании волокон длиной 12 мм прочность снизилась до 90,0 МПа (это ниже, чем значение прочности контрольного образца без волокон).

При дозировке 2,5 % оптимальное значение прочности было получено при использовании волокон длиной 4 мм — 83,0 МПа, что также ниже значения прочности контрольного образца.

Эксперименты показали, что наличие в составе цементных образцов полиамидных волокон способствует значительному повышению прочности на растяжение при изгибе. Так, для контрольного состава прочность бетона при изгибе составляет 4,8 МПа, а для бетона, армированного волокнами, достигает: 10,08 МПа при длине волокна 4 мм; 9,25 МПа — при длине 6 мм; 7,87 МПа при длине 8 мм и 6,93 МПа — при длине 12 мм (дозировка волок-

на — 1 %). При дальнейшем увеличении дозировки волокна наблюдается понижение прочности на растяжение при изгибе. Наиболее характерные кривые изменения нормативной прочности цементного камня изображены на рис. 1.

Наблюдаемое уменьшение прочности цементного камня по мере увеличения длины используемых волокон обусловлено, вероятно, уменьшением процентного содержания волокна в плоскости сечения разрушения и понижением прочности сцепления на границе «волокно — цементная матриц».

Существует понятие критической длины волокна $L_{\rm кp}$, для которой напряжение, воспринимаемое собственно волокном в композиции, возрастает и при $L=L_{\rm kp}$ становится равным прочности волокна. Критическая длина волокна $L_{\rm kp}$ зависит от исходной длины волокна и его диаметра, а также прочности сцепления на границе «волокно — матрица» в соответствии со следующей формой [4]:

$$L_{ ext{\tiny KP}} = rac{0.5\sigma}{R_{ ext{\tiny CII}}d_{ ext{\tiny CD}}},$$

где σ — усредненная прочность волокна; $d_{\rm cp}$ — средний диаметр волокна; $R_{\rm cq}$ — прочность сцепления на границе «волокно — матрица».

Обработка волокон силанами дороже, чем обработка бихроматом калия, однако является наиболее эффективной. Поцесс обработки наполнителей силанами состоит из трех основных стадии, а именно: нанесение силана с достаточным перемешиванием, выдержка в течение достаточного времени для протекания реакции гидролиза силан — вода и хорошего распределения силана в наполнителе и, наконец, удаление побочных продуктов реакции за счет термообработки или длительной выдержки [5].

В ходе данного исследования было изучено влияние поверхностной обработки углеродного волокна на свойства фиброцемента, содержащего эти волокна. Испытания фиброцементных образцов показали, что наличие в их составе углеродного волокна способствовало повышению прочности на растяжение и модуля упругости образцов. При этом наиболее значительные результаты были достигнуты при поверхностной обработке волокна. Лучшими характеристиками обладали образцы, у которых были обработаны и углеродные волокна, и микрокремнезем.

Учитывая высокую стоимость силанов, для обработки поверхности полиакриловых волокон Ricem нами был выбран бихромат калия. Бихромат калия представляет собой крупные однородные кристаллы, цвет которых варьируется от светло-оранжевого до темно-красного. Он обладает высокой растворимостью в воде. Выпускается высшего и первого сорта по ГОСТ 2652-78. Продукт пожаро- и взрывобезопасен, токсичен (относится к вредным веществам 1-го класса опасности в соответствии с ГОСТ 12.01.007—76).

Последовательность обработки бихроматом калия заключалась в следующем. На первом этапе кристаллы бихромата калия растворялись в этилацетате. Волокна в течении 2-х часов при температуре 60 °C обрабатывали полученным раствором и проводили фильтрование. На втором этапе обработанное волокно промывали водой и в течение 6 часов высушивали при температуре $110\,^{\circ}\mathrm{C}$.

В результате проведенных опытов было изучено влияние обработки волокон на прочность цементного камня. Данные, полученные в результате эксперимента, приведены в табл.

Кинетика набора прочности цементного камня, армированного
полиакриловым волокном Ricem и обработанного бихроматом калия

п/п	Наличие об- работки волокна		Дозировка волокна,	Прочность при сжатии в возрасте, МПа			
		MM	%	1 сут	3 сут	28 сут	
			_	41,75	74,87	90,12	
		6	0,5	43,75	84,37	123,60	
	Обработаны	6	0,5	45,5	98,25	133	

Суточная прочность цементного камня контрольного состава без волокон составила 41,25 МПа, а с волокнами без обработки — 43,75 МПа. Обработка волокон бихроматом калия, позволяет получить более высокую прочность на сжатие у цементного камня — 45,5 МПа. На 3-и сутки данная закономерность сохраняется, цементный камень с необработанными волокнами имеет прочность 84,37 МПа, а при обработке волокон прочность увеличивается до 98,25 МПа, что составляет 14,15 % прироста прочности. Если оценивать нормативную прочность на 28-е сутки, то выявленная ранее закономерность полностью подтверждается (рис. 2).

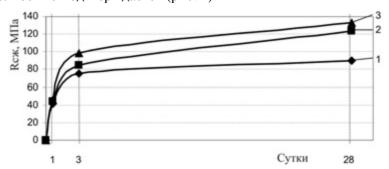


Рис. 2. Кинетика набора прочности цементного камня, армированного полиакриловыми волокнами Ricem и обработанного бихроматом калия: I — контрольный без волокна; 2 — с необработанным полиакриловым волокном; 3 — с волокном, обработанным бихроматом калия

Таким образом, обработка волокон бихроматом калия, дает возможность повысить прочность цементного камня на сжатие. Так, образец без волокон имеет прочность 90,12 МПа, с необработанными волокнами — 123,6 МПа, а при обработке прочность образцов увеличилась до 133,0 МПа. При обработке поверхности волокон бихроматом калия прочность цементного камня увеличилась на 7,1 % по сравнению с цементным камнем, волокна которого не подверглись обработке, что объясняется повышенным сцеплением обработанных волокон с цементным камнем.

У образцов, изготовленных с углеродным волокном, подвергшимся обработке бихроматом калия и силанами, наблюдалось снижение усадочных деформаций. При этом в наибольшей степени усадочные деформации образцов снижались при использовании силанов (независимо от возраста образцов).

На основании представленных данных можно сделать вывод, что обрабатывать силанами или бихроматом калия целесообразно не только волокна, но и наполнители для бетонов [3]. При этом взаимодействие между наполни-

телями, обработанными силанами, и различного типа полимерами приводит к улучшению свойств композитов в различных направлениях:

повышение прочности на изгиб и разрыв, повышение стойкости к царапанию и к ударным нагрузкам;

облегчение распределения, приводящее к более высокому наполнению и снижению стоимости;.

улучшение равномерности физических свойств;

улучшение перерабатываемости.

Успешно обработаны силанами были следующие материалы: оксид алюминия, алюминиевый порошок, асбест, оксид титана, оксид железа, стеклянные волокна, оксид хрома, кварц, песок, кремнеземы, минеральная вата и другие [3].

Силановые связующие агенты, как правило, будут работать в большинстве случаев. Но наилучшим образом они будут взаимодействовать с кремнийсодержащими субстратами и системами, содержащими значительную долю наполнителя, где велика область пограничного слоя между органическими компонентами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. *Чернышов Е. М., Дьяченко Е. И., Коротких Д. И.* Анализ энергетических характеристик разрушения строительных композиционных материалов с многоуровневым дисперсным армированием // Пятые академические чтения РААСН. Воронеж. С. 534—535.
- 2. Демьянова В. С., Миненко Е. Ю. Усадка бетона с органоминеральными добавками // Строй-инфо. 2003. № 13.
- 3. *Хун Д. Л.* Свойства бетонов, содержащих микрокремнезем и углеродное волокно, обработанное силанами // Экспесс-информация. Вып. 1. 2001. С. 33—37.
- 4. *Василик П. Г.*, *Голубев И. В.* Применение волокон в сухих строительных смесях // Строительные материалы. 2002. № 9. С. 26—27.
- 5. Yunsheng Xu, Chung D. L. Cement-based materials imporoved by surface-treated admix tures // ASI Materials Journal. 2000. Vol. 97. № 3. P. 333—342.
- 1. *Chernyshov E. M., D'yachenko E. I., Korotkikh D. I.* Analiz energeticheskikh kharakteristik razrusheniya stroitel'nykh kompozitsionnykh materialov s mnogourovnevym dispersnym armirovaniem // Pyatye akademicheskie chteniya RAASN. Voronezh. S. 534—535.
- 2. *Dem'yanova V. S., Minenko E. Yu.* Usadka betona s organomineral'nymi dobavkami // Stroyinfo. 2003. № 13.
- 3. *Khun D. L.* Svoystva betonov, soderzhashchikh mikrokremnezem i uglerodnoe volokno, obrabo-tannoe silanami // Ekspess-informatsiya. Vyp. 1. 2001. S. 33—37.
- 4. *Vasilik P. G.*, *Golubev I. V.* Primenenie volokon v sukhikh stroitel'nykh smesyakh // Stroitel'nye materialy. 2002. № 9. S. 26—27.
- 5. *Yunsheng Xu, Chung D. L.* Cement-based materials imporoved by surface-treated admix tures // ASI Materials Journal. 2000. Vol. 97. № 3. P. 333—342.

© Миненко Е. Ю., Грачева Ю. В., Кижватова Т. С., 2012

Поступила в редакцию в ноябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Миненко Е. Ю., Грачева Ю. В., Кижватова Т. С. Повышение прочности цементного камня путем обработки полиактилового волокна // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 143—147.

УДК 691.32

Х. А. Хежев

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Предложена сырьевая смесь для изготовления гипсотуфобетона, обеспечивающая уменьшение удельного расхода гипсового вяжущего на 30,5...31,7 % без снижения прочности гипсобетона, разработаны эффективные теплоогнезащитные гипсовермикулитотуфобетоны и цементовермикулитотуфобетоны, приведены результаты исследований огнестойкости двухслойных армоцементных элементов с применением предложенных составов, выполнено технико-экономическое сравнение перегородок и теплоогнезащитных штукатурок с применением гипсосолержащих композитов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гипсотуфобетон, гипсовермикулитотуфобетоны, цементовермикулитотуфобетон.

The author proposes raw mix for production of gypsum tuffcrete that helps to decrease specific expenses of gypsum bonder by 30,5...31,7 % not reducing gypsum concrete stability. Effective heat and fire protective gypsum vermiculite tuffcrete and cement vermiculite tuffcrete are developed. The research results of fire protective characteristics of two-layer ferro-cement elements with the use of suggested composition are given in the article. Technical and economical comparison of dividing walls and heat and fire protective plaster with the use of gypsum containing composites is carried out.

K e y w o r d s: gypsum tuffcrete, gypsum vermiculite tuffcrete, cement vermiculite tuffcrete.

Применение материалов и изделий на гипсовых вяжущих дает возможность снизить себестоимость строительства. Для уменьшения расхода гипсового вяжущего и уменьшения деформации изделий при сушке в формовочную массу вводятся органические или неорганические заполнители [1]. Но, как правило, заполнители в той или иной степени снижают механическую прочность гипсобетонных изделий. Введение органических заполнителей, даже в малых дозах, увеличивает водопотребность гипсовой смеси на 15...20 %, что соответственно удлиняет процесс сушки изделия и резко снижает (на 20...50 %) прочность на сжатие. Кроме того, ухудшаются звукоизоляционные свойства, что нежелательно для таких видов изделий, как перегородочные плиты и панели. Неорганические заполнители — песок, зола, шлаки и др. — обусловливают значительно лучшие показатели физикомеханических свойств гипсобетона. При их использовании в меньшей степени снижается механическая прочность гипсовых элементов и выше атмосферостойкость стеновых элементов.

Нами разработаны гипсосодержащие композиты различного назначения с применением вулканических горных пород Кабардино-Балкарии, обеспечивающих уменьшение удельного расхода гипсового вяжущего без снижения прочности и замедление сроков схватывания гипсобетона, а также повышение их теплоогнезащитных свойств.

В качестве исходного сырья и компонентов для исследований использовались:

гипсовое вяжущее «Gipsell» производства ООО «Каббалкгипс» марки Г4-II-А по ГОСТ 125—79 с характеристиками по ГОСТ 23789—79: тонкость помола —12,7 %; нормальная густота — 50 %; сроки схватывания: начало —

5 мин, конец — 8 мин; предел прочности при сжатии и изгибе соответственно — 4.1 и 2.0 МПа;

воздушная негашеная известь кальциевая порошкообразная 3 сорта Заюковского месторождения по ГОСТ 9179—77 с характеристиками по ГОСТ 22688 —77: содержание активных окисей кальция и магния CaO + MgO — 71 %; температура гашения — 85 °C; время гашения — 30 мин; ПЦ500-Д0 производства ЗАО «Кавказцемент»;

песок из отходов пиления вулканического туфа Заюковского месторождения с максимальной крупностью зерен 5 мм, соответствующий требованиям ГОСТ 9758—86;

вспученный вермикулит Ковдорского месторождения с насыпной плотностью $140~{\rm kr/m}^3$ и максимальной крупностью зерен 5 мм;

поверхностно-активная воздухововлекающая добавка СДО.

Известно, что туфовый песок является пуццоланом и обладает скрытой гидравлической активностью. Поэтому в качестве возбудителя скрытой гидравлической активности туфового песка использовалась негашеная известь. Кроме того, следует отметить, что применяемый полуводный гипс также является возбудителем скрытой гидравлической активности туфового заполнителя.

В результате исследований разработаны гипсобетонные композиты с применением гипса, туфового песка и негашеной извести, которые обеспечивают уменьшение удельного расхода вяжущего без снижения прочности гипсобетона (табл. 1) [2].

Таблица 1 Влияние соотношений гипса, туфового песка и негашеной извести на физико-механические свойства гипсобетона

Соотношение компонентов в смеси, % Показатели свойств гипсобетона											
Соотн	ошение ком	понентов в	смеси, %	показатели своиств гипсоостона							
				средняя	предел	прочнос	ти при				
гипс	туфовый	известь	вода	плот-	сжати	сжатии, МПа, в возрасте, сут					
THIC	песок	повеств	води	ность,	р						
				кг/м ³	1	7	28				
1	2	3	4	5	6	7	8				
67,0	_	_	33,0	1232	4,1	10,2	10,4				
35,0	35,0	_	30,0	1307	2,1	4,3	4,8				
33,0	33,0	4,9	29,1	1340	2,3	6,7	9,0				
31,7	31,7	7,9	28,7	1350	2,9	6,8	10,3				
30,5	30,5	10,6	28,4	1364	2,9	7,1	11,0				
29,3	29,3	13,2	28,2	1371	2,4	6,5	9,7				
24,3	48,6	_	27,1	1387	0,6	2,5	3,2				
23,1	46,2	3,5	27,2	1381	0,6	2,9	4,0				
22,5	45,0	5,6	26,9	1391	0,7	3,8	6,0				
21,7	43,4	7,6	27,3	1385	0,6	3,7	5,6				

Для уменьшения плотности гипсобетонов, а также для разработки огнезащитных составов используют вспученный вермикулит и перлит [3].

Целесообразность использования отходов пиления вулканического туфа в качестве заполнителя теплоогнезащитного раствора и бетона обусловлена высокой огнеупорностью 1200—1280 °C, пористостью, кроме того, пылевидные фракции туфового песка являются активной гидравлической добавкой, снижающей расход вяжущего.

Нами предложены эффективные теплоогнезащитные гипсобетоны с применением гипса, негашеной извести, вспученного вермикулита, туфового песка и поверхностно-активной воздухововлекающей добавки СДО (табл. 2) [4].

Приготовление гипсобетонной смеси осуществляли в смесителе принудительного действия, в котором после подачи воды с добавкой СДО последовательно загружали смесь гипса и извести, затем туфового песка и вспученного вермикулита или предварительно перемешанную всухую смесь гипса, негашеной извести, туфового песка и вспученного вермикулита. Перемешивание всех компонентов продолжали до получения однородной огнезащитной сырьевой смеси. Продолжительность перемешивания смеси составляла 1,5...2 мин. Образцы-балочки размером $4 \times 4 \times 16$ см из гипсобетонных составов формовались литьевым способом.

Таблица 2 Соотношения компонентов в смеси и физико-механические свойства гипсобетонных теплоогнезацитных составов

	Coo	гношени	е компонен	нтов в смес	си, мас. %	Сред-	Пред	дел
№ co-	Гина	Вер-	Туфо- вый	Иорости	CHO	няя плот-	прочности, МПа	
ставо	Гипс	МИ-	выи песок	Известь	СДО	ность	На	На
В		кулит	HECOK			ρ, κг/м ³	сжатие	изгиб
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	66,6	33,4	l	_		730	1,6	1,1
2	21,7	33,4	33,3	11,5	0,1	720	1,65	1,1
3	50	50		_		540	0,9	0,6
4	14,6	50	22,5	7,83	0,07	540	0,85	0,6

Из табл. 2 видно, что предлагаемые составы при одинаковой плотности и прочности на сжатие и изгиб теплоогнезащитного бетона позволяют существенно сократить расход гипса. Использование негашеной извести в качестве возбудителя скрытой гидравлической активности туфового песка позволяет уменьшить расход гипса в 2 и более раза без снижения прочности огнезащитного бетона. Кроме того, замедляются сроки схватывания, и повышается коэффициент размягчения гипсового бетона

Для исследования огнезащитной эффективности предлагаемых составов формовались армоцементные плиты с огнезащитным слоем. Армоцементный слой формовали на стандартной виброплощадке, фиксацию мелкоячеистой сетки и стержневой арматуры выполняли известными способами. Огнезащитный слой формовали литьевым способом и осуществляли естественную сушку в воздушно-сухих условиях.

Испытания на огнестойкость проводили на образцах размерами 190×190 мм на электрической печи в горизонтальном положении по температурному режиму «стандартного» пожара, регламентированному ГОСТ 30247.0—94. Предел огнестойкости по несущей способности, R, армоцементных плит оценивали по прогреву тканой сетки в конструктивном слое (на границе слоев) до $300\,^{\circ}$ С. Влажности мелкозернистого бетона армоцементного слоя и огнезащитного состава к моменту испытаний составляли соответственно $3...4\,$ и $8...10\,$ %. Во время огневых испытаний двухслойных элементов нарушений их целостности не обнаружено.

В табл. 3 приведены результаты испытаний на огнестойкость армоцементных плит с огнезащитным слоем на основе контрольных и предлагаемых составов. Предлагаемые составы обеспечивают более высокие пределы огнестойкости армоцементных плит. Наиболее высокими огнезащитными свойствами обладают составы со средней плотностью 540 кг/м³.

Таким образом, применение в огнезащитных составах на пористых заполнителях отходов пиления вулканического туфа, извести-кипелки и СДО позволяет существенно сократить расход гипса при одновременном повышении их огнезащитных свойств.

Таблица 3 Результаты испытаний на огнестойкость двухслойных армоцементных плит

	Двухслойные арм	оцементные плиты	№ огнеза	Предел огнестойко- сти плит, мин		
No	_		щит-	по не-	по тепло-	
<u>№</u>	армоцементный	огнезащитный	ных	сущей	изоли-	
образцов	слой толщиной,	слой толщиной,	co-	спо-	рующей	
	MM	MM	ставо	собно-	способно-	
			В	сти <i>R</i>	cти E	
1	2	3	4	5	6	
1	20	15	1	42	47	
2	20	15	2	62	65	
3	20	20	2	200	80	
4	20	25	2	240	97	
5	20	15	3	48	50	
6	20	15	4	68	70	
7	20	20	4	220	87	
8	20	25	4	260	107	

Разработан теплоогнезащитнй бетон на портландцементе, имеющий повышенную водостойкость, прочностные характеристики и огнезащитные свойства (табл. 4) [5]. В качестве возбудителя скрытой гидравлической активности туфового песка использовались известь-кипелка и полуводный гипс.

Из табл. 4 следует, что предлагаемые составы 4...9 при меньшем расходе портландцемента имеют равную плотность и прочность на сжатие к контрольным составам 1...3, что обусловлено пористостью и гидравлической активностью отходов пиления вулканического туфа, а также воздухововлечением СДО. Использование негашеной извести и гипса в качестве возбудителя скрытой гидравлической активности туфового песка позволяет уменьшить расход цемента в 2 раза без снижения прочности огнезащитного раствора.

В табл. 5 приведены результаты испытаний на огнестойкость армоцементных плит с огнезащитным слоем на основе контрольных и предлагаемых составов.

Таблица 4 Соотношения компонентов в смеси и физико-механические свойства теплоогнезащитных составов на портландцементе

	_							1	Т
	C	Соотноц	пение ком	понентс	в в смес	и, мас. 9	6	Сред-	Предел
№ coc- та- вов	Це- мент	Вер- ми- ку- лит	Туфо- вый песок	Из- весть	Гипс	СДО	Во-да	няя плот- ность р, кг/м ³	проч- ности на сжа- тие <i>R</i> , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	26,1	14,8	_	ı	_	_	59,1	500	1,3
2	33,0	13,6	-	I	_	_	53,4	595	1,7
3	42,8	11,7	_	ı	_	_	45,5	740	4,0
4	23,8	16,8	5,8	_	_	0,08	53,5	480	1,2
							2		
5	29,0	14,8	7,3	_	_	0,1	48,8	570	1,6
6	35,8	12,3	9,1	_	_	0,13	42,6	730	3,9
							7		
7	11,9	16,8	5,8	11,9	0,5	0,08	53,0	470	1,25
							2		
8	14,5	14,8	7,3	14,5	0,6	0,1	48,2	560	1,62
9	17,9	12,3	9,1	17,9	0,7	0,13	41,9	720	4,0
							7		

Таблица 5 $\ensuremath{\textit{Результаты}}$ испытаний на огнестойкость двухслойных армоцементных плит

	Двухслойные а	рмоцементные		Предел ог	нестойкости
	пли	ТЫ		пли	т, мин
№ образцов	армоцементный слой толщиной, мм	огнезащитный слой толщи- ной, мм	№ огнеза- щитных составов	по не- сущей способ- ности <i>R</i>	по тепло- изоли- рующей способно- сти <i>E</i>
1	2	3	4	5	6
1	20	15	1	58	64
2	20	15	2	62	75
3	20	15	3	52	58
4	20	20	2	153	92
5	20	25	2	270	170
6	20	15	4	74	78
7	20	15	5	78	90
8	20	15	6	66	69
9	20	20	5	174	111
10	20	25	5	318	201
11	20	15	7	78	82
12	20	15	8	84	95
13	20	15	9	70	76
14	20	20	8	182	119
15	20	25	8	332	216

Из табл. 5 видно, что предлагаемые составы обеспечивают более высокие пределы огнестойкости армоцементных плит. Наиболее высокими огнезащитными свойствами обладают составы со средней плотностью $560...570 \, \mathrm{kr/m}^3$.

Для определения экономической эффективности разработанных гипсосодержащих композитов выполнено сравнение $1 \, \mathrm{m}^2$ перегородок и теплоогнезащитных штукатурок по стоимости материалов.

Стоимость материалов, кроме стоимости туфового песка, определяли по отпускной цене завода-изготовителя (табл. 6).

Таблица 6 Наименование материала, его стоимость, завод-изготовитель и стоимость

Наименование материала 1 Строительный гипс	Завод-изготовитель 2 ОАО «Хабезский гипсовый завод» Карачаево-Черкесской республики	Стоимость 1 кг материала, р. 3 4,1
Портландцемент ПЦ- 50-ДО	ЗАО «Кавказцемент», г. Черкесск	2,8
Известь комовая нега- шеная	ОАО «Владикавказский известковый комбинат»	2,1
Вспученный вермику- лит ВВТ-150	ЗАО «Слюдяная фабрика», г. Колпино Ленинградской области	11,3
Туфовый песок	Отходы пиления камней Заюковского туфкарьера	0,25
Смола древесная омыленная 50 %	ООО «Спектрострой», г. Москва	54

C использованием результатов экспериментальных исследований определяем расход материалов на 1 M^3 различных видов бетона (табл. 7).

Таблица 7 $\it Pacxod$ материалов на 1 $\it M^3$ гипсосодержащего бетона

№	Вид бетона	Сред-		Pac	ход мате	риала, кг		
вари-		РИМ	Гипс	Це-	Из-	Ту-	Вер-	СДО
антов		ПЛОТ-		мент	весть	фовы	мику-	
		ность ρ, кг/м ³				й пе-	ЛИТ	
1	2	3	4	5	6	<u>сок</u> 7	8	9
1	Гипсобетон	1232	1026	_	_	_	_	_
	(эталон)							
2	Гипсотуфобе-	1350	540	_	135	540	_	_
	тон (предла-							
	гаемый)	720	115			225	22.5	0.5
3	Гипсовермику-	720	146	_	77	225	225	0,7
	литотуфобетон							
	(предлагаемый)							ļ
4	Цементоверми-	720	8	197	197	100	136	1,3
	кулитотуфобе-							
	тон (предла-							
	гаемый)							

Определяем стоимость материалов на 1 м^2 перегородок при толщине 80 мм (табл. 8).

 $\begin{tabular}{ll} T аблица 8 \\ $Cmouмocmb $ материалов на 1 M^2 перегородок \\ \end{tabular}$

№ вари-			Стоим	ость материа	ала, р.		Стоимость	
антов	Гипс	Це-	е- Из- Туфовый Вер		Верми-	СДО	1 м ² перего-	
		мент	весть	песок	кулит		родки	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	336	_	-	_	-	-	336,0	
2	173	_	22,7	10,8	_	_	206,5	
3	48	_	13	4,5	203,4	6	274,9	
4	2,5	44	33	2	123,2	10,8	215,5	

Из результатов расчета стоимости 1 м² площади перегородок (табл. 8) следует, что предлагаемые гипсотуфобетонные перегородки являются экономичными. По сравнению с гипсовыми (эталонными) перегородками предлагаемый гипсотуфобетон дешевле на 129 р. 50 коп. без учета стоимости помола негашеной извести. Разработанные гипсовермикулитотуфобетонные и цементовермикулитотуфобетонные составы также эффективнее гипсобетонных для устройства перегородок в условиях Северо-Кавказского региона, но по сравнению с гипсотуфобетонными дороже из-за стоимости затрат на транспортировку вспученного вермикулита. Они будут эффективны в тех регионах, где имеются предприятия по выпуску вспученного вермикулита. Кроме того, при их использовании можно будет уменьшить толщину перегородки, так как гипсовермикулитотуфобетон и цементовермикулитотуфобетон имеют лучшие звукоизоляционные характеристики, чем гипсобетон.

Определяем стоимость материалов на 1 м^2 теплоогнезащитной штукатурки при толщине 20 мм (табл. 9).

 $\ \, T\, a\, б\, \pi\, u\, u\, a\ \, 9$ Стоимость материалов на $1\, {\rm M}^2$ теплоогнезащитной штукатурки

№ вари- антов				Стои- мость 1 м ²			
	Гипс	Це-	Из-	Туфовый	Верми-	СДО	штукатурки
		мент	весть	песок	кулит		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	84	_	_	_	_	_	84,0
2	43,2	_	5,5	2,7	_	_	51,4
3	12	_	3,2	1,1	50,8	1,5	68,6
4	0,6	11	8,2	0,5	30,8	2,7	53,8

Разработанные гипсосодержащие композиты 2...4 дешевле гипсобетона 1 для устройства теплоогнезащитных штукатурок. Композиты с содержанием вспученного вермикулита дороже гипсотуфобетона, но они эффективнее по теплоогнезащитным свойствам, что позволит уменьшить толщину и стоимость штукатурки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Гипс / под ред. В. Б. Ратинова. М. : Стройиздат, 1981. 223 с.
- 2. Патент РФ № 2330823. МПК С04B28/14, С04B14/16, С04B111/20. Сырьевая смесь для изготовления гипсобетона / Т. А Хежев., Х. А Хежев // Бюлл. № 22. 2008.
- 3. Руководство по выполнению огнезащитных и теплоизоляционных штукатурок механизированным способом. М. : Стройиздат, 1977. 46 с.
- 4. Патент РФ № 2385851 МПК С04/65. Сырьевая смесь для изготовления огнезащитного покрытия / Хежев Т.А., Хежев Х.А. // Бюлл. № 10. 2010.
- 5. Патент РФ № 2372314. МПК С04В41/65, С04В38/00, С04В14/20, С04В14/14. 10.11. 2009. Огнезащитная сырьевая смесь / Т.А Хежев., Х.А Хежев // Бюлл. № 10. 2009.
 - 1. Gips / Pod red. V. B. Ratinova. M.: Stroyizdat, 1981. 223 s.
- 2. Patent RF № 2330823. MPK C04B28/14, C04B14/16, C04B111/20. Syr'evaya smes' dlya izgotovleniya gipsobetona / T. A Khezhev., Kh. A Khezhev // Byull. № 22. 2008.
- 3. Rukovodstvo po vypolneniyu ognezashchitnykh i teploizolyatsionnykh shtukaturok mekhanizirovannym sposobom. M.: Stroyizdat, 1977. $46 \mathrm{\ s}$.
- 4. Patent RF № 2385851 MPK S04/65. Syr'evaya smes' dlya izgotovleniya ognezashchitnogo pokrytiya / Khezhev T.A., Khezhev Kh.A. // Byull. № 10. 2010.
- 5. Patent RF № 2372314. MPK C04B41/65, C04B38/00, C04B14/20, C04B14/14. 10.11. 2009. Ognezashchitnaya syr'evaya smes' / T.A Khezhev., Kh.A Khezhev // Byull. № 10. 2009.

©. Хежев Х. А., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

 $\it Xежев X. A.$ Технико-экономическая эффективность гипсосодержащих композитов с прменением вулканических горных пород // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 148—155.

УДК 634.074.433:624.21.09

Ю. Д. Козлов, О. П. Сидельникова

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

В промышленных и сельскохозяйственных предприятиях должны применяться специальные материалы, обладающие высокой стойкостью при эксплуатации в агрессивных средах. На практике химические и агрессивные отходы приводят к достаточно быстрому разрушению традиционных покрытий, что ведет к значительным материальным затратам.

Для упрочнения древесных волокнистых покрытий разработана технология радиационного модифицирования спрессованных древесных отходов. Предлагаемый модифицированный материал успешно выдерживает длительную эксплуатацию.

K л ю ч е в ы е с л о в а: волокнистые плиты, радиационное модифицирование, пропитка, прессование, радиационно-химический аппарат, древесные отходы, агрессивная среда, физико-химические показатели.

In manufacturing and agricultural enterprises special materials of high resistance at operation in aggressive environment must be used. In practice chemical and aggressive wastes lead to a rather fast wrecking of traditional surfaces and this causes significant expenses.

To harden wood flock finish was developed the technology of radiant modifying of pressed offal timber. The suggested modified material can be successfully used for a long time.

K e y w o r d s: fibre board, radiant modifying, treatment, pressing, radiant chemical apparatus, offal timber, aggressive environment, physical and chemical indexes.

Напольные древесные покрытия промышленных и сельскохозяйственных предприятий должны иметь высокую стойкость к агрессивным средам [1—3]. В цехах химического производства, биологической переработки продуктов, на животноводческих фермах химические соединения отходов оказывают разрушающее воздействие на древесное покрытие. Под воздействием агрессивных сред они быстро разрушаются, требуется частая замена пола, что приводит к значительным экономическим затратам [4].

Значительное место в области переработки и использования отходов промышленности занимают отходы деревообрабатывающей, бумажной промышленности (опилки, стружки, щепа, кора, макулатура, скоп и др.), а также отходы сельскохозяйственного растениеводства (биомасса гречихи, льна, конопли, подсолнечника, горчицы и др.). В Волгоградской области, по нашим подсчетам, такие отходы ежегодно составляют сотни тонн. В них содержится от 12 до 60 % целлюлозы и других ценных компонентов, обеспечивающих при прессовании и обработке достаточные прочностные характеристики строительных материалов без дополнительного введения в состав (в начальной стадии подготовки исходных материалов) различных смол. Это существенно сказывается на экономике производства строительных материалов. Утилизация отходов создает предпосылки к безотходным экономически эффективным производствам. Производство волокнистых радиационномодифицированных плит и изделий с различными наполнителями — высокоэффективное, энергосберегающее, технически целесообразное и экономически оправданное [3].

Отходы древесины или биомассы растений, измельченные до 3...5 мм, подаются через дозаторы в массный бассейн, там перемешиваются с распушенной макулатурой, скопом, пигментом, могут вводиться различные добавки в зависимости от состава сырья и необходимости придания плитам специальных свойств. После перемешивания смесь подается гидросистемой в отливочную машину непрерывного действия, где смесь постепенно обезвоживается. Вода возвращается в массный бассейн для повторного использования.

Отлитый, таким образом, волокнистый ковер в поддонах транспортируется в многоэтажный пресс, где одновременно прессуются 20 плит размером $2500 \times 1200 \times 40$ мм. После прессования плиты обладают достаточными прочностными характеристиками (плотность — не менее 900 кг/м³; предел прочности при изгибе — не менее 15 МПа; влажность — не более 6 %; водопоглощение — 85 %; набухание — 60 %) [1].

Плиты обрезаются по размеру и часть укладывается роботом в кассеты для дальнейшей переработки, другая часть подается на склад готовой продукции. Плиты в кассетах транспортируются для загрузки в радиационно-химический аппарат (PXA), представляющий собой герметичную емкость размером $2550 \times 1550 \times 300$ мм.

РХА имеет вводы для подачи инертного газа, создания форвакуума и подачи пропитывающих составов. Заполненный РХА направляется в пропиточную камеру и далее, после пропитки, подается в рабочую камеру на гаммаустановку для облучения. Для пропитки плит могут использоваться виниловые мономеры [1].

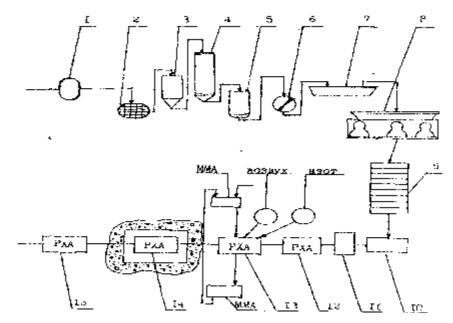
Пропитка осуществляется при подаче мономера или смеси его с красителями, антипиринами, антисептиками, бактериостатическими средствами. Мономер и другие компоненты подаются из складских емкостей через расходные емкости, после которых устанавливаются мешалки. Пропитка может быть полной, частичной или поверхностной. При полной пропитке в РХА подают максимальное количество пропиточного состава с учетом предельного веса полимера, при частичной пропитке количество полимера используется меньше предельного количества, при поверхностной пропитке мономер проникает лишь в поверхностные слои изделия. Привес мономера (% по массе) может быть от 8 до 70.

Пропитка плит может быть многостадийной. Например, если пропиточный состав чувствилен к кислороду воздуха, РХА продувается азотом, а затем вакуумируется. На каждую такую операцию требуется дополнительное время для вакуумирования. После заполнения РХА пропиточным составом давление его поднимается до атмосферного и выдерживается весь период пропитки. По завершении операции пропитки остаток пропиточного состава сливается в промежуточный сборник, в РХА поддерживается инертная среда.

Схема технологического процесса производства волокнистых радиационно-модифицированных плит с использованием γ -установки показана на рис. [1].

Физико-технические свойства плит зависят от состава смеси, применяемого полимера, глубины пропитки, механизма воздействия полимеросновы (немодифицированной) плиты и характеристики излучения (мощность дозы, поглощенная доза). Радиационно-модифицированные волокнистые плиты могут применяться для покрытий полов в животноводческих помещениях, а также в жилых, производственных помещениях и для кровли зданий вместо шифера, в качестве конструкционного материала для обшивки стен и перегородок, изготовления мебели, дверных проемов и встроенных шкафов. Эти материалы могут найти применение в других отраслях промышленности. Свойства модифицированных плит характеризуются высокой прочностью, твердостью, низким водопоглощением, малым износом на истирание, устойчивостью к агрессивным воздействием [2,3].

Исследованиями установлено, что модифицированные плиты в животноводческих комплексах не изнашиваются в течение 20—25 лет, на них слабо действуют агрессивные среды.



Технологическая схема производства волокнистых модифицированных плит: 1 — рубильная машина; 2 — грохот; 3 — циклон; 4 — бункер-накопитель; 5 — расходный бункер-дозатор; 6 — гидроразбиватель; 7 — массный бассейн; 8 — отливочная машина; 9 — многоэтажный пресс: 10 — обрезка плит; 11 — укладка плит в кассету; 12 — укладка кассеты с плитами в РХА; 13 — пропитка плит ММА; 14 — облучение плит; 15 — продувка азотом, вскрытие РХА

Основные свойства плит: плотность — не менее 1200 кг/м 3 ; влажность — не более 2 %; водопоглощение по массе за 24 ч — 6 %; набухание по толщине — не более 4 %; предел прочности при изгибе — не менее 40 МПа; степень истираемости — 0,11 г/см 2 ; сопротивление удара — 0,69 Дж/м 3 ; твердость по Бринеллю — 98,1 МПа.

Экономическая эффективность рассмотренной технологии является высокой [1]. При производительности модифицированных плит 600000 м^2 /год (при толщине 5 мм), капитальных затратах около 20 млн. р. и текущих расходах 7 млн. р., себестоимость 1 м^2 составляет не выше 50 р.

Это подтверждает необходимость реализации рассмотренной технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Козлов Ю. Д. и др. Высокие технологии с использованием источников ионизирующих излучений в промышленности. М. : Энергоатомиздат, 2006. 714 с.
- 2. *Рудой В. А.*, *Путилов А. В.* Радиационная технология за рубежом. М. : Энергоатомиздат, 1982. 384 с.
- 3. *Хрулев В. М.* Модифицированная древесина в строительстве. М. : Стройиздат, 1983. 418 с.
- 4. *Делацис Я. А.* Радиационно-химическое модифицирование древесины. Рига : Зинатие, 1985. 235 с.
- 1. *Kozlov Yu. D.* i dr. Vysokie tekhnologii s ispol'zovaniem istochnikov ioniziruyushchikh izlucheniy v promyshlennosti. M. : Energoatomizdat, 2006. 714 s.
- 2. *Rudoy V. A.*, *Putilov A. V.* Radiatsionnaya tekhnologiya za rubezhom. M. : Energoatomizdat, 1982. 384 s.
 - 3. Khrulev V. M. Modifitsirovannaya drevesina v stroitel'stve. M.: Stroyizdat, 1983. 418 s.
- 4. *Delatsis Ya. A.* Radiatsionno-khimicheskoe modifitsirovanie drevesiny. Riga: Zinatie, 1985. 235 s.

© Козлов Ю. Д., Сидельникова О. П., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Козлов Ю. Д., Сидельникова О. П. Технология переработки древесных отходов для использования материалов в агрессивных средах // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 156—159.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.942.2

М. Г. Тарабанов, Д. В. Прилепский

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В ФАКЕЛАХ РАСПЫЛА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ФОРСУНОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КАМЕРАХ ОРОШЕНИЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Описана методика и представлены результаты исследования плотности распределения воды в факелах распыла форсунок камер орошения систем кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: форсуночная камера, центробежная форсунка, гистограмма.

The article describes the method and presents the research results of water distribution density in spray of centrifugal nozzles in irrigation systems of air-conditioning.

Key words: nozzle chamber, centrifugal nozzle, histogram.

Эффективность процессов тепло- и массопереноса в камерах орошения в значительной мере зависит от распределения распыленной жидкости в дождевом объеме камеры, так как именно совокупность взвешенных капель создает поверхность переноса, а размер, скорость и направление движения капель определяют значения локальных коэффициентов переноса.

Очевидно, что распределение капель определяется формой, плотностью и равномерностью распыла единичной форсунки, а также схемой расположения форсунок внутри камеры.

О том, что плотность распределения жидкости в факеле распыла центробежной форсунки очень неравномерна как в радиальном, так и в окружном направлениях, известно давно [1, 2], но причины этого явления четко не сформулированы. Так, в работе [1] указано, что «основными причинами неравномерного распределения жидкости вокруг оси факела являются различные асимметрии распылителя, связанные с его конструкцией (конечное число входных каналов), или качеством его изготовления (эксцентриситет сопла по отношению камеры закручивания, различие в размерах входных каналов, наличие рисок и заусенцев)». Как видно, указанные причины не раскрывают физической сути явления.

Кроме того, большинство публикаций описывают результаты исследований форсунок для распыливания топлива, которые имеют свои конструктивные особенности.

В статье представлены результаты исследования плотности распределения воды в факелах распыла форсунок, применяемых в камерах орошения.

Эксперименты проведены на лабораторном стенде, принципиальная схема которого показана на рис. 1.

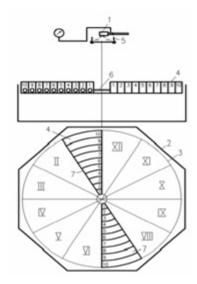


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда для исследования плотности распределения: I — форсунка; 2 — бак; 3 — горизонтальная пластина; 4 — поворотный сборник; 5 — бачок; 6 — втулка; 7 — ячейка сборника

Испытываемую форсунку I закрепляли на подвижной рамке, с помощью которой можно изменять и фиксировать положение форсунки в горизонтальной и вертикальной плоскости. Воду распыливали в сборный бак 2, в котором на горизонтальной пластине 3 установлен поворотный секторный сборник 4 для улавливания воды. Сборник выполнен в виде двух перекрестных секторов с центральным углом 30° . Высота стенок сборника 100 мм. Каждый сектор сборника разделен герметичными перегородками 5 толщиной 0,7 мм по радиусу факела на 10 ячеек шириной по 40 мм.

Испытываемую форсунку устанавливали так, чтобы ось сопла совпала с осью поворота сборника, что контролировали с помощью отвеса.

Количество уловленной воды в каждой ячейке определяли с помощью лабораторных весов и мензурками с ценой деления 1 мл.

Сборник в опытах устанавливали в 12 последовательных положений, т. е. за полный оборот получали по два замера для каждого сектора. Из-за случайного характера процессов распыливания жидкости имеет место некоторый разброс данных по двум замерам, связанный с перераспределением жидкости по соседним секторам, но отклонение данных не превышало 8 %.

Для контроля правильности экспериментальных данных проводили также сравнение ранее определенной в специальных опытах производительности форсунок с производительностью, вычисленной как сумма по каждому сектору. В этом случае также наблюдается некоторое несовпадение данных, но не превышающее $\pm 5\,\%$.

Замеры выполняли в следующей последовательности:

секторный сборник устанавливали на горизонтальной пластине в определенное фиксированное положение в соответствии с нанесенной на пластине разметкой на 12 частей;

подвижный бачок устанавливали под форсункой и включали насос; после стабилизации давления воды перед форсункой подвижный бачок резко отводили в сторону от форсунки и одновременно включали секундомер;

после наполнения секторного сборника подвижный бачок резко подводили под форсунку, выключали секундомер, а затем отключали насос;

с помощью мензурок с ценой деления 1 мл определяли количество воды, уловленной в каждой ячейке сборника;

секторный сборник поворачивали на 30° в следующее фиксированное положение, и все операции повторяли до полного оборота сборника на 360° .

Зная количество воды в ячейке, время ее наполнения и площадь ячейки определяли плотность распределения жидкости по сечению факела распыла. Так как сборник устанавливали последовательно в 12 положений и в каждом секторе сборника — 10 отдельных ячеек, то за полный оборот получали 120 точек замеров в одном опыте.

После того как определен расход жидкости в каждой ячейке, можно вычислить плотность орошения или удельный поток жидкости, r/cm^2 -ч, в каждом сечении по формуле:

$$q = \frac{\Delta G_i}{\Delta f_i} \,. \tag{1}$$

Обычно при определении удельного потока используют секундный расход жидкости через площадку, однако предварительные опыты показали, что величина секундного расхода очень мала. Поэтому для удобства вычислений и большей наглядности при обработке экспериментальных данных используется часовой расход жидкости. Очевидно, что вид графиков при этом не меняется, изменяется лишь масштаб величин, откладываемых по осям координат.

После вычисления плотности орошения на поле чертежа сборника можно нанести 120 точек с указанием величин удельного потока, и затем можно было бы строить изолинии. Однако здесь возникают определенные трудности при выборе места расположения точек, что объясняется случайным характером рассеивания капель после их образования и, следовательно, определенными статистическими отклонениями от вычисленного значения плотности в каждой ячейке. Кроме того, для построения изолиний необходимо интерполировать значения плотности, а это также невозможно выполнить с необходимой точностью без знания закона распределения плотности по сечению факела.

Поэтому нами предложена следующая методика обработки экспериментальных данных, ранее не описанная в специальной литературе.

Вначале по результатам замеров строят гистограммы плотности распределения для каждого сектора сборника. При построении условно принимается, что плотность остается постоянной в пределах ширины каждой ячейки и равна среднему вычисленному значению.

На рис. 2 приведен пример гистограммы для сектора III по результатам испытания форсунки Ц 2-7 при давлении воды 100 кПа и диаметре сопла 5 мм.

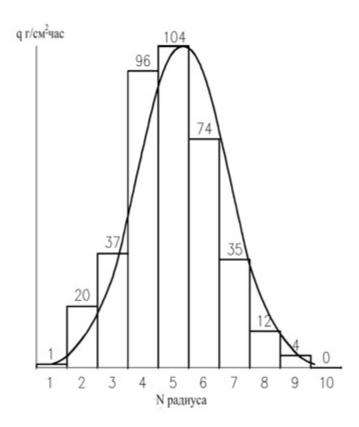


Рис. 2. Гистограммы и график распределения плотности орошения для форсунки Ц 2-7 по радиусу сборника, сектор III

По гистограммам строят графики функций распределения плотности по сечению факела распыла. Отметим, что при сечении графика горизонтальными линиями, соответствующими определенным горизонталям, можно весьма точно определить положение этих горизонталей на плане сборника в радиальном направлении, т. е. относительно центра О.

Теперь необходимо определить положение горизонталей на плане сборника в окружном направлении, и поскольку и здесь сказывается случайный характер процесса распыливания, то также происходит некоторое перераспределение жидкости по секторам. Необходимо отметить, что точное определение положения горизонталей осложняется тем, что длина дуг по каждому радиусу различна, и для решения задачи следует строить отдельные графики для каждого радиуса. Более целесообразно применить упрощение, т. е. считать, что длина дуг разного радиуса изображается одинаковыми отрезками в различном масштабе.

На рис. 3 приведен пример гистограммы для радиусов 4 и 5 при тех же условиях, что и на рис. 2.

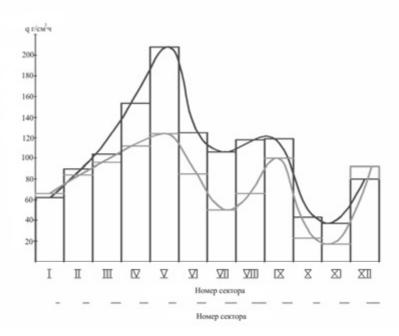


Рис. 3. Гистограммы и графики распределения плотности орошения для форсунки Ц 2-7 d_c = 5,0 мм по 4 и 5 радиусам сектора

По гистограммам строим плавные огибающие кривые, соответствующие радиусам сборника. Следует отметить, что на характер этих кривых, кроме статистического рассеивания капель, влияет также нецилиндричность сопла и его несоосность с камерой закручивания форсунки. Однако в нашей работе влияние этих факторов не изучалось, поскольку в более ранних исследованиях было установлено, что смещение оси сопла относительно оси камеры закручивания приводит к образованию однобокого, струйного распыления жидкости вместо полого конуса.

После построения кривых распределения жидкости по радиусу для всех секторов, а также по секторам для каждого радиуса, можно построить на плане сборника горизонтали, соответствующие линиям постоянной плотности орошения. Такой график дает наиболее наглядное выражение характера распределения жидкости относительно оси сопла центробежной форсунки с тангенциальным каналом.

Построение горизонталей выполняется в следующей последовательности. Определяется максимальный и минимальный уровень горизонталей и выбирается шаг разбивки между ними. Для форсунки Ц 2-7 минимальный уровень принят 5 г/см²-ч, а максимальный — 200 г/см²-ч. Шаг горизонталей принят через 25 г/см²-ч за исключением нижнего ряда (20 г/см²-ч). После этого на графиках распределения проводятся сечения, соответствующие выбранным горизонталям (5,25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 г/см²-ч). Определяются места пересечения горизонталей с графиком распределения по радиусу, уточняется положение горизонтали в секторе, и на плане сборника наносится точка, через которую проходит выбранная горизонталь. В результате на поле плана сборника можно нанести

120 точек с заданной плотностью орошения. Построение самих горизонталей не представляет трудности, для этого лишь необходимо соединить плавными линиями точки равных уровней плотности орошения.

График плотности орошения для форсунки Ц 2-7 приведен на рис. 4.



Рис. 4. Плотность распределения воды, г/см²·ч, в факеле распыла форсунки Ц 2-7: $d_c = 5.0$ мм; А — положение тангенциального канала

Рис. 4 дает объективную и наглядную информацию о плотности распределения воды в факеле распыла центробежной форсунки с одним тангенциальным каналом.

Как правило, в факеле распыла есть четко выраженные зоны с максимальной плотностью орошения и зоны, в которых количество воды значительно меньше. Причем такая картина наблюдается у всех исследованных форсунок, хотя количественные показатели у них конечно отличаются, но положение зон на плане сборника идентично. Анализ показывает, что это связано с положением тангенциального канала на входе в камеру закручивания форсунки. В частности, максимальная плотность наблюдается в секторах, противоположных тангенциальному каналу, и на эту зону приходится около 2/3 от общего количества распыливаемой воды.

Для выяснения причины неравномерного распределения воды, а также для уточнения физической картины течения жидкости в центробежных форсунках и построения их теории важное значение имеют исследования воздушного вихря и толщины пленки жидкости в камере закручивания и на срезе сопла форсунки. До настоящего времени экспериментальные работы по определению указанных характеристик закрученного потока внутри форсунки практически не проводились, что объясняется сложностью выполнения исследований из-за малых размеров форсунки и отсутствием надежной методики эксперимента.

Поэтому при аналитических расчетах толщина пленки жидкости обычно определяется по приближенной формуле (2), полученной для идеальной жидкости:

$$\frac{\delta}{r_{\rm c}} = \frac{1 - \sqrt{1 - \mu \cos \beta}}{\cos \beta},\tag{2}$$

где δ — толщина пленки после выхода из сопла; $r_{\rm c}$ — радиус сопла; μ — коэффициент расхода форсунки.

Формула (2) справедлива при истечении жидкости в виде конической пленки с углом 2 β при вершине и получена из условия равенства расхода жидкости через площадь проходного сечения потока и через площадь отверстия истечения с коэффициентом расхода μ .

Толщина кольцевого потока жидкости на срезе сопла δ_0 непосредственно определяется размером воздушного вихря и может быть выражена через коэффициент заполнения сопла:

$$\delta \delta_0 = (1 - \sqrt{1 - \varphi}) r_c \,, \tag{3}$$

где $\varphi = 1 - r_b^2/r_c^2$; r_b — радиус воздушного вихря на срезе сопла.

При расчетах по формулам (2) и (3) предполагается, что воздушный вихрь в камере закручивания форсунки расположен симметрично относительно оси сопла и, следовательно, толщина кольцевого потока жидкости одинаковая в поперечном сечении. Непосредственная экспериментальная проверка этого предположения до настоящего времени не проводилась, однако анализ представленных выше данных по плотности распределения жидкости по сечению факела распыла центробежных форсунок (особенно с одним тангенциальным каналом) указывает на значительную неравномерность расхода. Это позволяет предположить, что толщина пленки различна в поперечном сечении сопла. Знание толщины пленки имеет важное прикладное значение для анализа качества и тонкости распыливания жидкости центробежными форсунками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Распыливание жидкостей. М.: Машиностроение, 1967.
- 2. Хавкин Ю. И. Центробежные форсунки. Л. : Машиностроение, 1976.
- 3. *Тарабанов М. Г.*, *Видин Ю. В.*, *Бойков Г. П.* Тепло- и массоперенос в камерах орошения кондиционеров. Красноярск, 1974.
 - 1. Raspylivanie zhidkostey. M.: Mashinostroenie, 1967.
 - 2. Khavkin Yu. I. Tsentrobezhnye forsunki. L.: Mashinostroenie, 1976.
- 3. Tarabanov M. G., Vidin Yu. V., Boykov G. P. Teplo- i massoperenos v kamerakh orosheniya konditsionerov. Krasnoyarsk, 1974.

© Тарабанов М. Г., Прилепский Д. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Тарабанов М. Г., Прилепский Д. В. Исследование плотности распределения воды в факелах распыла центробежных форсунок, применяемых в камерах орошения систем кондиционирования воздуха // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 160—166.

УДК 621.6

Н. Н. Осипова

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Приводятся рекомендации по выбору систем газоснабжения населенных пунктов на базе природного или сжиженного углеводородного газа в зависимости от климатической зоны эксплуатации, количества газоснабжаемых квартир, плотности населения на газоснабжаемой территории, характеристики застройки населенных пунктов и вида газоиспользующего оборудования у потребителя.

Ключевые слова: природный газ, сжиженный углеводородный газ, рациональная область применения, система газоснабжения, критическое значение управляющего параметра.

The author gives recommendations on the choice of gas supply systems of settlements based on natural or liquefied petroleum gas depending on the climatic zone of its operation, the number of flats supplied, the population density in the gas supply area, the characteristics of building in the settlements and the type of gas-powered equipment of the consumer.

 $K\,e\,y\,$ words: natural gas, liquefied petroleum gas, the rational application field, the system of gas supply, critical control parameter.

Генеральная схема развития газовой отрасли на период до 2030 года, утверждающая газификацию регионов Российской Федерации преимущественно на природном сетевом газе, предполагает также расширение и развитие альтернативных технологий газоснабжения, в том числе с использованием сжиженного углеводородного газа (СУГ) [1].

В настоящее время распространение получают автономные системы газоснабжения на базе СУГ в Северо-Западном регионе Российской Федерации, Краснодарском крае, Дальневосточном крае и т. д. Данное обстоятельство обусловлено спецификой газификации объектов значительно удаленных от магистралей сетевого природного газа, которая связана с большими затратами на прокладку центральных газовых сетей, что является экономически нецелесообразным. Спрос на СУГ определяется территориальными и климатическими особенностями регионов РФ, величиной площадей территорий, не охваченных сетью магистральных газопроводов, ценами на конкурирующие виды источников тепла (уголь, дизельное топливо, электричество) и т. д. Обладая рядом преимуществ, таких как высокая теплотворная способность, чистота сгорания, удобство хранения и транспортировки, СУГ широко применяется в коммунально-бытовых нуждах населения.

Однако выбор рациональной области применения систем газоснабжения на базе природного или сжиженного газов требует экономического сопоставления возможных вариантов.

В качестве целевых функций данной задачи примем удельные приведенные затраты в соответствующие системы газоснабжения $3_{\rm суr}$ и $3_{\rm nr}$. В качестве базового варианта энергоснабжения принимается газификация природным газом, в качестве альтернативного варианта — газификация сжиженным газом.

Удельные приведенные затраты в газификацию природным газом (на одну газифицируемую квартиру), р./год·кв, согласно [2], имеют вид:

$$3_{\rm nr} = c_{\rm nr} g_{\rm nr} + 3_{\rm mrc} + 3_{\rm nrc} + 3_{\rm ro}, \tag{1}$$

где c_{nr} — удельная стоимость природного газа, р./м³, g_{nr} — годовое потребление природного газа газифицируемой квартирой, м³/год·кв; 3_{mrc} — удельные приведенные затраты в межпоселковую систему газоснабжения, р./год·кв; 3_{mrc} — удельные приведенные затраты в поселковую систему газоснабжения, р./год·кв, определяемые по [3]; 3_{ro} — удельные приведенные затраты в газовое оборудование потребителя, р./год·кв.

Удельные приведенные затраты в газификацию сжиженным газом (на одну газифицируемую квартиру), р./год·кв, согласно [2], имеют вид:

$$3_{\rm cyr} = C_{\rm cyr} g_{\rm cyr} + 3_{\rm rnc} + 3_{\rm ar} + 3_{\rm rpy} + 3_{\rm rpc} + 3_{\rm ro},$$
 (2)

где $c_{\rm суг}$ — удельная стоимость сжиженного газа, р./т; $g_{\rm суг}$ — годовое потребление сжиженного газа газифицируемой квартирой, т/год·кв [4]; $3_{\rm гнc}$ — удельные приведенные затраты по газонаполнительной станции при реализации сжиженного газа, р./год·кв [5]; $3_{\rm ar}$ — удельные приведенные затраты на доставку газа автомобильным транспортом, р./год·кв [5]; $3_{\rm гpy}$ — удельные приведенные затраты в резервуарные установки сжиженного газа, оборудованные электрическими испарителями, р./год·кв [6]; $3_{\rm гpc}$ — удельные приведенные затраты в распределительные газопроводы, определяемые в условиях оптимальной централизации систем снабжения сжиженным газом, р./год·кв [6]; $3_{\rm ro}$ — удельные приведенные затраты на газовое оборудование потребителя, р./год·кв.

Сравнение вариантов систем газоснабжения проводится при условии, что базовый и альтернативный энергоресурс используется в квартирных условиях на все коммунально-бытовые нужды, т. о. удельные приведенные затраты на газовое оборудование потребителя 3_{ro} в обоих вариантах будут одинаковы и их можно исключить из общей структуры затрат.

Преобразовывая выражения (1) и (2), в зависимости от управляющих параметров, и приравнивая полученные затраты по сравниваемым вариантам $3_{\rm пг}=3_{\rm суr}$, определяем критическое значение управляющего параметра $l_{\rm кp}$, при котором альтернативные системы газоснабжения равноценны. Предельная удаленность населенного пункта, от магистрального газопровода $l_{\rm kp}$, км, при котором его целесообразно газифицировать природным газом, определяется по выражению:

$$l_{\rm Kp} = \frac{n((c_{\rm cyr}g_{\rm cyr} - c_{\rm IIT}g_{\rm IIT}) + 3_{\rm rpc} - 3_{\rm IITC} + g_{\rm cyr}(3_{\rm rHc} + 3_{\rm at})) + 3_{\rm rpy}}{3_{\rm sym}},$$
 (3)

где n — количество газифицируемых квартир в населенном пункте, кв; $3_{\text{мгс}}'$ — приведенные затраты на газопровод-отвод, р./год·км; $3_{\text{гнс}}'$ — приведенные затраты по газонаполнительной станции сжиженного газа, р./т; $3_{\text{ат}}'$ — приведенные затраты на доставку газа автомобильным транспортом, р./т; $3_{\text{гру}}'$ — приведенные затраты на резервуарные установки сжиженного газа, оборудованные электрическими испарителями, р./год.

Анализ выражения (3) показывает, если $l > l_{\rm kp}$ ($3_{\rm пr} > 3_{\rm суr}$), то целесообразна газификация сжиженным газом. При $l < l_{\rm kp}$ ($3_{\rm nr} < 3_{\rm сyr}$) целесообразна газификация населенного пункта природным газом.

Для адекватной оценки перспективы газификации населенного пункта на базе одного из рассматриваемых энергоресурсов необходимо учитывать динамику их стоимости. Таким образом, сравнение вариантов необходимо проводить с привязкой к существующим ценам на энергоносители и с учетом их перспективного удорожания при переходе к уровню мировых цен [7]. В целях численной реализации данной задачи (1—3) были проведены расчеты методом вариантных сравнений.

В расчетах использовались следующие исходные данные:

характер застройки населенного пункта многорядная и двухрядная; количество газифицируемых квартир в населенном пункте 150, 100, 50, 15:

плотность населения на газоснабжаемой территории $q = 7,5 \cdot 10^{-3} \dots 0,6 \cdot 10^{-3}$ (площадь приусадебного участка от 4 до 50 соток);

климатическая зона эксплуатации холодная (г. Екатеринбург), теплая (г. Краснодар);

характеристика газоснабжаемых зданий:

коттеджные здания с повышенным уровнем теплозащиты и газовым оборудованием — газовые плиты, водонагреватели и отопительные котлы непрерывного действия (котлы двухцелевого назначения);

усадебные здания с существующим уровнем теплозащиты и газовым оборудованием — газовые плиты и отопительные котлы периодического действия; прокладка межпоселковых газовых сетей среднего давления (базовый вариант) — подземная из полиэтиленовых труб. С учетом возможных нагрузок, вызванных собственной массой трубы и арматуры, предварительным напряженным состоянием газопроводов, температурными перепадами, а также грунтовыми и природными условиями (пучение, просадки, сейсмические воздействия, подработка территорий, оползневые и паводковые явления и др.), диаметр межпоселкового газопровода принимался не меньше 50 мм;

прокладка поселковых распределительных газовых сетей (базовый вариант): среднего давления — подземная из полиэтиленовых труб; низкого давления — надземная из стальных труб по стенам зданий по металлическим опорам высотой 2,5 м;

схема снабжения потребителей сжиженным газом (альтернативный вариант) от групповых резервуарных установок с электрическими регазификаторами СУГ;

характеристика дорожной сети для доставки СУГ потребителям автомобильным транспортом: дороги с асфальтобетонным покрытием — 50 % пути, дороги с переходным типом покрытия — 30 % пути и грунтовые дороги — 20 % пути;

прокладка распределительных газопроводов СУГ низкого давления — подземная из стальных труб.

Результаты решения задачи приводятся в табл. 1 и 2.

T а б л и ц а 1 Критическое значение управляющего параметра $l_{\kappa p}$, км, при газовом оборудовании квартир — газовые плиты и отопительные котлы непрерывного действия (котлы двухцелевого назначения)

Плотность населе-		Вид застройки населенного пункта							
ния на газоснаб-		двухр	ядная		многорядная				
жаемой террито-	Кол	пичество	газоснаб	жаемых	квартир в	населени	ном пунк	ге	
рии q , чел/м 2	150	100	50	15	150	100	50	15	
		Холодная климатическая зона эксплуатации							
$7,5\cdot 10^{-3}$	55	40	21,5	7	53	39	21	6,5	
2,5·10 ⁻³	53	39	21	6	52,5	38	19,5	5,5	
0,6·10 ⁻³	50	38	19	5,5	49	37	18	5	
Теплая климатическая зона эксплуатации									
$7,5\cdot10^{-3}$	36	28	17	5,5	35	27,5	16	4,5	
$2,5\cdot10^{-3}$	34	27	16	4,5	33	26	14,5	4	
0,6.10 ⁻³	32	26	15	4	31,5	25	13,5	3,5	
	Холодн	ная клима	атическая	зона экс	сплуатаци	Ш			
	с учетом	и динами	ки стоим	ости энеј	ргоресурс	ЮВ			
$7,5\cdot10^{-3}$	43	32	16	5	42,5	31	15,5	4,5	
2,5·10 ⁻³	41	31	15	4	41,5	30	14,5	3,5	
$0,6\cdot10^{-3}$	38	28	14,5	3,5	38,5	27,5	14	3	
Теплая климатическ	ая зона э	ксплуата	ции с уче	том дина	амики сто	имости э	нергорес	урсов	
$7,5\cdot10^{-3}$	26	17	9	1,9	24	16,5	8	1,8	
$2,5\cdot10^{-3}$	22	16	8	1,6	21,5	15	7,5	1,5	
0,6·10 ⁻³	21	15	7	1,4	20,5	14	6,5	1,2	

Таблица 2 Критическое значение управляющего параметра $l_{\kappa p}$, км, при газовом оборудовании квартир — газовые плиты и отопительные котлы периодического действия

72 70	Двухря личество 100	ядная газосна6 50	бжаемых 15 иматичес	150	Многор населенн 100	юм пункт 50	re 15			
72 70	личество 100 Холо 52	газосна6 50 одная кли	15 иматичес	150	населенн 100	юм пункт 50				
72 70	100 Холо 52	50 одная клі	15 иматичес	150	100	50				
72 70	Холо	дная клі	иматичес				15			
70	52			кая зона э	теоп путотот					
70		28	0.5		Холодная климатическая зона эксплуатации					
	50		9,5	71	51	27	9			
68		27	9	68	49	26	8,5			
00	48	26	8,5	67	47	25,5	8			
Теплая климатическая зона эксплуатации $7,5\cdot10^{-3}$ 50 37 20 6,5 48 36 19 6 $2,5\cdot10^{-3}$ 47 35 17 6 46 34 18 5,5										
50	37	20	6,5	48	36	19	6			
47	35	17	6	46	34	18	5,5			
46	33	16	5	45	31	15,5	4			
Холодная климатическая зона эксплуатации										
с учетом динамики стоимости энергоресурсов										
58	40	24	7	56	39	23	6,5			
55	39	23	6	53	37	22,5	5			
52	38	21	5,5	51,5	36	20	4,5			
Теплая климатическая зона эксплуатации с учетом динамики стоимости энергоресурсов										
36	24	13	4	35	23,5	12	3,5			
34	22	12	3,5	33	21	11	3			
32	21	11	3	32	20	10,5	2,5			
	50 47 46 Холо, с учето 58 55 52 я зона 36 34	Теплая клима 50 37 47 35 46 33 Холодная клима с учетом динам 58 40 55 39 52 38 я зона эксплуат 36 24 34 22	Теплая климатическая 50 37 20 47 35 17 46 33 16 Холодная климатическ с учетом динамики стои 58 40 24 55 39 23 52 38 21 я зона эксплуатации с учетом динамики стои 36 24 13 34 22 12	Теплая климатическая зона экс 50 37 20 6,5 47 35 17 6 46 33 16 5 Холодная климатическая зона эк учетом динамики стоимости эн 58 40 24 7 55 39 23 6 52 38 21 5,5 я зона эксплуатации с учетом ди 36 24 13 4 34 22 12 3,5	Теплая климатическая зона эксплуатаци 50 37 20 6,5 48 47 35 17 6 46 46 33 16 5 45 Холодная климатическая зона эксплуатаца учетом динамики стоимости энергоресур 58 40 24 7 56 55 39 23 6 53 52 38 21 5,5 51,5 я зона эксплуатации с учетом динамики стабо 36 24 13 4 35 34 22 12 3,5 33	Теплая климатическая зона эксплуатации 50 37 20 6,5 48 36 47 35 17 6 46 34 46 33 16 5 45 31 Холодная климатическая зона эксплуатации сучетом динамики стоимости энергоресурсов 58 40 24 7 56 39 55 39 23 6 53 37 52 38 21 5,5 51,5 36 4 30на эксплуатации с учетом динамики стоимости за зона эксплуатации с учетом динамики стоимости за зона эксплуатации с учетом динамики стоимости за зона эксплуатации с за зона за	Теплая климатическая зона эксплуатации 50 37 20 6,5 48 36 19 47 35 17 6 46 34 18 46 33 16 5 45 31 15,5 Холодная климатическая зона эксплуатации сучетом динамики стоимости энергоресурсов 58 40 24 7 56 39 23 55 39 23 6 53 37 22,5 52 38 21 5,5 51,5 36 20 я зона эксплуатации с учетом динамики стоимости энергорес 36 24 13 4 35 23,5 12 34 22 12 3,5 33 21 11			

Анализ табл. 1 и 2 показывает, что значительное влияние на управляющий параметр, определяющий равенство затрат сравниваемых систем газоснабжения, оказывают количество газоснабжаемых квартир в населенном пункте и климатическая зона эксплуатации. Газоснабжение 150 коттеджных зданий в населенном пункте определяет целесообразность снабжения природным газом при длине межпоселкового газопровода от 55 до 72 км (при газоснабжении 150 зданий усадебного типа). Уменьшение количества газоснабжаемых квартир обусловливает сокращение максимальной длины межпоселкового газопровода с преимуществом снабжения природным газом. Увеличение длины межпоселкового газопровода приводит к соотношению $l > l_{\rm kD}$ ($3_{\rm nr} > 3_{\rm cvr}$), в этом случае газификацию целесообразно проводить на базе сжиженного углеводородного газа. Конкурентоспособность использования сжиженного газа в качестве энергоресурса увеличивается при газоснабжении населенных пунктов с незначительным количеством квартир, что ограничивается значением критической длины межпоселкового газопровода в диапазоне 5...7 км (при газоснабжении 15 коттеджных зданий в холодной климатической зоне эксплуатации) и 8...9,5 км (при газоснабжении 15 зданий усадебного типа при таких же климатических условиях эксплуатации). В умеренно-теплой климатической зоне эксплуатации длина межпоселкового газопровода ограничивается диапазоном 3,5...5,5 км (при газоснабжении 15 коттеджных зданий) и 4...6,5 км (при газоснабжении 15 зданий усадебного типа).

В то же время плотность населения на газоснабжаемой территории и структура застройки населенного пункта оказывают незначительное влияние на управляющий параметр. Так, например, при газоснабжаемии 100 квартир в населенном пункте с плотностью населения на газоснабжаемой территории $q=7,5\cdot10^{-3}$ чел/м² целесообразность применения природного газа определяется протяженностью межпоселкового газопровода до 52 км, при плотности населения на газоснабжаемой территории $q=0,6\cdot10^{-3}$ чел/м² целесообразность применения природного газа определяется протяженностью межпоселкового газопровода до 48 км, разница значений управляющего параметра не превышает 8 %. Аналогичное влияние оказывает структура застройки населенного пункта — разница значений управляющего параметра при двухрядной и многорядной застройке не превышает 9 %.

Динамика стоимости энергетических ресурсов обусловливает в перспективе экономическую привлекательность газификации сжиженным углеводородным газом, так, например, при газификации 50 усадебных зданий в теплой климатической зоне и при их периодическом отоплении целесообразность применения сжиженного углеводородного газа обусловливается длиной межпоселкового газопровода 11...13 км, против 16...21 км при существующей стоимости энергоносителей. При уменьшении количества газоснабжаемых зданий (до 15) целесообразно снабжать населенный пункт сжиженным газом при удаленности от межпоселкового газопровода 1,2...1,9 км (при использовании газового топлива на все коммунально-бытовые нужды).

Анализ полученных результатов и их последующая обработка на компьютере позволили получить i апроксимирующих уравнений для определения критического значения управляющего параметра $l_{\rm kp}$ в зависимости от определяющих факторов: количества газифицируемых квартир и климатической зоны эксплуатации системы газоснабжения. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3 Апроксимирующие уравнения для определения критического значения управляющего параметра $l_{\mbox{\tiny KP}}$, км

Климатическая	Вид газоиспользующего оборудования у потребителя				
зона эксплуата-	Газовые плиты и отопи-	Газовые плиты и отопи-			
ции системы	тельные котлы непрерыв-	тельные котлы периодиче-			
газоснабжения	ного действия (котлы двух-	ского действия			
	целевого назначения)				
	·				
Холодная	$l_{\text{KD}} = -0.125n^2 + 16.33n - 10.75$	$l_{\text{KD}} = 0.5n^2 + 17.97n - 10.13$			
	кр 0,12311 110,5311 10,73	кр 0,511 11,5111 10,13			
Теплая	$l_{\rm KD} = -n^2 + 14,9n - 9,79$	$l_{KD} = -0.08n^2 + 14.82n - 10.54$			
	r	r			
Холодная (с	1 0.09 2 . 12.05 0.22	1 01 2 16 62 10 77			
учетом динами-	$l_{\rm kp} = -0.08n^2 + 12.95n - 9.33$	$l_{\rm kp} = -0.1n^2 + 16.62n - 10.77$			
ки стоимости					
энергоресурсов)					
Теплая (с уче-	$l_{\rm KD} = 0.2n^2 + 6.05n - 4.83$	$l_{KD} = -0.85n^2 + 5.89n - 3.52$			
том динамики	$t_{\rm kp} = 0.2n + 0.03n + 0.03$	$l_{\rm Kp} = -0.03n + 3.09n - 3.32$			
стоимости					
энергоресурсов)					

Уравнения, представленные в табл. 3, позволяют определить значение предельной удаленности населенного пункта, которое обеспечивает равенство затрат по сравниваемым вариантам систем газоснабжения, если $l=l_{\rm kp}$, то системы газоснабжения равноценны. Если населенный пункт находится на расстоянии $l>l_{\rm kp}$, то целесообразна газификация сжиженным газом, если имеется обратное соотношение $l< l_{\rm kp}$ целесообразна газификация населенного пункта природным газом. Уравнения для определения критического значения управляющего параметра с учетом динамики стоимости энергоносителей позволяют оценить в перспективе экономическую привлекательность систем газоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Генеральная схема развития газовой отрасли на период до 2030 года. М. : Минпромэнерго, 2008. 145 с.
- 2. *Курицын Б. Н.* Системы снабжения сжиженным газом : учебное пособие. Саратов : СПИ, 1992. 196 с.
- 3 Курицын Б. Н., Медведева О. Н. Оптимизация распределительных систем газоснабжения малых населенных пунктов // Инженерные системы. 2006. № 3. С. 36—40.
- 4. *Курицын Б. Н., Осипова Н. Н.* Технико-экономическое обоснование систем газоснабжения на базе резервуарных установок сжиженного газа // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 1(22). С. 134—141.
- 5. Осилова Н. Н. Моделирование оптимального функционирования одноступенчатых систем снабжения сжиженным газом на базе газонаполнительных станций // Вестник ТГАСУ. 2010. № 4(29). C. 150—155.
- 6. *Осипова Н. Н.* К выбору оптимальной централизации резервуарных систем снабжения сжиженным газом // Приволжский научный журнал. 2009. № 4. C. 74—79.
- 7. *Осипова Н. Н.* Оптимизация тепловой защиты зданий в условиях динамики стоимости энергоресурсов // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архит. Вып 18(37). 2010. С. 98—104.

- 1. General'naya skhema razvitiya gazovoy otrasli na period do 2030 goda. M. : Minpromenergo, 2008. $145~\rm s.$
- 2. Kuritsyn B. N. Sistemy snabzheniya szhizhennym gazom : uchebnoe posobie. Saratov : SPI, 1992.-196 s.
- 3 *Kuritsyn B. N., Medvedeva O. N.* Optimizatsiya raspredelitel'nykh sistem gazosnabzheniya malykh naselennykh punktov // Inzhenernye sistemy. 2006. N3. S. 36—40.
- 4. Kuritsyn B. N., Osipova N. N. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie sistem gazosnabzheniya na baze rezervuarnykh ustanovok szhizhennogo gaza // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2010. N 1(22). S. 134—141.
- 6. *Osipova N. N.* K vyboru optimal'noy tsentralizatsii rezervuarnykh sistem snabzheniya szhizhennym gazom // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2009. N24. S. 74—79.
- 7. Osipova N. N. Optimizatsiya teplovoy zashchity zdaniy v usloviyakh dinamiki stoimosti energoresursov // Vestnik VolgGASU. Ser. : Str-vo i arkhit. Vyp 18(37). 2010. S. 98—104.

© Осипова Н. Н., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Осипова Н. Н. Выбор рациональной области применения систем газоснабжения при газификации населенных пунктов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 167—173.

УДК 628:511

В. И. Чеботарев, Е. Е. Новгородский

ПОВЫШЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Рассмотрено новое техническое решение, обеспечивающее автоматическое управление гидравлическим режимом системы газораспределения и газопотребления за счет эффективного перераспределения давлений импульсных потоков газа, что значительно повышает безопасность и надежность работы регулятора давления и в целом системы газораспределения.

Ключевые слова: газ, давление, клапан, мембрана, диск, безопасность, надежность, газораспределение, газопотребление.

New engineering solution providing automatic regulation of hydraulic operation of gas supply and gas consumption system at the expense of effective distribution of impulse flow gas pressure is considered. This solution helps to increase significantly the safety and reliability of pressure regulator operation and the whole system.

 $K\,e\,y\,$ w o r d s : gas, pressure, valve, membrane, disc, safety, reliability, gas distribution, gas consumption.

Результаты исследования работы системы газораспределения и газопотребления г. Ростова-на-Дону свидетельствуют о том, что для нее характерны значительные перепады давлений газа и, прежде всего, там, где неустойчиво работают газорегуляторные пункты (ГРП). Обусловлено это тем, что согласно действующим правилам безопасности [1] в ГРП предусмотрена установка предохранительно-сбросного (ПСК) и предохранительно-запорного (ПЗК) клапанов, которые должны автоматически сбрасывать избыточное давление газа в атмосферу и отключать подачу газа в газораспределительную систему при повышении давления газа. При этом уровень срабатывания ПСК составляет 3,45 кПа, а ПКЗ — 3,75 кПа. Любое суточное (ночное время) или сезонное (период с апреля по октябрь) уменьшение потребления газа сопровождается снижением гидравлической устойчивости работы газораспределительной системы, обусловленной срабатыванием предохранительных клапанов. Причем при срабатывании ПСК, что происходит в первую очередь, неустойчивая работа газораспределительной системы дополняется загрязнением приземного слоя атмосферы в зонах непосредственного проживания людей.

Для обеспечения гидравлической устойчивости работы системы газораспределения и газопотребления сотрудниками кафедры отопления, вентиляции и кондиционирования Ростовского государственного строительного университета разработан комбинированный регулятор давления газа [2], предназначенный для управления гидравлическим режимом работы системы газораспределения и газопотребления. Последнее предполагает автоматическое поддержание заданной величины давления газа в точке отбора импульса независимо от любых колебаний его потребления.

Вместо сложной и недостаточно надежной в эксплуатации рычажной конструкции традиционных клапанов, комбинированный регулятор давления содержит пневмопускатель, контрольный регулятор управления и регулятор управления отсечкой газа с фиксатором открытия клапана. Конструктивно посредством импульсных трубок обеспечивается соединение подклапанного

пространства регулятора давления с надмембранными пространствами регулятора контроля управления, регулятора управления и регулятора управления отсечкой газа. В результате обеспечивается эффективное перераспределение давлений импульсов потоков газа над- и подклапанным пространствами, а также над-и подмембранным пространствами регулятора давления.

Для обеспечения безопасности и гидравлической устойчивости системы газораспределения и газопотребления пуск газа в регулятор давления осуществляется пневмопускателем через регулятор контроля. При этом открытие клапана регулятора контроля происходит только при достижении заданного минимального давления газа (например, $P_2 = 2 \, \mathrm{kHa}$) в надмембранном пространстве регулятора контроля. Затем газ по импульсной трубке поступает к открытому клапану регулятора давления, после чего, разделяясь на два потока через два дросселя, попадает в подклапанное и подмембранное пространства регулятора давления. За счет воздействия импульсного давления газа на мембрану регулятора давления происходит открытие основного клапана с подачей газа в систему газоснабжения.

При работе регулятора давления в нормальном режиме (давление газа после регулятора P_2 находится в допустимых пределах) в регуляторе управления отсечкой газа клапан на импульсных линиях, соединяющих надклапанное и надмембранное пространства регулятора давления закрыт.

При возникновении аварийной ситуации, когда давление газа после регулятора превышает верхний предел допустимых значений (например, $P_2 > 3,75$ кПа), в регуляторе управления клапан перекрывает поток импульсного газа P_1 в подмембранное пространство регулятора давления. При этом в регуляторе управления отсечкой газа клапан откроет поступление газа с давлением P_1 из надклапанного пространства в надмембранное пространство регулятора давления. Одновременно в регуляторе давления за счет двух дросселей на импульсных линиях произойдет снижение давления газа с P_1 до P_2 в подмембранном пространстве. Такое перераспределение потоков импульсного газа, характеризующихся разными значениями давлений, обеспечивает плотное закрытие основного клапана, т. е. надежную отсечку газа.

Отсечка газа по нижнему пределу давления газа (например, P_2 < 2 кПа) осуществляется контрольным регулятором управления, вследствие прекращения подачи импульсного потока газа к регулятору управления.

Принципиальное конструктивное решение предложенного комбинированного регулятора давления газа с соединительными импульсными линиями представлено на рис. 1. Принципиальная схема фиксатора клапана регулятора управления осечкой газа при закрытом клапане приведена на рис. 2, а при открытом клапане — на рис. 3.

Комбинированный регулятор давления газа содержит регулятор давления I, контрольный регулятор управления II, регулятор управления III, регулятор управления отсечкой газа IV.

Регулятор давления I включает: клапан 1, шток 2, один конец которого жесткосоединенный с клапаном 1, а второй — с мембраной 3, надмембранное пространство 4; подмембранное пространство 5, надклапанное пространство, подклапанное пространство 7, пневмопускатель 8 на импульсных линиях подмембранного пространства 5 и подклапанного пространства 7 соответственно установлены дроссели 9 и 10.

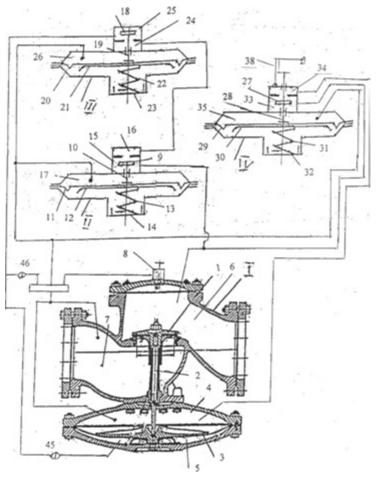


Рис. 1

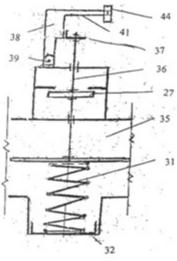


Рис. 2

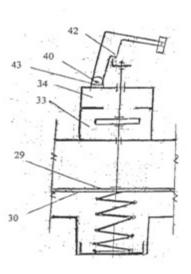


Рис. 3

Контрольный регулятор управления II содержит: перепускной клапан 11, шток 12, один конец которого жесткосоединенный с клапаном 11, а второй — с мембраной 13 и диском 14, нагруженные пружиной 15, заглушкой 16 с резьбой, подклапанное пространство 17, надклапанное пространство 18, надмембранное пространство 19.

Регулятор управления III включает: клапан 20, шток 21, один конец которого жесткосоединенный с клапаном 20, а второй — с мембраной 22 и диском 23, нагруженные пружиной 24, заглушка 25 с резьбой, подклапанное пространство 26, надклапанное пространство 27, надмембранное пространство 28.

Регулятор управления отсечкой газа IV содержит: клапан 29, шток 30, один конец которого жесткосоединенный с клапаном 29, а второй — с мембраной 31 и диском 32, нагруженные пружиной 33, заглушка 34 с резьбой, подклапанное пространство 35, надклапанное пространство 36, надмембранное пространство 37, шток 38 (рис. 2, 3), один конец которого жесткосоединен с клапаном 29, а второй — с горизонтальным ограничителем 39. Вертикальный ограничитель 40 в нижней части имеет отверстие 41 для болта 42, верхняя часть ограничителя 40 имеет горизонтальное положение в виде рычага 43, между горизонтальным рычагом 43 и отверстием 41 предусмотрен выступ 44, который входит в зацепление с горизонтальным ограничителем 39, для крепления вертикального ограничителя 40 имеется два Г-образных кронштейна с отверстиями 45, жесткозакрепленных на корпусе регулятора управления отсечкой газа. На конце рычага 43 установлен противовес (груз) 46.

Для проверки работы регулятора управления отсечки газа, как основного элемента предложенного технического решения, была изготовлена его действующая модель, испытание которой произведено в лабораторных условиях на разных режимах.

Целью проведенных испытаний была проверка надежности отсечки газа за счет перераспределения импульсных потоков газа на базе действующего регулятора давления РДУК-2H-50/35, а также получение эмперических зависимостей для определения величин нагрузок на мембрану регулятора давления, обеспечивающих надежное срабатывание клапана регулятора давления. В результате обработки, полученных при проведении испытаний данных, получены следующие зависимости.

Нагрузка на мембрану, кг, комбинированного регулятора давления газа при давлении газа P_1 в надмембранном пространстве:

$$G_1 = 0.08(d)^2 \cdot P_1. \tag{1}$$

Нагрузка на мембрану, кг, комбинированного регулятора давления газа при давлении газа P_2 в подмембранном пространстве:

$$G_2 = 0.08(d)^2 \cdot P_2. \tag{2}$$

Итоговая нагрузка на клапан регулятора давления газа:

$$\Delta G = G_1 - G_2,\tag{3}$$

где G_1 — нагрузка на мембрану, кг, регулятора давления при давлении P_1 , когда давление газа после регулятора достигло максимального значения P_2 =3,75 кПа; G_2 — нагрузка на мембрану, кг, регулятора давления при давлении P_2 ; d — диаметр жесткого диска на мембране, м; P_1 — давление газа в надмембранном пространстве, Па; P_2 — давление газа в подмембранном пространстве, Па.

Полученные зависимости показывают, что нагрузка на клапан за счет перераспределения давлений потока импульсного газа имеет соотношение $G_1 > G_2$, что свидетельствует о возможности отказа от установки, помимо комплексного регулятора давления дополнительного ПСК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления (ПБ 12-529-03). Сер. 12. Вып. 4. 2-е изд., доп. М. : НТЦ Промышленная безопасность, 2007. 208 с.
- 2. Патент на полезную модель № 116230 РФ. Регулятор давления газа комбинированный / В. И. Чеботарев, Е. Е. Новгородский. Опубл. 20.05.2012 ; Бюлл. № 14. 4 с.
- 3. Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов. № 116-Ф3 от 21 июля 1997 года.
- 1. Pravila bezopasnosti sistem gazoraspredeleniya i gazopotrebleniya (PB 12-529-03). Ser. 12. Vyp. 4. 2-e izd., dop. M.: NTTs Promyshlennaya bezopasnost', 2007. 208 s.
- 2. Patent na poleznuyu model' № 116230 RF. Regulyator davleniya gaza kombinirovannyy / V. I. Chebotarev, E. E. Novgorodskiy. Opubl. 20.05.2012; Byul. № 14. 4 s.
- 3. Federal'nyy zakon o promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob
"ektov. Ne116-FZot 21 iyulya 1997 goda.

© Чеботарев В. И., Новгородский Е. Е., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

 $\begin{subarray}{l} \begin{subarray}{l} \be$

УДК 621.644.07:531.2:532.11

Е. В. Рыжков, В. М. Рыжков

О ВЛИЯНИИ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ НА ИЗГИБ ТРУБОПРОВОДОВ

Рассматриваются вопросы расчета криволинейных участков трубопроводов методами строительной механики. Получена формула внешней погонной нагрузки, эквивалентной влиянию внутреннего давления на изгиб трубопроводов.

К л ю ч е в ы е $\,$ с л о в а : расчет трубопроводов, изгиб труб, внутреннее давление, погонная нагрузка.

The authors consider the issues of calculation of curved pipeline by the method of structural mechanics. The formula for external linear load equivalent to the inner pressure influence on pipeline curve was determined.

Key words: calculation for pipeline, pipeline curve, inner pressure, linear load.

Развитие передовых технологий в нефтехимической промышленности, совершенствование методов добычи нефти и газа предполагают увеличение давления в трубопроводах различного назначения. Например, для повышения нефтеотдачи нефтяных пластов применяется метод водогазового воздействия, при котором закачка газа в пласты осуществляется при давлении 40 МПа (Новогоднее нефтяное месторождение в Западной Сибири).

В строительных нормах и методических указаниях [1—4] приводятся методы статического расчета трубопроводов, которые в упрощенном изложении сводятся к следующему:

1. По величине внутреннего давления подбирается толщина стенки элементов трубопровода $t: t \ge t_R + C$,

где t_R — расчетная толщина стенки трубы.

$$C = C_1 + C_2,$$

 C_1 — технологическая прибавка, принимаемая равной минусовому отклонению толщины стенки по стандартам и техническим условиям; C_2 — прибавка на коррозию и износ, принимаемая по нормам проектирования или отраслевым нормативным документам с учетом расчетного срока эксплуатации.

Расчетная толщина стенки t_R элемента трубопровода вычисляется по формулам, основанным на известном решении теории упругости (см. формулу (46) в [5]) при полярно-симметричном распределении напряжений:

$$\sigma_{\theta} = a^2 P \frac{1 + \frac{b^2}{r_i^2}}{b^2 - a^2} \le \left[\sigma\right],$$

где σ_{θ} — кольцевое напряжение в волокне стенки трубы, расположенном на расстоянии r_i от нейтральной оси трубы ($a \le r_i \le b$); a, b — соответственно внутренний и наружный радиус трубы; P — расчетное давление в трубе; $t_R = b - a$; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение.

2. Выполняется проверочный расчет трубопроводов на прочность с учетом нагрузок и воздействий, возникающих при строительстве, испытании и эксплуатации. Внутренние силовые факторы: σ_z — осевое напряжение от дополнительных нагрузок, приведенное к нормальной температуре, и τ — касательные напряжения в расчетных сечениях трубопровода определятся методами строительной механики стержневых систем.

Внешние статические нагрузки рассматриваются как сосредоточенные или равномерно распределенные. Наряду с ними в расчетах статически неопределимых стержневых систем учитываются деформационные воздействия, вызванные температурными удлинениями, смещением опор или оборудования, а также предварительной растяжкой трубопровода.

Далее проводится проверка по одной из теорий прочности, где учитывается сложное напряженное состояние материала стенки трубы (σ_{θ} , σ_{z} , τ).

Таким образом, в настоящее время величина внутреннего давления в трубопроводе встречается только в формулах для вычисления кольцевого напряжения σ_{θ} и никак не влияет на величины σ_{z} и τ .

Чтобы прояснить, так ли это, вырежем из прямолинейного участка трубы двумя плоскостями, перпендикулярными нейтральной оси трубы, кольцо длиной dz (см. рис.1). Каждому элементарному участку внутренней поверхности трубы $d\omega = ds \cdot dz$, на который действует сила $dP = P \cdot d\omega$, соответствует такой же участок, симметричный относительно центра сечения трубы — точки О, где сила $dP = P \ d\omega$ действует в противоположном направлении. Силы компенсируют друг друга, и на изгиб трубы в этом случае давление никак не влияет. Например, полярно-симметричная задача теории упругости.

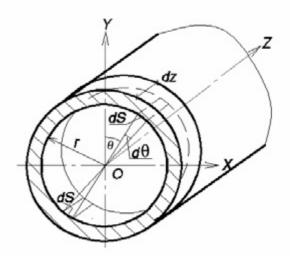


Рис. 1. Расчетная схема прямолинейного участка

Совсем иное положение наблюдается на криволинейных участках трубопровода. Рассмотрим изогнутую трубу — кольцевой отвод на 90° с радиусом изгиба нейтральной оси R и вырежем из него сегмент двумя плоскостями, проходящими через ось изгиба, перпендикулярными нейтральной оси отвода и повернутыми относительно друг друга на угол $d\alpha$, как показано на рис. 2.

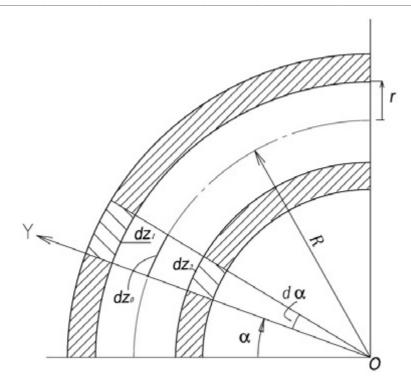


Рис. 2. Расчетная схема отвода

Следует отметить, что $dZ_1 > dZ_2$ (рис. 2), а вся площадь внутренней поверхности сегмента отвода, расположенной слева от оси X (рис. 3, вид 1-1), назовем ее поверхностью внешнего радиуса, больше аналогичной площади поверхности внутреннего радиуса, расположенной справа от оси X. Поэтому тождественной компенсации усилий от действия внутреннего давления на криволинейном участке трубы наблюдаться не будет.

На рис. 3 показан выделенный секущими плоскостями сегмент отвода, где можно видеть, что высота сегмента линейно зависит от расстояния до оси изгиба.

Для поверхности внутреннего радиуса высота кольца $dz^{\text{вн}}$ в сечении, расположенном под углом θ к оси X равна:

$$dz^{\text{BH}} = (R - L_1)da = (R - r\sin\theta)da$$
, $ds = rd\theta$.

Площадь элементарной площадки:

$$d\omega^{\text{\tiny BH}} = dz^{\text{\tiny BH}} ds = (R - r\sin\theta) r d\theta da,$$

а усилие от давления

$$d\mathbf{P}^{\mathrm{BH}} = P\omega^{\mathrm{BH}} = P(R - r\sin\theta)rd\theta da. \tag{1}$$

Для симметричной относительно оси X элементарной площадки поверхности внешнего радиуса

$$dz^{\text{BIII}} = (R + L_2) \cdot da = (R + r\sin\theta) da$$
, $ds = rd\theta$;

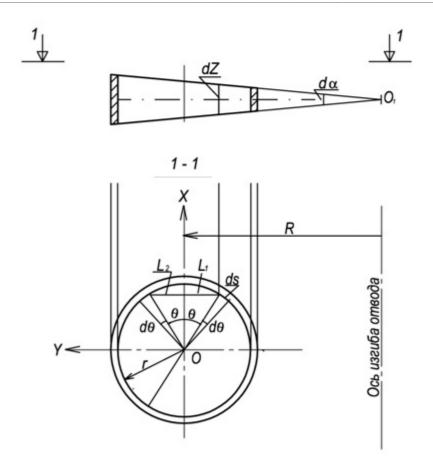


Рис. 3. К определению высоты кольца отвода

площадь элементарной площадки:

$$d\omega^{\text{BIII}} = dz^{\text{BIII}} ds = (R + r\sin\theta) r d\theta da;$$

усилие от внутреннего давления:

$$dP^{\text{BIII}} = Pd\omega^{\text{BIII}} = P(R + r\sin\theta)rd\theta da. \tag{2}$$

Элементарные усилия dP^i действуют по направлению углов θ , отсчитываемых от оси X по часовой стрелке для поверхности внутреннего радиуса и против часовой — для поверхности внешнего радиуса ($0 \le \theta \le \pi$).

Разложим усилия по направлению местных координатных осей XOY (рис. 4):

$$dP_x = dP \cdot \cos\theta; \ dP_y = dP \cdot \sin\theta.$$

В связи с тем, что вырезанное кольцо симметрично относительно оси Y, каждая сила dP_x имеет симметричную, равную по значению, но противоположно направленную силу (на рис. 4 — сила $dP_x^{\rm BH}$), которые уравновешивают друг друга.

Относительно оси X симметрии не наблюдается, поэтому определим:

$$dP^{\text{BH}}_{y} = dP^{\text{BH}} \sin \theta = Pd\omega^{\text{BH}} \sin \theta = P(R - r \sin \theta) \sin \theta r d\theta da. \tag{3}$$

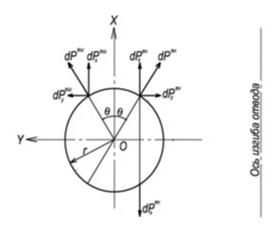


Рис. 4. Разложение сил по координатным осям

Вычислим суммарную разницу в усилиях в направлении оси ОУ от внутреннего давления, действующего на поверхность внешнего и внутреннего радиуса выделенного кольца, для чего проинтегрируем выражение (3) по θ в интервале от 0 до π :

$$P_{y0} = \int_{0}^{\pi} dP_{y0} = \int_{0}^{\pi} 2Pr^{2} da \sin^{2}\theta d\theta =$$

$$= 2Pr^{2} da \int_{0}^{\pi} \sin^{2}\theta d\theta da = 2r^{2} da \frac{\pi}{2} =$$

$$= P\pi r^{2} da = PAda,$$
(4)

где $A = \pi r^2$ — площадь внутреннего поперечного сечения трубы.

Расчетная схема трубопроводов в строительной механике строится по нейтральной оси трубы. В выделенном сегменте, где вычислялась величина P_{v0} , длина нейтральной оси равна dZ_0 (см. рис. 2):

$$dZ_0 = R \ d\alpha \ . \tag{5}$$

Следовательно, чтобы вычислить погонную нагрузку, требуется разделить выражение (4) на выражение (5):

$$dZ_0 = R \cdot d\alpha$$
;

Сокращая, окончательно получаем:

$$q = \frac{P_{y0}}{dZ_0} = P \cdot A \cdot \frac{da}{R \cdot da}.$$

Сокращая, окончательно получаем:

$$q = P\frac{A}{R}. (6)$$

Формула (6) получена при рассмотрении отвода круглого сечения с постоянным радиусом изгиба нейтральной оси сечения ($R={\rm const}$), находящегося под постоянным давлением ($P={\rm const}$). Выражение (6) справедливо и для участков трубопроводов переменной кривизны R=R(z) с произвольной формой сечения (A=var) и переменным давлением P=P(z). Конечно, рассматривались гладкие функции изменения параметров формулы (6), имеющие производные включительно до второго порядка.

На основании вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

при расчете трубопроводов методами строительной механики, на криволинейных участках необходимо учитывать внутреннее давление в трубе, действие которого эквивалентно внешней погонной нагрузке q, прямо пропорциональной давлению, площади поперечного сечения и обратно пропорциональной радиусу изгиба;

погонная нагрузка q прилагается к нейтральной оси трубопровода и направлена перпендикулярно к ней в направлении от центра изгиба (нагрузка стремится разогнуть криволинейный участок).

Чтобы численно оценить величину этой нагрузки, рассмотрим несколько примеров:

Пример 1. Пожарный отвод диаметром 51мм (площадь поперечного сечения $A = 20 \text{ cm}^2$) находится под давлением $P = 1 \text{ M}\Pi \text{a} \ (10 \text{ кгс/см}^2)$ имеет радиус кривизны R = 100 cm. Определяем погонную разгибающую нагрузку:

$$q = PA/R = 10 \text{ kgc/cm}^2 \cdot 20 \text{ cm}^2 / 100 \text{ cm} = 2 \text{ kgc/cm} = 200 \text{ kgc/m}.$$

Становится понятным, почему пожарные, даже вдвоем или втроем, порой не могут удержать пожарный ствол, а для пожарных установок высокого давления изготавливают лафетные стволы.

Пример 2. Для газопровода высокого давления на Новогоднем месторождении использована труба $146\times20\,$ мм (площадь внутреннего сечения $A=88\,$ см²). Давление в трубе $P=40\,$ МПа ($400\,$ кгс/см²). В проекте предусмотрены отводы с радиусом гиба (изгиба) $R=2DN\approx30\,$ см. Погонная нагрузка, разгибающая отвод, равна:

$$q = P A/R = 400 \text{ kgc/cm}^2$$
. 88 cm²/30 cm = 1173 kgc/cm.

Для сравнения: погонный вес трубы 146.20 равен p = 0.62 кгс/см, нормами в расчетах предусмотрен обязательный учет собственного веса.

Учет влияния внутреннего давления на изгиб криволинейных участков позволит уточнить расчетную схему трубопроводов в части нагружений, добавив эквивалентную погонную нагрузку (6), что может существенно повлиять на величину вычисляемых напряжений в стенке трубы σ_z и τ .

Полученные зависимости могут применяться и в расчетах пневматических конструкций, дополнив существующие методы расчета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. РТМ 38.001—94. Указания по расчету на прочность и вибрацию технологических стальных трубопроводов / Минтопэнерго РФ. М. : ВНИИПИнефть, 1994. 93 с.
- 2. СНиП 2.04.12—86. Расчет на прочность стальных трубопроводов / Госстрой СССР. М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 16 с.
- 3. СНиП 2.05.06—85*. Магистральные трубопроводы / Госстрой СССР. М. : ВНИИСТ Миннефтегазстроя СССР, 1985. 71 с.

- 4. СП 34-116—97. Инструкция по проектированию, строительству и реконструкции промысловых нефтегазопроводов / Минтопэнерго РФ. М. : ВНИИСТ, 1997. 206 с.
 - 5. *Тимошенко С. П., Гудьер Дж.* Теория упругости . М. : Наука, 1975. 576 с.
- 1. RTM 38.001—94. Ukazaniya po raschetu na prochnost' i vibratsiyu tekhnologicheskikh stal'nykh truboprovodov / Mintopenergo RF. M. : VNIIPIneft', 1994. 93 s.
- 2. SNiP 2.04.12—86. Raschet na prochnosť staľnykh truboprovodov / Gosstroy SSSR. M. : TsITP Gosstroya SSSR, 1986. $16~\rm s$.
- 3. SNiP 2.05.06—85*. Magistral'nye truboprovody / Gosstroy SSSR. M. : VNIIST Minneftegazstroya SSSR, 1985. 71 s.
- 4. SP 34-116—97. Instruktsiya po proektirovaniyu, stroitel'stvu i rekonstruktsii promyslovykh neftegazoprovodov / Mintopenergo RF. M.: VNIIST, 1997. 206 s.
 - 5. Timoshenko S. P., Gud'er Dzh. Teoriya uprugosti . M.: Nauka, 1975. 576 s.

© Рыжков Е. В., Рыжков В. М., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Рыжков Е. В., Рыжков В. М. О влиянии внутреннего давления на изгиб трубопроводов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 179—185.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ДК 532.517.4+66.081.6+543.454

Л. В. Боронина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТУРБУЛЕНТНОЙ ПУЛЬСАЦИИ НА КОНЦЕНТРАЦИОННУЮ ПОЛЯРИЗАЦИЮ МЕМБРАН

Путем моделирования гидродинамического движения в трубчатых мембранных аппаратах показано влияние пульсирующего движения на концентрационную поляризацию мембран. Отмечается, что рост осадка на поверхности мембраны ведет к росту гидродинамического сопротивления, установлены важнейшие параметры импульсной ультрафильтрации.

K л ю ч е в ы е с л о в а : гидродинамическое движение, мембрана, пульсация, концентрационная поляризация.

In the work the influence of the pulsating motion on concentration polarization of membranes is shown by modeling hydrodynamic motion in tubular membrane apparatus. It is noted that the growth of the precipitate on the membrane surface results in increase of hydrodynamic resistance, the most important parameters of pulsed ultrafiltration are set.

K e y w o r d s: hydrodynamic motion, membrane, pulsation, concentration polarization.

В большинстве мембранных аппаратов движение жидкости происходит неравномерно [1]. В потоке можно выделить несколько зон:

зоны наибольших скоростей, где попавшая в них жидкость обгоняет основную часть потока и проходит сквозь устройство быстрее;

зоны циркуляции, в которых жидкость многократно обращается, прежде чем выйти из аппарата; эти порции жидкости находятся в аппарате намного дольше, чем весь поток в среднем;

застойные зоны, в которых жидкость почти не движется, а ее обмен веществом с остальными частями потока осуществляется, в основном, за счет диффузии.

Однако в жидкости возникает внутреннее трение, при этом наличие сопротивления перемещению одной части относительно другой приводит к рассечению в виде теплоты, затраченной на это перемещение. Данная модель более близка к натуральному описанию динамики реального процесса. Уравнение текучести вязкой жидкости для прямолинейного ламинарного движения сводится к пропорциональности между касательной компонентой тензора напряжений (трения) τ и поперечной к направлению потока производной скорости сдвига — касательной компонентой скорости деформации du/dy [2]:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \,. \tag{1}$$

Используя уравнения динамики сплошных сред «в напряжениях» [2, с. 59], система уравнений в векторной форме принимает следующий вид:

$$\frac{dV}{dt} + (V \cdot \nabla)V = F - \frac{1}{p} \operatorname{grad} p + \upsilon \nabla^2 V,$$

$$\operatorname{div} V = 0 \tag{2}$$

В трубчатом аппарате с горизонтальным течением происходит непрерывное расслаивание. Модель такого аппарата основана на зонном протекании всего процесса [3, с. 172]. В основе лежат уравнения числа частиц с учетом их коалесценции и распределения по размерам. Исходная смесь в количестве G_0 поступает в аппарат, где она по мере горизонтального течения разделяется на два слоя: верхний легкий слой, объемом G_1 и нижний тяжелый, в количестве G_2 . Модель движения жидкой фазы в зоне стесненного движения описывается уравнением неразрывности, определяющим скорость движения частиц.

При рассмотрении гидродинамических процессов, происходящих в мембранных аппаратах, установлено, что при увеличении концентрации тяжелого слоя (концентрата) на поверхности мембраны при постоянном давлении скорость фильтрования снижается [4].

Еще одним фактором, снижающим интенсивность баромембранных технологий, является концентрационная поляризация, заключающаяся в повышении концентрации задерживаемых мембраной частиц у ее поверхности [5].

Важнейшим этапом развития мембранных технологий было снижение концентрационной поляризации при организации тангенциального течения жидкости вдоль поверхности мембран. Роль данного течения состоит в том, что задерживаемые мембранные частицы непрерывно удаляются, увлекаясь потоком жидкости, в результате чего ослабляется процесс накопления частиц вблизи поверхности мембраны — в зоне концентрационной поляризации. В ламинарном и турбулентном режимах течения действует еще дополнительный механизм, связанный с броуновской и турбулентной диффузией [6].

В связи с этим, возникает необходимость в новом подходе при изучении процесса ультрафильтрации на примере движения потока жидкости с турбулентными пульсациями при переменном давлении, способном увеличить скорость фильтрования. Подобный процесс называется импульсной (пульсирующей) ультрафильтрацией по аналогии с пульсирующим потоком [7].

Как известно, при турбулентных пульсациях создается интенсивное движение частиц, пропорциональное градиенту их концентрации в направлении ее убывания. Важнейшими характеристиками турбулентности являются масштаб турбулентных пульсаций I и средняя пульсационная скорость u. По аналогии с кинетической теорией газов коэффициент турбулентного обмена представляют как произведение этих величин:

$$D_t = lu. (3)$$

Оба сомножителя в формуле (3) убывают с расстоянием x от поверхности мембраны, так что на некотором характерном расстоянии x^* коэффициент турбулентной диффузии падает до величины, равной коэффициенту броуновской диффузии $D_{\rm B}$.

Поскольку ввиду накопления задерживаемых мембраной примесей их концентрация возрастает с убыванием x, то возникает диффузионный поток, движущийся от поверхности мембраны вглубь раствора. При выполнении условия $x < x^*$ преобладает броуновская диффузия, при $x > x^*$ — турбулентная диффузия. Диффузионный отвод задерживаемых мембраной примесей в поток раствора ограничивает рост их концентрации у поверхности мембраны. Повышенная концентрация примесей у поверхности мембраны определяется балансом потоков примеси к поверхности мембраны (за счет конвекции) и от нее (за счет диффузии).

При повышении скорости фильтрации возрастает концентрационная поляризация, мерой которой является отношение концентрации у поверхности мембраны C_s к концентрации вдали от нее C_0 . С усилением тангенциального течения растет и коэффициент турбулентной диффузии, а следовательно, уменьшается x^* [4].

Таким образом, необходимая для стабилизации концентрационной поляризации величина диффузионного потока обеспечивается при меньшем перепаде концентрации, меньшей величине C_s . С момента начала фильтрации C_s от начального значения C_0 и толщина диффузионного слоя мембраны δ . Рост этих величин постепенно замедляется и наступает насыщение. Рост C_s ограничен достижением концентрации гелеобразования C_r , после чего начинается рост слоя геля [4, 8, 9, 10]. Рост δ замедляется при достижении значений x^* , при которых коэффициент турбулентной диффузии равен коэффициенту броуновской диффузии:

$$D_t(x^*) = D_B. (4)$$

 $D_t(x)$ очень быстро растет в соответствии с законом $D_t = \chi x^3$. Это означает, что перепад концентрации в зоне $x > x^*$ намного меньше, чем в зоне $x < x^*$. Если рост δ и рост C_s ограничен, то это означает наступление стационарного режима. Устанавливается такое значение C_s , что встречный стационарный диффузионный поток компенсирует натекающий поток:

$$\frac{C_S D_B}{x^*} = vC_0. ag{5}$$

При этом нет необходимости в реверсе, ведь рост C_s ограничен. Необходимость возникнет, если:

$$C_{\mathcal{X}} = \frac{vC_0 x^*}{D_B}.$$
(6)

Вследствие увеличения C_0 условие (5) нарушается, т. е.

$$vC_0 > \frac{C_i D_B}{x^*},\tag{7}$$

что приводит к процессу роста геля. Следовательно, реверс или пауза необходимы только при условии (6). При этом рост осадка на поверхности мембраны ведет к увеличению его гидродинамического сопротивления, которое может многократно повысить гидродинамическое сопротивление мембраны. Поэтому важнейшими параметрами импульсной ультрафильтрации являются продолжительность паузы, длительность фильтрации между паузами.

Однако полностью устранить проблему возникновения повышенного гидродинамического сопротивления мембраны при интенсификации тангенциального течения невозможно. В связи с этим необходимо искать новые пути удаления осадка с поверхности мембраны или предотвращения осадкообразования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. *Кичигин В. И*. Моделирование процессов очистки воды : учеб. пособие для вузов. М. : ACB, 2002. 230 с.
- 2. Теория обратного и капиллярного осмоса в тонкопористых мембранах / Б. В. Дерягин, Г. А. Мартынов, В. М. Старов, Н. В. Чураев // Поверхностные силы и граничные слои жидкостей. М.: Наука, 1983. С. 138—162.
 - 3. *Кельцев Н. В.* Основы адсорбционной техники. 2-е изд. М., 1984. 592 с.
- 4. *Жарких Н. И., Шилов В. Н.* Теория обратного осмоса на мембране из заряженных сферических частиц в приближении Дебая // Химия и технология воды. Т. 4. 1982. № 1. С. 3—9.
- 5. *Марцулевич Н. А., Ван Чжань, Флисюк О. М.* Гидродинамические характеристики мембранного аппарата кассетного типа // Журнал прикладной химии. Т. 65. 1992. № 5. С. 136—141
- 6. Каграманов Г. Г., Качаров Р. Г., Дубровин А. А. Исследование очистки водных растворов от катионов с помощью керамических мембран // Химия и технология. 2001. № 1. С. 42—47.
- 7. Импульсная ультрафильтрация / С. С. Духин, В. П. Дубяга, А. В. Листовничий, А. А. Поворов // Химия и технология воды. Т. 5. 1991. № 10. С. 867.
 - 8. Дытнерский Ю. И. Обратный осмос и ультрафильтрация М.: Химия, 1978. 351 с.
- 9. *Золотарев П. П., Колосов Н. В.* Теоретическое описание процесса ультрафильтрации с учетом гелеобразования // Химия и технология воды. Т. 2. 1989. № 1. С. 7—9.
- 10. *Поляков Ю. С.* Ультра- и микрофильтрация в половолоконных аппаратах с образованием осадка на поверхности мембран: автореф. дис... канд. техн. наук. М., 2004. 221 с.
- 1. Kichigin V. I. Modelirovanie protsessov ochistki vody : ucheb. posobie dlya vuzov. M. : ASV, 2002. $230\,\mathrm{s}$.
- 2. Teoriya obratnogo i kapillyarnogo osmosa v tonkoporistykh membranakh / B. V. Deryagin, G. A. Martynov, V. M. Starov, N. V. Churaev // Poverkhnostnye sily i granichnye sloi zhidkostey. M.: Nauka, 1983. S. 138—162.
 - 3. Kel'tsev N. V. Osnovy adsorbtsionnoy tekhniki. 2-e izd. M., 1984. 592 s.
- 4. Zharkikh N. I., Shilov V. N. Teoriya obratnogo osmosa na membrane iz zaryazhennykh sfericheskikh chastits v priblizhenii Debaya // Khimiya i tekhnologiya vody. T. 4. 1982. № 1. S. 3—9
- 5. *Martsulevich N. A., Van Chzhan', Flisyuk O. M.* Gidrodinamicheskie kharakteristiki membrannogo apparata kassetnogo tipa // Zhurnal prikladnoy khimii. T. 65. 1992. № 5. S. 136—141.
- 6. *Kagramanov G. G., Kacharov R. G., Dubrovin A. A.* Issledovanie ochistki vodnykh rastvorov ot kationov s pomoshch'yu keramicheskikh membran // Khimiya i tekhnologiya. 2001. № 1. S. 42—47.
- 7. Impul'snaya ul'trafil'tratsiya / S. S. Dukhin, V. P. Dubyaga, A. V. Listovnichiy, A. A. Povorov // Khimiya i tekhnologiya vody. T. 5. 1991. № 10. S. 867.
 - 8. Dytnerskiy Yu. I. Obratnyy osmos i ul'trafil'tratsiya M.: Khimiya, 1978. 351 s.
- 9. *Zolotarev P. P., Kolosov N. V.* Teoreticheskoe opisanie protsessa ul'trafil'tratsii s uchetom geleobrazovaniya // Khimiya i tekhnologiya vody. T. 2. 1989. № 1. S. 7—9.
- 10. *Polyakov Yu. S.* Ul'tra- i mikrofil'tratsiya v polovolokonnykh apparatakh s obrazovaniem osadka na poverkhnosti membran: avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. M., 2004. 221 s.

© Боронина Л. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Боронина Л. В. Исследование влияния турбулентной пульсации на концентрационную поляризацию мембран // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 186—189.

УДК 66. 081.63: 544.72

Л. В. Боронина

О ПОВЫШЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕМБРАНЫ

Если пренебречь полидисперсностью реальных систем при изучении селективности мембраны, то это приведет к тому, что тонкая фракция частиц перетечет в поры. Если устья поры и частицы заряжены одноименно, электростатическое отталкивание может воспрепятствовать фиксации частицы в устье поры. Это может быть достигнуто и за счет сил отталкивания неэлектростатической природы, например за счет гидрофилизации мембраны.

Представлены результаты экспериментальных исследований мембран из различных гидрофильных материалов, их влияние на осадкообразование. Экспериментально проверена модель процесса мембранной фильтрации воды.

K л ю ч е в ы е с л о в а : мембранное разделение, осадкообразование, поляризационный потенциал, гидрофилизация мембраны.

If to neglect polydispersion of real systems when studying membrane selectivity this will lead to the fact that the thin fraction of particles will flow to interstices. If mouths of an interstice and particles are charged the same, electrostatic pushing away can prevent particle fixing in the interstice mouth. It can be also reached at the expense of forces of pushing away not electrostatic nature, for example, at the expense of a membrane hydrophilization.

In the article the results of pilot studies of membranes from various hydrophile materials, their influence on formation of precipitation are presented. The model of membrane water filtration is experimentally checked.

 $K\,e\,y\,\,w\,o\,r\,d\,s$: membrane division, formation of precipitation, polarization potential, membrane hydrophilization.

При выборе мембран необходимо знать их основные характеристики: задерживающую способность, удельную производительность, селективность, а также химическую стойкость в разных растворах при различных значениях рН. Ряд мембран обладает свойствами усадки (уплотнением структуры мембраны под действием давления). Это может в 2...3 раза изменить их удельную производительность.

При обратноосмотическом процессе опреснения воды увеличение конверсии мембраны возможно до определенного предела, пока при росте содержания солей в концентрате их осмотическое давление не приблизится к давлению питающей воды. В таком случае процесс переноса прекращается. При этом увеличение концентрации компонентов в питающем растворе сокращает выход пермеата и селективность мембраны.

При эксплуатации мембраны с пульсирующим движением раствора происходит падение ее проницаемости за счет накопления осадков на поверхности мембраны. В осадке наблюдается агрегация частиц и их проникновение в поры мембраны. В осадке силы сцепления между слагающими его частицами могут оказаться настолько значительными, что осадок не будет разрушаться посредством диффузионного движения частиц за короткое время паузы. Однако, если превалируют силы отталкивания между частицами, то подобного явления происходить не будет [3, 5].

Силы отталкивания между частицами осадка могут быть различной природы. В работах [2, 6, 7] подробно рассмотрен процесс управления осадкообразованием заряженных частиц в процессе ультрафильтрации.

Если средний размер частиц \overline{a}_3 существенно меньше размера пор, то возможно свободное их прохождение через мембрану или постепенное отложение на поверхности пор и образование порового слоя мембраны. В первом случае не обеспечивается селективность мембраны. Во втором случае селективность обеспечивается, но при этом возможен сильный рост гидродинамического сопротивления. Формируемый после возникновения первого слоя внешний слой мембраны имеет меньшее гидродинамическое сопротивление. Потерянную производительность можно компенсировать увеличением рабочего давления, но это сразу же приведет к увеличению толщины слоя гелевой поляризации.

В процессе мембранной очистки воды с пульсирующим движением раствора в течение паузы пульсации может разрушиться внешний слой, но чисто диффузионного разрушения порового слоя практически не произойдет. Значит, выбор мембраны основывается на сопротивлении среднего размера ее пор \overline{a}_m со средним размером частиц \overline{a}_3 . Очевидно, что если при заданной величине \overline{a}_3 уменьшать \overline{a}_m , то возможности возникновения порового слоя резко снижаются ввиду трудности проникновения частиц в поры. Исследования показывают, что резкий рост селективности при уменьшении размера пор мембраны наступает даже при \overline{a}_m , существенно превышающем \overline{a}_3 .

Если пренебречь полидисперсностью реальных систем при изучении селективности мембраны, то это приведет к тому, что тонкая фракция частиц перетечет в поры, если даже выбор соотношения \overline{a}_m и \overline{a}_3 проведен оптимально. Тогда это явление необходимо рассматривать так, как если бы одна частица перекрывает пору. Практически этот процесс не может быть полным, поэтому, как правило, поставленную задачу решают при частичной закупорке пор.

Если устья поры и частицы заряжены одноименно, то электростатическое отталкивание может воспрепятствовать фиксации частицы в устье поры. Это может быть достигнуто и за счет сил отталкивания неэлектростатической природы, например, за счет гидрофилизации мембраны.

В лабораторных условиях были проведены эксперименты на фильтрах из различных материалов. Автором изучался процесс свободного фильтрования через цилиндрическую мембрану при напоре воды $2,10\times10^5~{\rm H/m^2}.$ Объем фильтруемой воды составил $0,5~{\rm cm^3/c}.$ В табл. 1 представлены результаты испытания мембранных фильтров.

Как видно из полученных результатов, мембраны, выполненные на основе опок, снижают минерализацию на 70...90 %, поэтому направление по созданию мембранных фильтров на основе местных материалов для опреснения воды будет развиваться нами в дальнейшем.

Нами сделана попытка решить задачу математического описания мембранной фильтрации нескольких ионов металлов. Модель заключается в следующем: поскольку ионы металлов имеют определенные отличительные признаки, связанные с их зарядом и ионным радиусом, мы попытались использовать характеристику, которая носит название «поляризационный потенциал»,

т. е. отношение заряда к квадрату ионного радиуса:
$$p = \frac{z}{r^2}$$
, где r — радиус иона (A^0) ; z — заряд иона $[3,7]$.

Таблица 1 Показатели качества воды по минерализации на различных мембранных фильтрах

110 кизители кичестви воові по минеринизиции пи ризличных меморинных филотрих										
Исходная	Минерализация, г/дм ³									
концентра-	Na	Cl		CI	Na ₂	SO_4	Na ₂	CO_3	NaF	ICO ₃
ция раство-	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2
ра, г/дм ³				***						
Опока ^{***} + цемент										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,10	0,15	0,05	0,07	0,08	0,15	0,05	0,15	0,05	0,15	0,05
0,50	1,40	0,06	0,20	0,30	1,40	0,06	1,40	0,06	1,40	0,06
2,0	3,60	0,40	0,40	0,60	3,60	0,40	3,60	0,40	3,60	0,40
10,0	18,0	2,0	3,0	7,0	18,0	2,0	18,0	2,0	18,0	2,0
20,0	36,0	4,0	8,0	12,0	36,0	4,0	36,0	4,0	36,0	4,0
50,0	90,0	10,0	20,0	30,0	90,0	10,0	90,0	10,0	90,0	10,0
Тонкоразмолотый кварцевый										
T,										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,10	0,12	0,08	0,08	0,02	0,12	0,08	0,12	0,08	0,12	0,08
0,50	0,80	0,20	0,40	0,10	0,80	0,20	0,80	0,20	0,80	0,20
2,0	3,0	1,0	1,5	0,50	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0
10,0	16,0	4,0	7,0	3,0	16,0	4,0	16,0	4,0	16,0	4,0
20,0	30,0	10,0	15,0	5,0	30,0	10,0	30,0	10,0	30,0	10,0
50,0	35,0	15,0	30,0	20,0	35,0	15,0	35,0	15,0	35,0	15,0
Красна	я глина, і	материа	л для кр	асного	кирпича	а, прока:	пивание	при 10	00 °C	I
Красная глина, материал для красного кирпича, прокаливание при 1000 °C										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,10	0,11	0,09	0,11	0,09	0,11	0,09	0,11	0,09	0,11	0,09
2,0	2Д	1,9	2,1	1,9	2,1	1,0	2,1	1,0	2,1	1,0
10,0	11,0	2,0	11,0	9,0	11,0	9,0	11,0	9,0	11,0	9,0
20,0	21,0	19,0	21,0	19,0	21,0	19,0	21,0	19,0	21,0	19,0
50,0	49,0	40,0	43,0	41,0	49,0	41,0	49,0	41,0	49,0	41,0
•										
	l						l	l	l	I

Примечания. 1^* — значение минерализации до фильтрующей мембраны, 2^{**} — значение минерализации после фильтрующей мембраны, *** опока Красноярского месторождения Астраханской области.

Если это так, то энергия притяжения ионов может быть в каждом случае оценена именно через эти характеристики. Суммарная константа фильтрации многих ионов, записанная нами как K, может быть оценена через индивидуальные константы, которые записываются нами как общая констан-

та, умноженная на коэффициент
$$a_j$$
 , где $a_j = \frac{p_i}{\sum p_i}$.

Сложная задача моделирования фильтрации i компонентов может быть решена с использованием хорошо известных относительных поляризационных потенциалов [4, 8].

Сам подход такого типа получил экспериментальную проверку при изучении адсорбции ионов Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Fe^{2+} на мембране из опок Красноярского месторождения Астраханской области [1].

Была изучена адсорбция ионов Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} при температуре 25 °C. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2 Шкала относительных поляризационных потенциалов некоторых ионов металлов

Ион	Потенциал В	Ион	Потенциал В	Ион	Потенциал В	Ион	Потенциал В
Li ⁺	0,40	Be ²⁺	1,01	\mathbf{B}^{3+}	1,75	Ge ⁴⁺	1,91
Na ⁺	0,38	Mg^{2+}	0,83	Al^{3+}	1,31	Sn ⁴⁺	1,71
K +	0,32	Ca ²⁺	0,66	Sc ³⁺	1,08	Pb ⁴⁺	1,78
Rb ⁺	0,31	Sr ²⁺	0,61	Y^{3+}	0,96	Mo ⁶⁺	2,77
Cs ⁺	0,29	Ba ²⁺	0,56	La ³⁺	0,84		
Ag ⁺	0,56	Pt ²⁺	1,01	Tl ³⁺	1,38		
Au +	0,68	Ge ²⁺	0,88	As^{3+}	1,39		
		Sn ²⁺	0,181	Sb ³⁺	1,23		
		Pb ²⁺	0,83	Bi ³⁺	1,21		
		Zn^{2+}	1,01	Ga ³⁺	1,40		
,		Cd^{2+}	0,95	Zn ³⁺	1,31		
		Hg ²⁺	1,07	Cr ³⁺	1,33		
		Mn ²⁺	0,55	Mn ³⁺	1,39		
		Fe ²⁺	0,59	Fe ³⁺	1,34		
		Co ²⁺	0,92	Co ³⁺	1,43		
		Ni ²⁺	0,95	Rh ³⁺	1,39		
		Cu ²⁺	1,03				
		Pb ²⁺	1,02				

По полученным экспериментальным данным с использованием формулы $\Gamma = \frac{\left(C_0 - C\right) \cdot V \cdot A}{1000_m} \ \ \text{находили сорбцию} \ \ \Gamma \, . \ \ \text{В данной формуле} \ \ C_0 \ \ \text{—} \ \ \text{исходная}$

концентрация раствора металла в отдельном случае, C — его равновесная концентрация, A — атомная масса элемента, V — объем исследуемого раствора ($10 \, \mathrm{m}^3$). Затем были рассчитаны индивидуальные константы сорбции с использованием относительных поляризационных потенциалов, которые мы сопоставили с константами сорбции, найденными из экспериментальных данных для каждого отдельного случая.

Значение относительной ошибки составило от 0 до 5,4 %, что доказывает достоверность теоретических и экспериментальных исследований. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3 Константы сорбции отдельных ионов, экспериментально найденные и рассчитанные с использованием предлагаемого приема

Экспериментальная суммарная константа $K \cdot 10^{-4}$	Индивидуальные константы, найденные экспериментальным путем, $K_{\rm эксп}\cdot 10^{-4}$	Индивидуальные константы, рассчитанные с использованием потенциалов, $K_{\rm Teop} \cdot 10^{-4}$	Относительная ошиб- ка, % $\beta = \frac{K_{\text{resp}} - K_{\text{желт}}}{K_{\text{resp}}} \cdot 100 \%$
2,00	Pb ²⁺ 0,35	Pb ²⁺ 0,37	5,4
	Zn ²⁺ 0,43	Zn ²⁺ 0,45	4,4
	Cd ²⁺ 0,41	Cd ²⁺ 0,43	4,7
	Hg^{2+} 0,47	Hg^{2+} 0,48	2,1
	Fe ²⁺ 0,27	Fe ²⁺ 0,27	0

Нами доказано, что, при учете не только размера пор мембраны, но и гидрофильности (гидрофобность) ее материала, повышается эффективность опреснения воды и снижается степень осадкообразования мембраны.

Кроме того, при изучении процесса опреснения на мембранах с пульсирующими потоками, необходимо учитывать, что отсасывание жидкости через пористую стенку ведет к стабилизации ламинарного течения и смещению критических чисел Рейнольдса, при которых осуществляется переход к турбулентности в область более высоких значений. При этих умеренных числах Рейнольдса турбулентные пульсации только начинают зарождаться [3,4]. Поэтому дальнейшие исследования будут направлены на установление проникновения турбулентных пульсаций, в ламинарный подслой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Природные ископаемые ресурсы и экологические проблемы Астраханского края: монография / Н. Н. Алыков, Н. М. Алыков, К. Ю. Садомцев, О. В. Шмачкова; под ред. Н. М. Алыкова. Астрахань: Астраханский университет, 2005. 113 с.
- 2. Вегера А. И., Ельшин А. И., Волков В. К. Моделирование влияния масштаба пористой среды на извилистость // Изв. вузов. Химия и химическая технология. Т. 42. 1999. № 5. С. 101—106.
- 3. Духин С. С., Чураев Н. В., Ярощук А. Э. Обратный осмос и диэлектрические свойства мембран // Химия и технология воды. № 4. 1984. Т. 6. С. 291—304.
- 4. Дытнерский Ю. И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М. : Химия, 1975. 232 с.
 - 5. Карелин Ф. Н. Обработка воды обратным осмосом. М.: Стройиздат, 1988. 206 с.
- 6. Поляков С. В., Максимов Е. Д. К расчету процесса ультрафильтрации в плоском канале при образовании геля на поверхности мембраны // Теоретические основы химической технологии. Т. 20. 1986. № 4. С. 448—453.
- 7. Разделение бинарных растворов электролитов на ультрафильтрационных мембранах / Е. А. Цапюк, Е. Е. Даниленко, Й. П. Сапон, М. Т. Брык // Химия и технология воды. Т. 12. 1990. № 3. С. 249—251.

- 8. *Чураев В. Д.* Физикохимия процессов массопереноса в пористых телах. М. : Химия, 1990. 387 с.
- 1. Prirodnye iskopaemye resursy i ekologicheskie problemy Astrakhanskogo kraya : monografiya / N. N. Alykov, N. M. Alykov, K. Yu. Sadomtsev, O. V. Shmachkova ; pod red. N. M. Alykova. Astrakhanskiy universitet, 2005. 113 s.
- 2. *Vegera A. I., El'shin A. I., Volkov V. K.* Modelirovanie vliyaniya masshtaba poristoy sredy na izvilistost' // Izv. vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. T. 42. 1999. —№ 5. S. 101—106.
- 3. *Dukhin S. S., Churaev N. V., Yaroshchuk A. E.* Obratnyy osmos i dielektricheskie svoystva membran // Khimiya i tekhnologiya vody. № 4. 1984. T. 6. S. 291—304.
- 4. Dytnerskiy Yu. I. Membrannye protsessy razdeleniya zhidkikh smesey. M. : Khimiya, 1975. 232 s.
 - 5. Karelin F. N. Obrabotka vody obratnym osmosom M.: Stroyizdat, 1988. 206 s.
- 6. *Polyakov S. V., Maksimov E. D.* K raschetu protsessa ul'trafil'tratsii v ploskom kanale pri obrazovanii gelya na poverkhnosti membrany // Teoreticheskie osnovy khimicheskoy tekhnologii. T. 20. 1986. № 4. S. 448—453.
- 7. Razdelenie binarnykh rastvorov elektrolitov na ul'trafil'tratsionnykh membranakh / E. A. Tsapyuk, E. E. Danilenko, Y. P. Sapon, M. T. Bryk // Khimiya i tekhnologiya vody. T. 12. 1990. № 3. S. 249—251.
- 8. Churaev V. D. Fizikokhimiya protsessov massoperenosa v poristykh telakh. M. : Khimiya, 1990. 387 s.

©. Боронина Л. В., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Боронина Л. В. О повышении эксплуатационных характеристик мембраны // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 190—195.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 711.4

Н. Г. Юшкова

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИИ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА (на примере Волгоградской области)

Представлены результаты практической апробации теоретических положений авторской методики разработки градостроительных проектно-управленческих решений планирования процессов инновационного развития территории применительно к условиям конкретного региона

K л ю ч е в ы е с л о в а : градостроительная документация, планирование процессов инновационного развития региона, инфраструктура социально-экономического пространства региона.

The results of practical testing of theoretical propositions of the author's method of urban planning development of project-management decision process planning of innovative development of the area with regard to the conditions of a certain region are presented.

 $K\,e\,y\,\,w\,o\,r\,d\,s$: urban planning documentation, innovative development process scheduling, infrastructure of social and economic space in the region.

В последние годы в стране активно развивается градостроительство. Согласно действующему Градостроительному кодексу Российской Федерации органы государственной и муниципальной власти в рамках государственного планирования обязаны подготовить документы территориального планирования, ориентируя их на обеспечение комфортного проживания населения путем решения основных задач планирования: социальных, транспортных, инженерного обеспечения, функционирования учреждений государственного и муниципального управления, охраны окружающей среды, предотвращения чрезвычайных ситуаций. Конкретных целей развития, помимо комфортности, заданная система планирования не формулирует. Она показывает общий путь развития территорий регионов, позволяя государственным и муниципальным структурам управления встраиваться в любые целевые бюджетные программы финансового регулирования развития территории. Однако необходимые для практической реализации задач планирования денежные средства в бюджете отсутствуют, а имеющиеся у государственной экономики ресурсы не могут их реализовать.

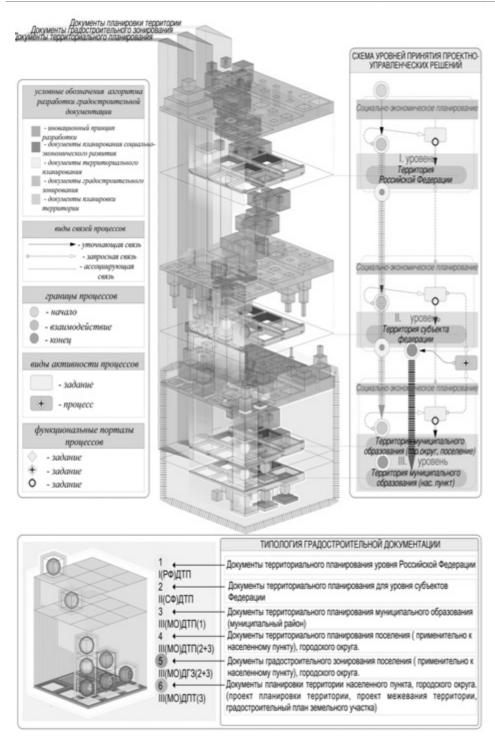


Рис. 1. Алгоритм формирования проектно-управленческих решений в системе градостроительной деятельности на основе государственной политики инновационного развития регионов

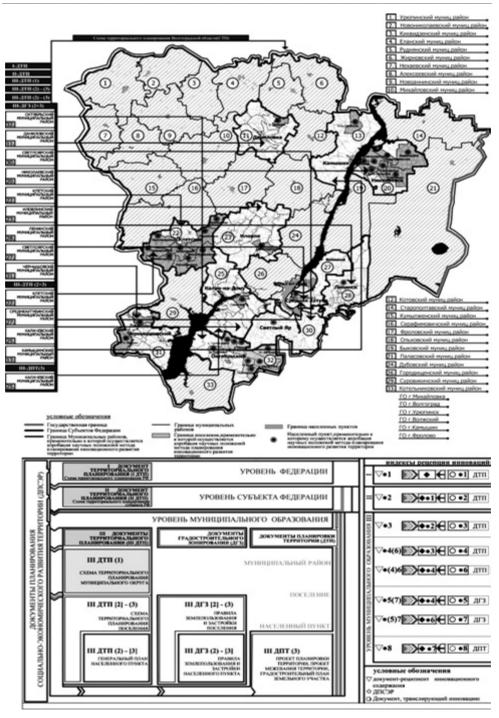


Рис. 2. Результаты практической апробации алгоритма формирования проектноуправленческих решений по планированию инновационного развития региона (на примере реализации «изолированной» схемы разработки градостроительной документации для территорий муниципальных образований Волгоградской области)

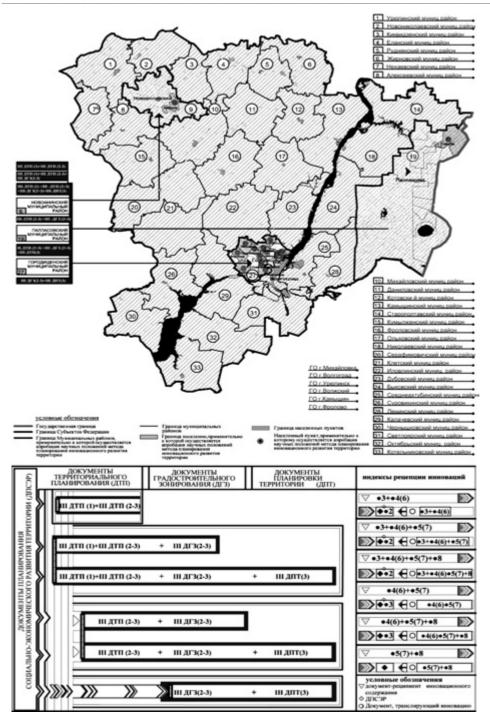


Рис. 3. Результаты практической апробации алгоритма формирования проектноуправленческих решений по планированию инновационного развития региона (на примере реализации «комплексной» схемы разработки градостроительной документации для территорий муниципальных образований Волгоградской области)

В уже разработанных к настоящему времени документах территориального планирования доминируют технологически устаревшие проектные решения, реализация которых экономически осложнена и даже не возможна.

Сформулированные Президентом и Правительством РФ положения государственной политики инновационного развития закрепляют новые задачи территориального планирования, определяют эту сферу приоритетной и стратегической с точки зрения государственного управления, требуя разработки и включения в эту систему принципиально новых решений. Цель исследования — это градостроительные проектно-управленческие решения на основе современных способов учета и управления инновационными градостроительными процессами в российских регионах (в русле теоретических концепций поляризованного развития).

Результаты исследования, теоретические концепции пространственного развития территории и архитектурно-планировочные модели градостроительных систем, выявленная закономерность и сформулированный нами метод внедрялись в процессе подготовки градостроительной документации на территории Волгоградской области как типичного региона юга России в течение последних лет. Это позволило установить точный состав и содержание адекватных градостроительных проектно-управленческих решений (документов развития), определить механизмы управления градостроительными процессами, сформулировать основные положения методик их разработки, способы управления градостроительными процессами инновационного развития территории, системы подготовки и переподготовки кадров (архитектурно-градостроительное образование) (рис. 1, 2, 3).

Достижение современного этапа градостроительной деятельности заключается в подготовке единого документа инновационного развития региона, раскрывающего инновационную политику развития региона конкретными мероприятиями (содержанием), среди которых основное место, согласно Градостроительному кодексу РФ, занимают положения о градостроительном развитии (принципы градостроительного развития) региона как в документах социально-экономического, так и градостроительного планирования. Именно так, по нашему мнению, планируется и формируется экономическое пространство региона как совокупность проектно-управленческих решений, содержащих механизмы государственного управления градостроительными процессами инновационного развития территории региона. Их приоритетное значение состоит в архитектурно-планировочной организации и территориально-пространственном развитии инновационных градостроительных образований как элементах инновационной инфраструктуры региона.

В стратегии социально-экономического развития Волгоградской области до 2025 г.² нами впервые был проанализирован потенциал территориального развития секторов экономики региона, выявлены закономерности их пространственной

¹Имеется в виду пакет законодательных документов, прежде всего, федерального уровня, а также проектные предложения, разработанные рабочими группами при Законодательном собрании РФ, при Президенте РФ, временными творческими коллективами ученых различных научных специальностей, предметно исследующими и обосновывающими проблемы и перспективы реализации концепций инновационного развития территорий регионов Российской Федерации. О содержании и характерных направлениях документов совершенствования деятельности органов государственной власти применительно к системе градостроительной деятельности [1—10].

²Закон Волгоградской области от 21.11.2008 г. № 1778-ОД (в редакции от 20.03.2012 г.) «О стратегии социально-экономического развития Волгоградской области до 2025 года».

локализации в градостроительной системе региона. Предложена инновационная стратегия градостроительного развития региона, основы кластерной политики, в совокупности определяющие методологию формирования типологии территории (градостроительного зонирования) и выявления точек роста.

В схеме территориального планирования Волгоградской области³ (государственный контракт 2008 г., разработчик «Волгоградгражданпроект», научный руководитель работы доктор архитектуры, профессор Д. Г. Донцов) и схеме территориального планирования Новоаннинского муниципального района Волгоградской области (государственный контракт 2007 г., разработчик «Волгоградское областное архитектурно-планировочное бюро», научный руководитель работы доктор архитектуры, профессор Д. Г. Донцов) нами впервые установлены конкретные направления устойчивого пространственного развития территории, отражающие закономерности территориальной локализации региональных точек роста, предложены конкретные средства регулирования градостроительной системы Волгоградской области, связанные с градостроительными процессами их архитектурнопланировочной организации и территориально-пространственного развития.

В генеральных планах города Волжского и городского поселения Новоаннинский Новоаннинского муниципального района Волгоградской области (государственный контракт 2007 г., разработчик «Волгоградское областное архитектурно-планировочное бюро», научный руководитель работы доктор архитектуры, профессор Д. Г. Донцов) внедрены принципы преемственности управленческих решений при формализации целей и задач территориального планирования. Научный вклад автора в эти проекты заключается в разработке уникальной методики выполнения анализа состояния, проблем и перспектив развития территорий городов. формализации положений инновационного территориальнопространственного развития муниципальных образований и приоритетных территорий в рамках инновационного развития, рекомендаций по выявлению инновационных программ и инфраструктурных проектов, связанных с основными функциональными зонами. Практическая реализация положений территориального планирования, разработанных автором, направлена на оптимизацию градостроительной деятельности в направлении синтезирования положений социальноэкономического и территориального развития муниципальных образований.

Наличие утвержденных документов развития территории представляет возможность органам публичной власти, включая и органы, уполномоченные в области градостроительной деятельности, сформировать программы и планы собственной деятельности, обосновывающие способы и инструменты работы с инвесторами, объемы инвестиций по ключевым направлениям градостроительного развития территории, установленным проектно-управленческим решениям.

Именно так, путем управления градостроительными процессами инновационного развития в регионе, достигается практическая реализация документов развития территории. На этом пути определилось два проектно-управленческих аспекта: административно-управленческий и организаци-

 $^{^3}$ Постановление Волгоградской области от 14.09.2009 г. № 337-П (в редакции от 15.06.2011 г.) «Об утверждении схемы территориального планирования Волгоградской области».

онно-правовой (структура государственного и муниципального управления инновационным развитием); правовое пространство управления градостроительными процессами инновационного развития территории.

В аспекте структуры государственного и муниципального управления в проектах планировки фрагментов территории городских поселений Волгоградской области (г. Новоаннинский, г. Николаевск, р. п. Лог Иловлинского муниципального района, п. Царицын Городищенского муниципального района) нами впервые апробированы и предложены положения оригинальной методики разработки градостроительной документации, учитывающие требования устойчивого развития территорий и направленные на совершенствование архитектурно-планировочной организации территории на основе перспективной схемы размещения объектов капитального строительства различных уровней, рационального использования ресурсов и размещения объектов различного функционального назначения, осуществления организационно-правовых мер по обеспечению инновационного развития территории. Проектно-управленческие решения обеспечили преемственность стратегических приоритетных направлений реализации государственной инновационной политики в области градостроительной организации территории.

Особого внимания заслуживают принципы дифференциации территории муниципального образования на структурные и инфраструктурные подсистемы, разработанные автором, последняя образуется объектами социальной инфраструктуры и инвестиционными объектами, предопределяя различные методы их расчета и обоснования, установления характеристик и параметров развития объектов инфраструктуры⁴.

В правилах землепользования и застройки городских и сельских поселений Городищенского, Октябрьского, Чернышковского, Клетского муниципальных районов Волгоградской области в аспекте структуры государственного и муниципального управления реализованы следующие принципы: обеспечение правилами, как документами, градостроительного регулирования преемственности управленческих решений, разрабатываемых на уровне планировки территорий; структурная соподчиненность градостроительных мероприятий всех стадий разработки градостроительной документации и принятия управленческих решений; методологическая последовательность правовых и градостроительных процедур, фиксируемых в части правил порядок применения Правил землепользования и застройки и внесение в него изменений. Сформулированные нами выводы, касающиеся направлений совершенствования системы градостроительного регулирования, основанной на сочетании стимулирующих и ограничивающих способов, последующая реализация правил в качестве местного нормативного правового акта позволили оптимизировать в определенном направлении градостроительную деятельность на территории муниципального образования.

Инновационное градостроительное развитие региона невозможно без правовых актов управления градостроительными процессами развития территории —

⁴Принципы инфраструктурной организации и развития территории, особенности структуризации и функционирования процессов в условиях адаптации регионов к политике инновационного развития детально рассматриваются в работах [11, 12].

законодательных и правовых актов регионального и муниципального уровня. Система правовых документов должна содержать и определять условия для осуществления государственно-частного партнерства, условия государственного участия в инновационных проектах, особенности архитектурно-планировочной организации инновационных градостроительных образований, их градостроительного зонирования (стимулирования и ограничения градостроительной и хозяйственной деятельности), организации инфраструктуры территории, мониторинга градостроительных процессов и процедур реализации документов развития при сохранении социально-экономической и природной уникальности осваиваемых территорий.

В аспекте построения правового пространства управления полученные автором результаты исследования были использованы при разработке закона Волгоградской обл. от 24 ноября 2008 года № 1786-ОД Градостроительного кодекса. В закон были внесены понятия градостроительной политики, сочетающей принципы, цели, средства и способы регулирования градостроительной деятельности, включая комплекс мероприятий органов государственной власти и органов местного самоуправления; систематизации документов в области градостроительной деятельности, повышающей управляемость процессов градостроительного развития территории.

В действующей областной целевой программе «Жилище» градостроительная деятельность представлена сферой пересечения взаимных государственных (муниципальных) общественных и частных интересов, а также инструменты взаимодействия органов управления в различных сферах деятельности (управления собственностью, недвижимостью, земельными отношениями). Таким образом, градостроительство рассматривается как инструмент развития регионов, рационального использования ресурсного потенциала территории, а также оказывает стимулирующее воздействие на процессы социально-экономического развития территории Волгоградской области. Однако множественность задач и мероприятия предполагают комплексный характер развития территории.

Проект государственной автоматизированной системы градостроительного характера содержит положения о принципах формирования, регистрации учета градостроительной документации, регулятивных зон и объектов капитального строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Российской Федерации. Федеральный закон от 20 июля 1995 г. № 115-ФЗ // Российская газета. 1995. № 143. 26 июля.
- 2. Об основных положениях региональной политики в Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации 3 июня 1996 года. № 803 // Российская газета. 1996. 11 июня. С. 4.
- 3. О полномочном представителе Президента РФ в федеральном округе. Указ Президента РФ № 849 от 13 мая 2000 г.
- 4. Концепция Стратегии социально-экономического развития регионов Российской Федерации. М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2005.
- Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.
- 6. Основные направления деятельности правительства Российской Федерации на период до 2012 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1663-р.

- 7. Основные параметры прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период 2020—2030 годов. Приложение к Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации. М. : Министерство экономического развития Российской Федерации, 2008.
- 8. Концепция совершенствования региональной политики в Российской Федерации, 2009—2010.
- 9. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года. Минэкономразвития России, 2010.
- 10. Об основах государственного регулирования регионального развития в Российской Федерации : федеральный закон (проект).
- 11. *Юшкова Н. Г.* Градостроительная структура социально-экономического пространства региона // Вестник Волгр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стро-во и архит. 2011. Вып. 24 (43). С. 120—138.
- 12. *Юшкова Н. Г.* Инфраструктура социально-экономического пространства региона и процессы инновационного развития территории (на примере Волгоградской области) // Экономические исследования. Тверь, 2012. URL: www.erce.ru.
- 1. O gosudarstvennom prognozirovanii i programmakh sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii. Federal'nyy zakon ot 20 iyulya 1995 g. № 115-FZ // Rossiyskaya gazeta. 1995. № 143. 26 iyulya.
- 2. Ob osnovnykh polozheniyakh regional'noy politiki v Rossiyskoy Federatsii. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii 3 iyunya 1996 goda № 803 // Rossiyskaya gazeta. 1996. 11 iyunya. S. 4.
- 3. O polnomochnom predstavitele Prezidenta RF v federal'nom okruge. Ukaz Prezidenta RF $N_{\rm S}$ 849 ot 13 maya 2000 g.
- 4. Kontseptsiya Strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regionov Rossiyskoy Federatsii. M.: Ministerstvo regional'nogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii, 2005.
- 5. Kontseptsiya dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 17 noyabrya 2008 g. № 1662-r.
- 6. Osnovnye napravleniya deyatel'nosti pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii na period 2012 goda. Utverzhdeny rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 17 noyabrya 2008 g. № 1663-r.
- 7. Osnovnye parametry prognoza sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020—2030 godov. Prilozhenie k Kontseptsii dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii. M. : Ministerstvo ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii, 2008.
- Kontseptsiya sovershenstvovaniya regional'noy politiki v Rossiyskoy Federatsii, 2009 2010.
- 9. Strategiya innovatsionnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda. Minekonomrazvitiya Rossii, 2010.
- 10. Ob osnovakh gosudarstvennogo regulirovaniya regional'nogo razvitiya v Rossiyskoy Federatsii : federal'nyy zakon (proekt).
- 11. *Yushkova N. G.* Gradostroitel'naya struktura sotsial'no-ekonomicheskogo prostranstva regiona / Vestnik Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-ta. Ser. : Str-vo i arkhit. 2011. Vyp. 24 (43). S. 120—138.
- 12. *Yushkova N. G.* Infrastruktura sotsial'no-ekonomicheskogo prostranstva regiona i protsessy innovatsionnogo razvitiya territorii (na primere Volgogradskoy oblasti) // Ekonomicheskie issledovaniya. Tver', 2012. URL: www.erce.ru.

© Юшкова Н. Г., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Юшкова Н. Г. Инновационное развитие территории в градостроительной деятельности региона (на примере Волгоградской области) // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 196—204.

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ, РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

УДК 72.03(470.61)

А.Г. Токарев

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО РОСТОВА-НА-ДОНУ В 1920 гг. КОНЦЕПЦИИ И РЕАЛЬНАЯ ПРАКТИКА

Процесс реализации градостроительных концепций 1920-х гг. в рамках градостроительства Ростова-на-Дону требует дальнейшего, более глубокого анализа. Градостроительное развитие Ростова в 1920-е гг. происходило на фоне общих для страны процессов, отразилось в проектах ведущих отечественных градостроителей того времени. Одни проекты не были реализованы или их проявление было незначительным, другие оказали влияние на развитие пространственно-планировочной структуры Ростова-на-Дону на несколько последующих десятилетий.

Ключевые слова: градостроительные концепции 1920-х гг., пространственно-планировочная структура города, районы, поселки, кварталы, городская застройка.

Implementation of processes of urban planning concepts of the 1920s in practice of Rostov-on-Don needs further deeper analysis. Rostov-on-Don urban planning development of the 1920s was in the framework of the processes common for the country, what reflected in the projects of the leading city-planners of that period. Some of the projects remained unfulfilled, and their manifestation was hardly significant; the others influenced space planning structure of Rostov-on-Don for next several decades.

 $K\,e\,y\,$ w o r d s: urban planning concepts of the 1920-s, city space-planning structure, districts, village, blocks of houses, urban development area.

Вопросам исследования Советского градостроительства 1920-х гг. посвящено множество работ. Этот период характеризуется уникальностью происходящих социальных процессов переустройства всего общества, что отразилось в архитектуре и градостроительстве.

К разработке планировки города Ростова-на-Дону привлекались ведущие отечественные градостроители — А. П. Иваницкий, С. С. Шестаков, В. Н. Семенов.

Нами было проведено исследование реализации градостроительных концепций 1920-х гг. в пространственно-планировочной структуре Ростова-на-Дону.

1. Градостроительные процессы середины 1920-х гг. Реализация концепции города-сада.

С середины 1920-х гг. Ростов-на-Дону является одним из ведущих экономически и промышленно развитых городов страны, административным центром Северо-Кавказского края.

Строительство в Ростове возобновляется с 1922—1923 гг. путем «широкого развития мелкого индивидуального жилищного строительства» [1, с. 11; 2, с. 14; 3]. Основное строительство развернулось на окраинах города.

На генеральном плане Ростова 1924 г. отмечены первые новые районы [4, с. 8]. На западной границе города — «Красный город-сад» одноименного Рабочего жилищно-строительного кооперативного товарищества, организованного в 1923 г. [5, с. 16]. На северо-западной границе — Первомайский поселок у Нового поселения. Новые районы были намечены и на северо-западной границе Нахичевани между поселком Берберовка и 3-й рощей (в 1927—1931 гг. в этом районе был выстроен поселок Сельмашстроя) [15]. Планировочная структура поселков отличалась разнообразием композиционных решений: сочетанием прямоугольных, лучевых, радиальных, кольцевых композиций. Поселки проектировались с общественными центрами, с площадями, имеющими круглые, овальные очертания. Для новых районов характерными являлась густая сеть улиц и кварталы незначительных размеров.

Планировочная структура кварталов в новых районах формировалась на основе принципов регулярной планировки. Жилые дома выстраивались по периметру квартала, как правило, вдоль красной линии. Форма и размеры жилых кварталов были самые различные.

Застройка в новых районах велась деревянными, саманными и кирпичными одноэтажными жилыми домами усадебного типа на одну семью или блокированными на две семьи. Планировочная структура и внешний облик построек были традиционными, многие из которых представляли обыкновенные рубленые избы [5, с. 15].

Новые рабочие районы проектировались на основе градостроительной концепции города-сада, получившей реализацию в России еще в дореволюционный период [6, с. 11]. В 1920-е гг. концепция города-сада получила широкое распространение в различных городах России, что отмечается многими исследователями [6, с.11; 7, с. 43—74; 8, с. 5, 6; 9, с. 55; 10, с. 29; 11]. Сторонниками идеи города-сада выступали такие известные градостроители и архитекторы, как В. Семенов, А. Иваницкий, Г. Бархин и др. [11]. В частности, в работах В. Семенова доказывалась необходимость увеличения зелени в городе, целесообразность небольшого размера поселения и рентабельность малоэтажного жилищного строительства [8, с. 5; 10, с. 29].

В новых районах резко снижался процент застройки и плотность заселения [10, с. 61]. Одноэтажные жилые дома размещались среди зелени на отдельных приусадебных участках. Планировочная структура поселков отличалась наличием садов и парков, размещением общественных зданий в центре жилой застройки [7, с. 53; 6, с. 8]. В ростовской практике примером может служить рабочий поселок «Красный город-сад». Авторами проекта, утвержденного в феврале 1924 г., являются С. Кршижановский, В. Куликов, И. Турусов [12, с. 5—21]. Из описания проекта архитектором В. Куликовым следует, что под общественные сады, скверы и парки отводилось 15 % площади поселка, под усадебные участки 60 %, под улицы и площади 25 %. В проекте было намечено 50 кварталов с 830 усадебными участками, 5 площадей, 10 садов в различных местах поселка [13, с. 33]. В 1924 г. в «Красном городесаде» было возведено 5 одноэтажных двухквартирных жилых домов [14, с. 48].

Влияние концепции города-сада сказывалось до конца десятилетия, однако уже к середине 1920-х гг. «Все очевидней становились экономическая нецелесообразность низкой плотности индивидуальной застройки в городе и ее несовместимость с идеями коллективного быта…» [9, с. 74; 16, с. 4—10].

О недостатках малоэтажного строительства, в особенности «мелкого индивидуального строительства», отмечалось и в 1931 г. : «Начиная с 1922 г. благодаря острой нужде в жилищах, Ростов-на-Дону вступил на путь широкого развития мелкого индивидуального жилстроительства... Благодаря этому селитебная площадь города увеличилась на тысячу с лишним гектаров. Ростов оброс огромным количеством новых, совершенно неблагоустроенных окраин... Такого стихийного развития индивидуального строительства, какое имел за последнее десятилетие Ростов, нельзя отметить ни в одном крупном городском центре СССР» [1, с 11]. Подобные проблемы возникали во многих промышленных центрах, строительство в которых в середине 1920-х гг. принимало характер «полукрестьянского» [17, с. 721].

Таким образом, малоэтажное строительство было основным по объему строительством в 1924—25 гг., [7, с. 102; 18, с. 15]. К середине 1920-х гг. в советском градостроительстве стали отмечать экономическую нерентабельность и социальную неприемлемость в городе застроек усадебного типа. «Острая потребность в жилище и недостаток в средствах заставляли уделять больше внимания вопросам экономической рентабельности строительства, что привело почти повсеместно к замене усадебного типа застройки кварталами из секционных домов» [8, с. 7; 19, с. 271].

Если на окраинах Ростова в новых районах преобладало малоэтажное строительство, то в центральной части города с середины 1920-х гг. велось строительство многоквартирных жилых домов в 3 — 5 этажей, а также крупных жилых комплексов.

2. Градостроительные концепции А. П. Иваницкого, С. С. Шестакова, В. Н. Семенова. Проекты и реализация.

В градостроительстве Ростова 1920-х гг., принимали участие ведущие отечественные градостроители — А. П. Иваницкий, С. С. Шестаков, В. Н. Семенов. Ростов являлся крупнейшим краевым административным и торгово-промышленным центром Северного Кавказа. Это предполагало активное развитие города в ближайшие десятилетия. В большинстве из разрабатываемых проектов прогнозировался рост населения Ростова в предстоящие 25 лет до 1000000 млн человек и больше. Все это делало необходимым составление детально разработанной схемы дальнейшего развития города.

В конце 1927 г. профессором С. С. Шестаковым была составлена схема общей планировки «Большого Ростова» [3, с. 136 — 168]. В пояснительной записке подробно рассматривались различные аспекты проекта развития Ростова и Нахичевани-на-Дону. Предполагалось, что благодаря своему исключительно выгодному положению население в объединенном городе Ростов-Нахичевань с прилегающими станицами через 25 лет составит 1200000 млн жителей.

Средняя плотность населения для «Большого Ростова» по проекту составляла 60 человек на гектар. Как указывалось С. Шестаковым в пояснительной записке, «такую плотность имеет Нью-Йорк и такая плотность принята для «Большой Москвы» [3, с. 138]. Исходя из предполагаемого числа

жителей и средней плотности, необходимая для Ростова территория была определена в 20000 га. Проектом предусматривалось и перспективное развитие города на следующие два периода в 15 и 10 лет с увеличением необходимого земельного фонда до 40000 га.

В основную территорию «Большого Ростова» включались Верхне-Гниловская и Нижне-Гниловская станицы, г. Ростов, г. Нахичевань, станицы Александровская, Аксайская и новая добавочная площадь к северу от названных поселений. Целесообразным считалось и включение в «Большой Ростов» левобережных территорий — Батайска и станицы Ольгинской.

На ближайшие 25 лет вокруг основной территории Ростова предлагалось запланировать две защитные зоны. Первая зона планировалась под садовопарковый район, а вторая — под сельскохозяйственный. По истечении 25 лет садово-парковый район предполагалось застроить с использованием выросших зеленых насаждений. Сельскохозяйственный район служил пограничной зоной, препятствующей появлению пригородов — «антисанитарных наростов города» [3, с. 141].

На новой территории города среди жилых районов планировалось устройство трех административно-деловых районов — центрального (северная часть города), восточного и западного [3, с. 147].

Старая территория города отводилась под торгово-промышленный район. В районах Верхне-Гниловской и Нижне-Гниловской вниз по течению реки размещались промышленные предприятия.

Часть новой территории Ростова была детально проработана с выявлением различного типа застройки — как индивидуальной, так и многоэтажной [3, с.152].

Особенностью проекта является и то, что крупные районы новой территории разделялись на несколько районов меньшей площади, окруженных магистральными путями сообщения. Эти районы «включают в себя все нужное для повседневной жизни» — скверы, бульвары для отдыха, площади для торговли и занятий спортом, школы, лечебные и другие общественные учреждения. Планировочные принципы жилых районов, предложенные С. С. Шестаковым, до этого не имели аналогов в градостроительной практике Ростова.

В проекте «Большого Ростова» разрабатывалась и схема магистралей будущего города. Решалась важная проблема связи транспортными магистралями старой и новой территории города и преодоления существующих преград для развития города в виде железной дороги и Безымянной балки. Поперечные проспекты Ростова — Буденновский и Ворошиловский и др. продолжались с пересечением железнодорожной магистрали путепроводами и мостами. Поперек балки проспекты проходили по дамбам с арочными мостами.

Судя по документам, некоторые прогнозы, высказанные С. С. Шестаковым в нереализованном проекте «Большого Ростова», были использованы в разработках местных планировщиков, например, в проекте частичной планировки Ростова, составленным в 1928 г. инженером А. К. Кривошеевым [3, с. 38—39].

Из архивных документов 1928 г. следует, что один из проектов территориального развития Ростова в этот год создавался при консультациях В. Н. Семенова [3, с. 84].

В 1928 г. Президиумом ВЦИК принимается постановление об объединении городов Ростова и Нахичевани-на-Дону. За объединенными городами было оставлено название Ростов-на-Дону [20].

В 1929 г. проект частичной планировки Ростова-на-Дону был составлен А. П. Иваницким. Проектом предусматривалось создание нового жилого района площадью около 1300 га на севере от существующего города [21, 22].

Одновременно с проектом частичной планировки А. Иваницким был выполнен эскизный проект всей территории Ростова в расчете на перспективное развитие в течение 25 лет. Предположительная численность населения города должна была составить 1...1,5 млн жителей.

В предложенной планировочной схеме города решалось несколько основных задач.

- 1. Радиально-хордовой системой магистралей осуществлялась связь новой территории с существующим городом.
- 2. На периферии города выделялись фокусы транзитного движения, которые связывались с портом и вокзалами, а также трассами на Новочеркасск и Таганрог.
 - 3. В отдельном районе сосредотачивалась вся крупная промышленность.
- 4. Выделялась зеленая зона, глубоко проникающая в структуру будущего города.
- 5. За счет расширения существующих улиц и пробивки новых устанавливались связи между новыми районами и существующим городом.

А. Иваницким решалась задача рационального использования городской территории, в связи с чем изучались возможности увеличения размеров кварталов при уменьшении протяженности уличной сети, повышения этажности и плотности жилой застройки, как в новом, так и в существующем районе города [21, с. 58—60].

Так же как и в проекте С. С. Шестакова идеи значительного укрупнения жилых кварталов, их озеленение и введение в их структуру культурнобытовой функции является значительным новшеством для градостроительной практики Ростова, оказавшим влияние на принципы развития жилой застройки последующих десятилетий.

Планировочная схема представлялась А. Иваницким на заседании городской планировочной комиссии и была по достоинству оценена ее членами (в состав комиссии входили ведущие ростовские архитекторы) [3, с. 198]. На заседании комиссии присутствовали В. В. Попов, П. Я. Любимов, П. С. Калашников. В. Поповым была высоко оценена разработка А.Иваницкого: «Конечно, ничего тут не возразишь против прекрасно разработанной схемы, лучше трудно придумать...». Отмечалась и экономичность предложенных увеличенных размеров кварталов до 350 на 90 и 185 метров. Однако высказывалось замечание о том, что схема ориентирована на будущее. Отмечалась также необходимость перехода на кооперативное строительство и отказ от строительства индивидуального [3, с.198—200]. В свою очередь А. Иваницким обосновывались предложенные проектные решения, вызвавшие вопросы или возражения.

Проектные разработки А. Иваницкого в Ростове-на-Дону стали одной из первых ступеней перехода к новым формам планировки и застройки городов, соответствующим новым условиям социальной организации жилого района

[21, с. 63]. Кроме того, работа А. П. Иваницкого «явилась первым и самым ярким градостроительным прогнозом будущего развития крупнейшего города Юга России». Практическое осуществление предложенных идей, подвергаясь существенным трансформациям, растянулось на большой период времени [22, с. 75].

В проекте частичной планировки Ростова в районе между поселком Новый город и существующей застройкой, выполненным ростовскими специалистами в марте 1930 г., были использованы основные положения проекта частичной планировки А. П. Иваницкого [3, с. 240 — 242]. Многие из этих проектных предложений, касающихся пробивки новых улиц и расширения существующих, были реализованы. И до настоящего времени запланированные в те годы магистрали являются важнейшими структурными элементами градостроительной системы Ростова.

3. Реальное градостроительное развитие Ростова в 1920 — начале 1930-х гг.

Реальное развитие Ростова в 1920 — начале 1930-х гг. шло по пути значительного увеличения городской территории в западном, северном и восточном направлениях за счет создания новых районов на окраинах города. В поселках, которые проектировались как самостоятельные селитебные образования, преобладала малоэтажная застройка усадебного типа. К 1931 г. новые районы охватили кольцом город со всех сторон, значительно увеличив его территорию. Градостроительные мероприятия в центральной части ограничивались реконструкцией существующих площадей на центральной улице Ф. Энгельса (Большой Садовой) с обновлением системы городских доминант, а также застройкой свободных территорий и уплотнением существующих кварталов.

Новый этап в развитии градостроительной структуры Ростова связан с вновь актуализированной классицистической традицией. В 1930 г. а затем в период послевоенного восстановления, градостроительные идеи русского классицизма как нельзя лучше подходили для исторически сложившейся регулярной структуры исторического центра Ростова. Новый этап в советском градостроительстве провел черту под градостроительными исканиями 1920 г.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Совет рабочих, крестьянских и красноармейских депутатов. Состояние и первоочередные задачи развития городского хозяйства г. Ростова-на-Дону. Ростов H/H: Северный Кав-каз. 1931. 56 с.
- 2. Ямпольский М. Л. Спутник экскурсанта по г. Ростову, Нахичевани-на-Дону и окрестным городам. Ростов н/Д : Сев. Кав. Крайсовпроф, 1-я госуд. Тип. Донполиграфбума, 1927. 56 с.
- 3. Материалы о планировке г. Ростова-на-Дону // ГАРО. Ф.Р-175. Оп. 1. Д. 145. Л. 1 278.
 - 4. План городов Ростова и Нахичевани-на-Дону. 1924 г. // ГАРО. Ф.Р.-2613. Оп. 1. Д. 141. С. 8.
- 5. Монетов A. Жилищно-строительные товарищества Γ . Ростова // Жилищное строительство. 1925. № 17—18. С. 15—18.
- 6. Из истории советской архитектуры 1917—1925 гг. Документы и материалы / сост. В. Э. Хазанова. М. : Изд-во Акад. наук СССР, 1963. 250 с.
- 7. *Хазанова В.* Э. Советская архитектура первых лет Октября. 1917—1925 гг. М. : Наука, 1970. 214 с.
- 8. Архитектура советской России / под ред. Ю. С. Яралова. М. : Стройиздат, 1975. 224 с.

- 9. Журавлев А. М., Иконников А. В., Рочегов А. В. Архитектура советской России. М. : Стройиздат, 1987. 447 с.
 - 10. Рябушин А. В. Гуманизм советской архитектуры. М.: Стройиздат, 1986. 372, [2] с.
- 11. *Астафьева-Длугач М. И., Семенов В. Н.* // Архитектура СССР. 1986. № 5. С. 88—90
- 12. Материалы о планировке и застройке поселка «Красный город-сад» // ГАРО. Ф.Р-2598. Оп. 1. Д. 525.
- 13. *Куликов В*. Жилищная кооперация на местах. «Красный город-сад» // Жилищное строительство. 1925. № 2—3. С. 32—34.
 - 14. О «Красном городе-саде» // Жилищное строительство. 1927. № 4 (29). С. 50.
- 15. *Глебов-Авилов Н. П.* Сельмашстрой. Ростовский завод сельскохозяйственного машиностроения. Ростов н/Д: Северный Кавказ, 1930. 87, [1] с.
- 16. Ямпольский М. Л. Идеал рабочего жилища // Жилищное строительство. 1925. № 14—16. С. 4—12.
- 17. Вольфензон Γ . Рабочее поселковое строительство // Строительная промышленность. 1926. № 10. С. 721—727.
- 18. *Кириллов В. В.* Из истории градостроительства Подмосковья в первые годы советской власти (проекты и практика строительства) // Русский город (исследования и материалы). М.: МГУ, 1979. Вып. 2. С. 3—48.
- 19. *Кривов А. С.* Три революции в жилищной политике советского государства // Образы истории отечественной архитектуры Новейшего времени. М. : НИИТАГ РААСН, 1996. С. 270—282.
- 20. Есаулов Г. В., Черницина В. А. Архитектурная летопись Ростова-на-Дону. Ростов н/Д, 1999. 288 с.
- 21. Давидович В. Г., Чижикова Т. А. Александр Иваницкий. М. : Стройиздат, 1973. 120 с.
- 22. Есаулов Г. В. Градостроительное наследие Ростова-на-Дону как отражение эволюции в градостроительстве Юга России в XVIII—XX веках // Научная мысль Кавказа. 1999. № 4. С. 67—79.
- 1. Sovet rabochikh, kresťyanskikh i krasnoarmeyskikh deputatov. Sostoyanie i pervoocherednye zadachi razvitiya gorodskogo khozyaystva g. Rostova-na-Donu. Rostov n/D : Severnyy Kavkaz, 1931. $56~\rm s.$
- 2. *Yampol'skiy M. L.* Sputnik ekskursanta po g. Rostovu, Nakhichevani-na-Donu i okrestnym gorodam. Rostov n/D: Sev. Kav. Kraysovprof, 1-ya gosud. Tip. Donpoligrafbuma, 1927. 56 s.
 - 3. Materialy o planirovke g. Rostova-na-Donu // GARO. F.R-175. Op. 1. D. 145. L. 1—278.
- 4. Plan gorodov Rostova i Nakhichevani-na-Donu. 1924 g. // GARO. F.R.-2613. Op. 1. D. 141. S. 8.
- 5. *Monetov A*. Zhilishchno-stroitel'nye tovarishchestva g. Rostova // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 1925. № 17—18. S. 15—18.
- 6. Iz istorii sovetskoy arkhitektury 1917—1925 gg. Dokumenty i materialy / sost. V. E. Khazanova. M. : Izd-vo Akad. nauk SSSR, 1963. 250 s.
- 7. *Khazanova V. E.* Sovetskaya arkhitektura pervykh let Oktyabrya. 1917—1925 gg. M. : Nauka, 1970. 214 s.
 - 8. Arkhitektura sovetskoy Rossii / pod red. Yu. S. Yaralova. M.: Stroyizdat, 1975. 224 s.
- 9. Zhuravlev A. M., Ikonnikov A. V., Rochegov A. V. Arkhitektura sovetskoy Rossii. M. : Stroyizdat, 1987. 447 s.
 - 10. Ryabushin A. V. Gumanizm sovetskoy arkhitektury. M.: Stroyizdat, 1986. 372, [2] s.
 - 11. *Astaf eva-Dlugach M. I., Semenov V. N.* // Arkhitektura SSSR. 1986. № 5. S. 88—90.
- 12. Materialy o planirovke i zastroyke poselka «Krasnyy gorod-sad» // GARO. F.R-2598. Op. 1. D. 525.
- 13. *Kulikov V.* Zhilishchnaya kooperatsiya na mestakh. «Krasnyy gorod-sad» // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 1925. N2 3. S. 32—34.
 - 14. O «Krasnom gorode-sade» // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 1927. N_2 4 (29). S. 47—50.
- 15. Glebov-Avilov N. P. Sel'mashstroy. Rostovskiy zavod sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya. Rostov n/D: Severnyy Kavkaz, 1930. 87, [1] s.
- 16. Yampol'skiy M. L. Ideal rabochego zhilishcha // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 1925. N_2 14—16. S. 4—12.

- 17. Vol'fenzon~G. Rabochee poselkovoe stroitel'stvo // Stroitel'naya promyshlennost'. 1926. Nole 10. S. 721—727.
- 18. *Kirillov V. V.* Iz istorii gradostroitel'stva Podmoskov'ya v pervye gody sovetskoy vlasti (proekty i praktika stroitel'stva) // Russkiy gorod (issledovaniya i materialy). M.: MGU, 1979. Vyp. 2. S. 3—48.
- 19. *Krivov A. S.* Tri revolyutsii v zhilishchnoy politike sovetskogo gosudarstva // Obrazy istorii otechestvennoy arkhitektury Noveyshego vremeni. M.: NIITAG RAASN, 1996. S. 270 282.
- 20. Esaulov G. V., Chernitsina V. A. Arkhitekturnaya letopis' Rostova-na-Donu. Rostov n/D, 1999. 288 s.
- 21. Davidovich V. G., Chizhikova T. A. Aleksandr Ivanitskiy. M. : Stroyizdat, 1973. 120 s.
- 22. Esaulov G. V. Gradostroitel'noe nasledie Rostova-na-Donu kak otrazhenie evolyutsii v gradostroitel'stve Yuga Rossii v XVIII—XX vekakh // Nauchnaya mysl' Kavkaza. 1999. № 4. S. 67—79.

© Токарев А. Г., 2012

Поступила в редакцию в октябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Токарев А. Г. Градостроительство Ростова-на-Дону в 1920 гг. Концепции и реальная практи-ка // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 205—212.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 502.3:504.5

В. Н. Азаров, Н. С. Барикаева

УЧЕТ ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Изложены проблемы размещения предприятий и объектов, составляющих придорожную инфраструктуру, с учетом неблагоприятного воздействия загрязняющих веществ от стационарных и нестационарных источников загрязнения в Волгограде. Рассмотрены причины запыленности примагистральных территорий и факторы, влияющие на концентрацию пыли.

К л ю ч е в ы е с л о в а: мелкодисперсная пыль, концентрация, дисперсный состав, PM_{10} , $PM_{2,5}$, запыленность, мониторинг.

The main problems of disposition of enterprises and objects of roadside infrastructure, taking into account the harmful impact of contaminators from stationary and non-stationary pollution sources in Volgograd, are discussed in the article. The reasons for dust level of linehaul territories and factors that influence dust concentration are considered.

Key words: fine dust, concentration, the particulate composition, PM₁₀, PM₂₅, dust level, monitoring.

Волгоград относится к числу городов с высоким уровнем загрязнения окружающей среды. В настоящее время в атмосферу выбрасывается более 100 тыс. т неочищенных вредных веществ из 10 тыс. источников. Большую часть выбросов в атмосферный воздух составляют окись углерода, твердые вещества, диоксид серы и окислы азота. В атмосфере г. Волгограда отмечается повышенное содержание пыли, диоксида азота, фторида водорода, аммиака, формальдегида, фенола и хлорида водорода. Одним из вредных загрязняющих веществ является пыль. Причинами запыленности воздуха города является неблагоустроенность и неудовлетворительное санитарное состояние большей части территории города, наличие пылеобразующих предприятий (рис. 1). Кроме того, следует отметить высокий уровень запыленности территорий, расположенных вблизи крупных городских автомагистралей (рис. 2).

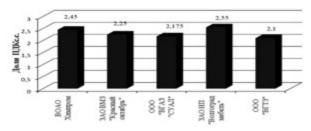


Рис. 1. Средний уровень содержания пыли под факелом влияния основных пылеообразующих предприятий г. Волгограда в 2010 году

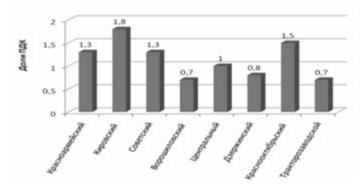


Рис. 2. Максимальный уровень содержания пыли в атмосферном воздухе вблизи автомагистралей по районам г. Волгограда за 2010 год

Как правило, в зонах повышенного загрязнения располагаются предприятия торговли и питания, рынки и другие объекты, особенно в летний период, к которым должны предъявляться высокие требования экологической и санитарной безопасности.

Транспорт является главным загрязнителем окружающей среды. Нефтепродукты, продукты износа шин и тормозных накладок, сыпучие и пылящие грузы, антиобледенители дорожных покрытий загрязняют придорожные полосы и водные объекты.

Интенсивный рост численности парка автомобилей, низкий уровень экологической безопасности конструкции транспортных средств, объектов автотранспортной и придорожной инфраструктуры, плохое техническое состояние автомобилей, несоблюдение регламентов и низкое качество проведения технического обслуживания и ремонта приводят к обострению проблем воздействия автотранспорта на окружающую среду в городах и на автомобильных дорогах.

В составе пыли городов и пригородов, особенно вблизи придорожных территорий, присутствуют очень мелкие частицы, отделяющиеся от шины автомобиля при движении по асфальтобетонному покрытию. По результатам исследований, проведенных российскими и зарубежными учеными, [4] около 60 % шинной пыли имеют размеры 10 мкм и менее (мелкодисперсная пыль), что позволяет ей проникать в легкие человека. Кроме того, пылеобразные продукты, попадающие в атмосферу в результате износа протектора шин, содержат канцерогенные полиароматические углеводороды, N-нитрозамины, диаксин, нитропроизводные полиароматических углеводородов и другие вредные для организма человека вещества.

Исследование воздуха вблизи автомагистрали с умеренным движением показало присутствие до 6000 отдельных фрагментов шин в каждом м³ воздуха, более 58,5 % из них способны проникать в легкие человека и вызывать аллергические и онкологические заболевания. Кроме того, большое количество пыли от различных источников оседает на поверхности магистралей и придорожных зон и — пагубно влияет на здоровье населения.

Для оптимального размещения объектов придорожной инфраструктуры, необходимо учитывать значение факторов, влияющих на концентрацию пыли. К таким факторам, прежде всего, относятся интенсивность и состав

транспортного потока, метеоусловия (температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, скорость и направление ветра). Поскольку речь идет о запыленности примагистральных территорий, одним из значимых факторов является интенсивность и состав движения. В результате исследований, проведенных на автомагистралях Волгограда в 2009—2010 гг. [1], были получены данные по концентрации пыли в атмосферном воздухе при различной интенсивности транспортного потока. Эти данные были использованы при анализе взаимосвязи концентрации пыли от интенсивности транспортного потока. В результате чего была получена стохастическая зависимость (рис. 3), которая представляет собой линейное уравнение:

$$C_{\Pi} = 0,0004N - 0,8589, \tag{1}$$

где C_{Π} — концентрация пыли в атмосферном воздухе, мг/м³; N — интенсивность движения транспорта по автомагистрали, авт./ч.

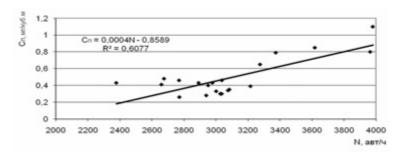


Рис. 3. Зависимость концентрации пыли вблизи автомагистралей от интенсивности движения

Также одним из основных факторов, влияющих на концентрацию пыли в воздушной среде, является скорость ветра, при которой частицы способны подниматься в воздух. Таким образом, получена зависимость концентрации пыли от скорости ветра (рис. 4), которая описывается уравнением:

$$C_{\Pi(V)} = 0.3243ln(V) + 0.0538,$$
 (2)

при этом $R^2 = 0.9436$, что свидетельствует о достаточно высокой степени тесноты связей.

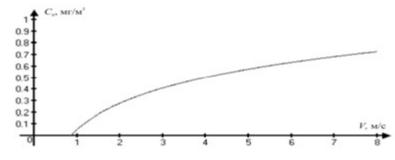


Рис. 4. Зависимость концентрации пыли от скорости ветра вблизи автомагистралей 215

Для исследования дисперсного состава пыли в воздушной среде Волгограда в Ворошиловском районе проводились измерения с использованием методики, приведенной в [2, 3]. Было взято 3 серии проб в часы пик утром, днем и вечером. Результаты анализа представлены в виде интегральных кривых распределения массы частиц по диаметру (рис. 5).

Данные кривые аппроксимируются функцией из двух звеньев: линейной и гиперболой.

$$k \nu P(D) = \begin{cases} a_1 + k l g \delta, & \text{если } \delta \leq \delta_{\kappa p} \\ a_2 + \frac{a_3}{l g \delta_{\kappa p} - l g \delta}, & \text{если } \delta \geq \delta_{\kappa p} \end{cases}$$
(3)

где $k \nu P$ — квантиль нормированной интегральной функции нормального распределения; a_1 , a_2 , a_3 — коэффициенты; $\delta_{\mbox{\tiny KP}}$ — максимальный размер частиц.

Результаты, полученные при проведении мониторинга воздушной среды г. Волгограда, позволили определить наличие частиц мелких фракций пыли PM_{10} и $PM_{2,5}$, которые наиболее опасны, поскольку способны проникать в легкие человека. Это указывает на необходимость проведения мероприятий по улучшению качества воздуха с целью обеспечения экологической безопасности окружающей среды и охраны здоровья человека.

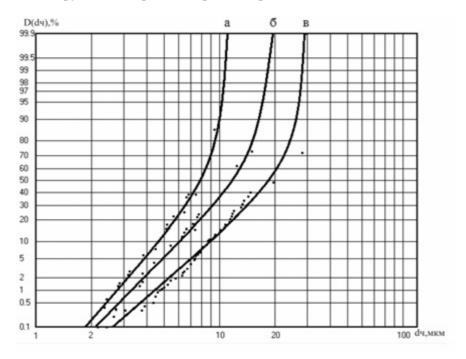


Рис. 5. Интегральные кривые распределения массы частиц $D(d_{\rm q})$ по диаметрам в атмосфере в часы пиковой активности автотранспорта (вероятностно-логарифмической сетке): a — доля частиц ${\rm PM_{10}}$ и ${\rm PM_{2,5}}$ будет составлять 90 % и 0,5 % от массы частиц размером до 12 мкм соответственно, отобранная в 19^{00} ; δ — доля частиц ${\rm PM_{10}}$ и ${\rm PM_{2,5}}$ будет составлять 37 % и 0,2 % от массы частиц размером до 20 мкм соответственно, отобранная в 14^{00} ; ϵ — доля частиц ${\rm PM_{10}}$ и ${\rm PM_{2,5}}$ будет составлять 14 % и 0,1 % от массы частиц размером до 29 мкм соответственно, отобранная в 9^{00}

Таким образом, необходимо учитывать уровень экологической безопасности жилой зоны вблизи автомагистралей, в том числе концентрацию и размер частиц пыли. С этой целью необходимо проведение мониторинга воздушной среды придорожных территорий и определение степени опасности примагистральных зон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Азаров В. Н., Калюжина Е. А. Об организации мониторинга PM_{10} и $PM_{2,5}$ на примере г. Волгограда // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архит. 2011. Вып. 25 (44) С. 398—402.
- 2. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) / В. Н. Азаров, В. Ю. Юркъян, Н. М. Сергина, А. В. Ковалева // Законодательная и прикладная метрология. 2004. № 1. С. 46—48.
- 3. *Азаров В. Н., Маринин Н. А., Жоголева Д. А.* Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM_{10} и $PM_{2,5}$) в атмосфере городов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5 (38). Ч. 2. С. 144—149.
- 4. *Третьяков О. Б., Гудков В. А., Тарновский В. Н.* Загрязнение окружающей среды продуктами износа шин // Вестник транспорта. -2005. -№ 6. С. 12—15.
- 1. *Azarov V. N.*, *Kalyuzhina E. A.* Ob organizatsii monitoringa RM₁₀ i RM_{2,5} na primere g. Volgograda // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkhit. 2011. Vyp. 25 (44) S. 398—402.
- 2. Metodika mikroskopicheskogo analiza dispersnogo sostava pyli s primeneniem personal'nogo komp'yutera (PK) / V. N. Azarov, V. Yu. Yurk"yan, N. M. Sergina, A. V. Kovaleva // Zakonodatel'naya i prikladnaya metrologiya. 2004. № 1. S. 46—48.
- 3. Azarov V. N., Marinin N. A., Zhogoleva D. A. Ob otsenke kontsentratsii melkodispersnoy pyli (RM $_{10}$ i RM $_{2.5}$) v atmosfere gorodov // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. No 5 (38). Ch. 2. S. 144—149.
- 4. *Tret'yakov O. B., Gudkov V. A., Tarnovskiy V. N.* Zagryaznenie okruzhayushchey sredy produktami iznosa shin // Vestnik transporta. 2005. № 6. S. 12—15.

© Азаров В. Н., Барикаева Н. С., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Азаров В. Н., Барикаева Н. С. Учет пылевого загрязнения атмосферного воздуха при размещении и организации объектов городской среды // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 213-217.

УДК 72:796.5 (470.45)

И. И. Соколов, А. И. Соколов, Е. И. Капустина, В. Ф. Сидоренко, Е. И. Горюнова

ЭКОТУРИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА г. ВОЛГОГРАДА (НА ПРИМЕРЕ о. САРПИНСКИЙ)

Разработан механизм градостроительного обеспечения развития экотуризма — нового направления туристической деятельности в Волгоградской области, планирования развития экотуристической системы как новой модели развития отрасли туризма для градостроительного освоения слаборазвитых местностей с хорошими условиями для развития экотуризма.

Ключевые слова: экология, экотуризм, рекреация, город.

The mechanism of urban planning to ensure the development of ecotourism — a new travel activity in Volgograd Oblast, ecotourism system as a new model of tourism development for the urban planning of areas with good conditions for the development of ecotourism — is worked out.

Key words: ecology, ecotourism, recreation, city.

В России развитие туризма как отрасли экономики в настоящее время вместе с интенсификацией процессов урбанизации и индустриализации сопровождается ростом ряда проблем: ухудшением состояния окружающей среды, дисбалансом развития туризма между регионами, большой конкурентностью и сменой приоритетов в отрасли: интерес туристов постепенно перемещается с традиционного туризма к новому виду — экотуризму.

Для решения этих проблем требуется развивать новую форму туризма с использованием местных природных ресурсов и обеспечивающую защиту окружающей среды. Необходимость научного обоснования использования этого вида туризма, включает градостроительное планирование развития регионов и обусловливает актуальность настоящего исследования.

Объектом исследования выбран о. Сарпинский на реке Волга города Волгограда (рис. 1).

Цель исследования — разработать механизмы, обеспечивающие устойчивое развитие рекреационных территорий на основе использования природных ресурсов о. Сарпинский, учитывающие особенности планирования и регулирования развития экотуризма для эффективного стимулирования развития отрасли туризма в границах г. Волгограда [1].

Выделены следующие задачи исследования:

анализ современных тенденций развития экотуризма в разных странах;

анализ туристического ресурса и рынка, социально-экономического положения и проблем, влияющих на развитие экотуризма;

формирование предложений по развитию туристической системы.

Предметом исследования является обоснование целенаправленного планирования развития экотуристической системы о. Сарпинский в процессе изучения местных туристических ресурсов, рынка туристических услуг и социально-экономическое положение острова в структуре Волгограда [2].

В настоящее время туризм активно развивается во многих странах как экономически выгодная отрасль, однако пренебрежение защитой окружающей среды и местной культурой на этом фоне привело к негативным последствиям.

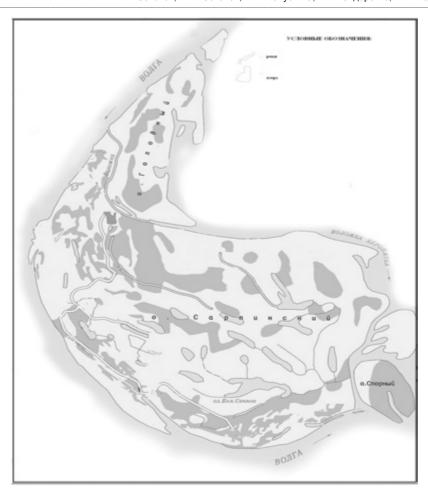


Рис. 1. Схема о. Сарпинский

Отрицательное влияние чрезмерного, неконтролируемого уровня развития туризма стало очевидным, особенно в развивающихся странах, из-за уничтожения некоторых видов всемирного, регионального и местного наследия [3]. Эти обстоятельства подвигли ученых и политиков на поиск щадящих форм туризма. Если не контролировать дальнейшее развитие туризма, то будет нанесен серьезный ущерб окружающей среде и культуре туристических стран. Необходимо в каждом конкретном туристском регионе разработать и осуществить четкое планирование организации туризма, иначе негативные последствия для туристического объекта будут расти. Важно найти новый вид массового туризма, который являлся бы экономически выгодным и не оказывал негативное влияние на окружающую среду и местную культуру. Такой формой устойчивого туризма стал экотуризм. По определению всемирного Фонда дикой природы: «Экотуризм — это туризм, включающий путешествия в места с относительно нетронутой природой с целью получить представление о природных и культурно-этнографических особенностях данной местности, который не нарушает при этом целостности экосистем и создает такие экономические условия, при которых охрана природы и природных ресурсов становится выгодной для местного населения».

Понятие экотуризм трактуют по-разному, но все трактовки можно разделить на три основные группы:

первая — отдых в экологически чистых местах, национальных парках, заповедниках, знакомство с дикой природой;

вторая — обучающие, познавательные программы о дикой природе, исчезающих видах животных и растений;

третья — активный отдых; непосредственное участие отдыхающих в работах по определенным проектам помощи природе.

Волгоградская область является туристическим регионом, но развитие экотуризма, особенно в восточной части региона пока отстает. Восточные регионы области имеют богатые ресурсы для развития экотуризма, но эти районы мало населены и имеют невысокий уровень развития экономики, что позволяет для развития экотуризма использовать опыт других стран, т. е. «использовать развитие экотуризма для поддержания жизни местного населения» (профессор Джун Линшэнь).

Волгоградская агломерация имеет большие преимущества для развития экотуризма, в том числе уникальные природные и культурные туристические ресурсы, мировые памятники природного и культурного наследия и т. д. Широкая пропаганда и активное стимулирование развития экотуризма способствует развитию местного и регионального туризма, а также национальной политики в области охраны окружающей среды в России. В настоящее время зоны экотуризма в Волгоградской области, помимо основных лесных парков и заповедников, позволяют выделить четыре основных вида экотуризма [4].

- 1. Озера: Сарпа 42,6 км², Барманцак 25,8 км²; Цаган-Нур 23,5 км²; Батыр-Мала 21,9 км², Эльтон и т. д.
- 2. Леса в Даниловском, Калачевском, Фроловском, Старополтавском районах и др.
 - 3. О. Сарпинский, Голодный, Спорный и др.
- 4. Природные парки: Волго-Ахтубинская пойма, Донской, Нижнехоперский, Усть-Медведицкий, Цимлянские пески, Щербаковский, Эльтонский.

В настоящее время формой туризма в Волго-Ахтубинской пойме является природный и гуманитарный туризм. Большая часть туристических объектов расположена в пойменных районах . На данном этапе пока отсутствуют четкие правила и строгие ограничения в направлении охраны окружающей среды при развитии туризма Волго-Ахтубинской помы. Следует отметить, что плохо организованная туристическая деятельность наносит непоправимый экологический ущерб.

Для повышения эффективности развития общего туризма области можно выделить различные туристические функции в разных районах. Принимая во внимание хрупкую экологическую среду Волгограда, и то, что перспективное развитие экотуризма прямо связано с экологической безопасностью и устойчивостью природных систем, выбираем для развития экотуризма о. Сарпинский, где необходимо создать достаточную туристическую инфраструктуру. Использовать этот опыт развития экотуризма и для других туристических районов области, с целью создания общей экотуристической системы охраны окружающей среды.

Результаты изучения существующей ситуации распределения и состава туристических ресурсов показывают, что самое подходящее место для развития показательного района экотуризма — это о. Сарпинский.

Остров Сарпинский располагается между основным руслом р. Волги и ее рукавом — Воложка-Куропатка. Площадь острова и его охранной зоны — 11272,64 га. Это самый большой остров Европы: N 48° 37.400′ Е 44° 27.600′, длина его 20 км, ширина 18 км. С востока омывает остров Воложка-Куропатка, а с запада Кировского района его обтекает коренной судоходный рукав Волги. Раньше Воложку-Куропатку называли старой Волгой, а татары — Сарпой. Отсюда и название острова. Раньше была и речка Сарпа. Она брала начало на Ергенинских высотах, на водоразделе между Волгой и Доном (е́рге или ерге́ по-калмыцки — крутой берег, обрыв), и текла в основном по трассе Волго-Донского судоходного канала на волжском склоне. Калмыки реку Сарпу называли Шорбажур (шор — пересыхающий водоем).

По всей территории острова расположены населенные пункты. В глубине острова наиболее крупные населенные пункты — Бекетовский, Кожзавод, хутор Павловский (где располагаются местные органы управления). Они получили названия со времен строительства здесь подсобных хозяйств поселков Бекетовка и Кожзавод [5].

Флора островной системы насчитывает более 300 видов. В ее составе преобладают представители семейства сложноцветных, злаковых, осоковых и других. На Сарпинском острове 25 крупных озер: Осинево, Песчаное, Кривуша, Дымное, Темное, Тыловое, Большое, Сенное и др.

Выполнен анализ существующей туристической ситуации в районе о. Сарпинский и рассмотрены проблемы, влияющие на развитие экотуризма в районе. Среди них: отсутствие планирования экотуризма и недостаток капитала. Эти две проблемы давно сдерживают развитие экотуризма на о. Сарпинский, поэтому многие местные населенные места, имеющие живописные ландшафты и аттрактивные территории, не были исследованы. Необходимо разрабатывать объекты экотуризма, которые позволят не уничтожать, а рационально использовать природные ресурсы.

Исходя из этого в работе сформулирован принцип совершенствования развития экотуризма на о. Сарпинский: принцип ведущей причины. На зонирование экотуризма оказывает влияние множество причин, однако необходимо определить главную причину, т. к. она влияет на результат зонирования туризма района. Например, ведущей формой развития туризма в районе острова является экотуризм.

На острове Сарпинский имеются богатые и уникальные туристические ресурсы, на базе которых целесообразно развитие новых экотуристических зон. Необходимо использовать силу влияния основной зоны острова Сарпинский для формирования распределенной туристической системы острова. Это позволит с одной стороны, уменьшить туристическую нагрузку на о. Сарпинский, а с другой стороны, расширить виды экотуризма.

В соответствии с существующей ситуацией развития и туристическим ресурсом можно определить пять следующих зон развития экотуризма:

- а) озерная зона экотуризма;
- б) наблюдения за дикими животными и растениями;
- в) водно-спортивный и приключенческий виды;
- д) лыжная зона экотуризма;
- г) зона развития культуры и традиций нацменьшинств.

На основании проведенного анализа разработана схема развития комплексной экотуристической системы о. Сарпинский (рис. 2) по организации и градостроительному обеспечению развития экотуризма с целью сохранения экологической среды и обеспечения устойчивого использования экотуристических ресурсов, которые могут быть использованы для дальнейшего расширения сферы туризма в Волгоградской области.

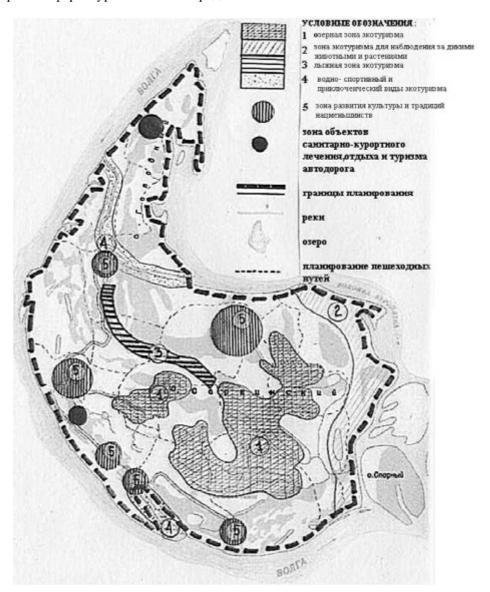


Рис. 2. Схема развития комплексной экотуристической системы о. Сарпинский

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Антюфеев Ф. В. Большой Волгоград стоимостью сто миллиардов рублей // Социология города. 2008. № 1. С. 21—24.
- 2. *Птичникова Г. А.* Образ города-героя языком Сталинградского ампира: послевоенное восстановление Сталинграда // Социология города. 2010. C. 28—36.

- 3. *Соколов И. И.* Анализ состояния территории Юга России на основе методов пространственного планирования и их эффективного использования с учетом рекреационного потенциала // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. 2008. № 1 (5). С. 4.
- 4. *Соколов И. И.*, *Соколов А. И.* Система рекреационных территорий основа экосистемы города // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер. : Стро-во и архит. 2009. № 15 (34). С. 234—239.
- 5. Птичникова Γ . А., Антиофеева O. А. Материальное обозначение культурной памяти в пространстве города: сохранение и использование архитектурно- археологических памятников (на примере памятников римско-византийской культуры Сербии) // Социология города. 2011. № 3. С. 3—9.
- 1. Antyufeev F. V. Bol'shoy Volgograd stoimost'yu sto milliardov rubley // Sotsiologiya goroda. 2008. N 1. S. 21—24.
- 2. *Ptichnikova G. A.* Obraz goroda-geroya yazykom Stalingradskogo ampira: poslevoennoe vosstanovlenie Stalingrada // Sotsiologiya goroda. 2010. S. 28—36.
- 3. *Sokolov I. I.* Analiz sostoyaniya territorii Yuga Rossii na osnove metodov prostranstvennogo planirovaniya i ikh effektivnogo ispol'zovaniya s uchetom rekreatsionnogo poten-tsiala // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. 2008. № 1 (5). S. 4.
- 4. *Sokolov I. I., Sokolov A. I.* Sistema rekreatsionnykh territoriy osnova ekosistemy goroda // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Stro-vo i arkhit. 2009. № 15 (34). S. 234—239.
- 5. *Ptichnikova G. A.*, *Antyufeeva O. A.* Material'noe oboznachenie kul'turnoy pamyati v prostranstve goroda: sokhranenie i ispol'zovanie arkhitekturno-arkheologicheskikh pamyatnikov (na primere pamyatnikov rimsko-vizantiyskoy kul'tury Serbii) // Sotsiologiya goroda. 2011. № 3. S. 3—9.
 - © Соколов И. И., Соколов А. И., Капустина Е. И., Сидоренко В. Ф., Горюнова Е. И., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Экотуристическая система г. Волгограда (на примере о. Сарпинский) / И. И. Соколов, А. И. Соколов, Е. И. Капустина, В. Ф. Сидоренко, Е. И. Горюнова // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стрво и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 218—223.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

УДК 69.003

Л. Б. Зеленцов, А. Л. Зеленцов, К. Н. Островский

WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ — **OCHOBA COBPEMEHHЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ TEXHOЛOГИЙ В CTPOИТЕЛЬСТВЕ**

Решение проблемы широкого применения информационных технологий (ИТ) класса ERP в управлении строительством сдерживается из-за высокой стоимости приобретения программного и технического обеспечения, а также значительных текущих затрат на актуализацию баз данных и техническое обслуживание оборудования. Выход из положения возможен за счет использования web-интерфейса и схемы по аренде web-приложений (ASP — Applications Service Providing).

В рассматриваемой концепции создания ИТ предлагается следующий состав webприложений: ценообразование и разработка смет, оперативное управление объектом строительства, управление качеством строительства объекта, управленческий учет и нормирование расхода ресурсов, организационно-технологическое моделирование возведения объекта строительства, ресурсное обеспечение.

K л ю ч е в ы е с л о в а : управление строительством, оперативное управление, управление качеством, информационные технологии, базы данных, web-приложения, аренда web-приложений (ASP — Applications Service Providing).

The solution of the problem of IT wide application, use of IT-class ERP in the management of construction is restrained because of the high cost of an acquisition of software and hardware, as well as significant ongoing costs on the update database and the equipment service. It is possible to find a solution to this problem at the expense of use of the web interface and web applications lease (ASP — Applications Service Providing).

In this concept of IT creation the authors offer the following content of the web-applications: pricing and development of cost estimates, operational management of a construction object, quality management of a construction object, management accounting and regulation of resources consumption, organizational and technological modeling of a construction object, resource provision.

 $K\,e\,y\,$ words: construction management, operational management, quality management, information technology, database, Web-application, web-applications lease (ASP — Applications Service Providing).

С каждым годом web-приложения приобретают все большую популярность из-за их универсальности, удобства использования и гибкости. Web-системы имеют преимущество перед обычными desktop-системами, которые работают по технологии клиент-сервер. Главное преимущество web-приложений — это удобство в поддержке и администрировании: отсутствие необходимости установки приложения на каждое рабочее место, удобство при обновлении версий web-приложения, возможность настройки интерфейса для каждого пользователя.

В последнее время список сервисов и ресурсов значительно увеличился. Интернет превратился из однообразных статических страничек в мощный инструмент интерактивности и общения с конечными пользователями. Многие компании переходят с обычных приложений на web-приложения, именно потому что видят в них будущее. Широкое распространение использования web-интерфейса нашло при создании информационных технологий в различных отраслях народного хозяйства [1, 2].

Установка web-приложений дешевле и намного проще. Благодаря использованию именно web-приложений предприятия и компании могут снизить затраты на содержание ИТ-отделов, которые отвечают за установку программного обеспечения и его сопровождение.

Важное значение имеет стоимость обслуживания программного обеспечения (ПО). Обновление ПО очень похоже на его установку, поэтому преимущества, которые были упомянуты выше, имеют место и в данной ситуации. Для того чтобы совершить обновление web-приложения, его необходимо обновить только на сервере и все сразу же смогут работать с новой версией.

Web-приложения более универсальны и практичны для конечного пользователя. Достаточно будет установить web-приложение на сервер, работающий под любой современной ОС, и можно пользоваться им через интернет на любом мобильном устройстве или компьютере, работающем под управлением Windows, Linux, Mac OS или какой-либо другой ОС. Если приложения сделаны качественно, то они будут работать одинаково хорошо в любом браузере, будь то Mozilla Firefox, Opera, Google Chrome, Internet Explorer или Safari.

Приложения в среде web облегчают организацию хранения данных. Если есть необходимость обращаться к одним и тем же данным из разных мест, то намного проще организовать их хранение в одном месте, вместо того чтобы разбрасывать по разным базам данных. Благодаря этому отпадает необходимость синхронизации и повысится степень их защищенности.

Любое web-приложение, которое предназначено для манипулирования конфиденциальными данными, имеет следующий механизм защиты.

- 1. Обработки пользовательского доступа к данным и функциям приложения с целью предотвращения несанкционированного получения информации.
- 2. Обработки пользовательского ввода в функциях приложения с целью предотвращения непредусмотренного поведения.
- 3. Обработки исключительных ситуаций, связанных с попытками атакующего ввести приложение в состояние непредусмотренного поведения, с целью введения атакующего в заблуждение.
- 4. Возможности полного мониторинга и конфигурации приложения и каждой его составляющей со стороны администратора.

Особое значение имеет разработка web-приложений в сфере строительства. Современные возможности доступа к сети интернет по скоростной передаче информации практически из любого населенного пункта РФ позволяют принципиально по-новому реализовать системы управления строительством. Невозможность центральному офису строительной фирмы своевременно получать с объектов строительства, разбросанных часто на большой территории объективную оперативную информацию, которая тормозила использова-

ние ИТ класса ERP и не позволяла добиваться ожидаемого экономического эффекта от их внедрения.

Другой проблемой, сдерживающей широкое применение ИТ класса ERP, в управлении строительством является высокая стоимость приобретения программного и технического обеспечения, а также значительные текущие затраты на актуализацию баз данных и техническое обслуживание оборудования. Небольшие строительные компании не приобретя минимальный набор специализированных программных продуктов, в частности по расчету смет, не могут участвовать в различных конкурсах на получение заказа от федеральных или муниципальных структур.

Сегодня одной из самых важных проблем компаний является поиск квалифицированных сметчиков, а также других специалистов с большим опытом работы в строительстве.

Те подрядчики (субподрядчиков), которые не захотят или не могут приобрести соответствующий набор web-приложений, смогут воспользоваться схемой по аренде web-приложений (ASP — Applications Service Providing) [3].

Провайдер приложений устанавливает ИТ на своих серверах и обеспечивает доступ к ним подрядных организаций. Клиенту не нужно теперь устанавливать программное обеспечение на свой компьютер, обновлять его, делать резервное копирование и защищать от несанкционированного доступа — все это делает провайдер.

Сервер приложений и сервер базы данных могут быть установлены на оборудовании провайдера (ASP), и тогда пользователи ИТ инсталлируют на свои компьютеры лишь клиентские приложения системы и работают с удаленным сервером приложений через web-интерфейс. Преимущества такого подхода: возможность доступа к приложениям высокого класса, надежность функционирования приложений, отсутствие необходимости в дорогостоящих серверах, лицензий, внедренческих услуг и содержание ИТ-отдела по поддержке системы.

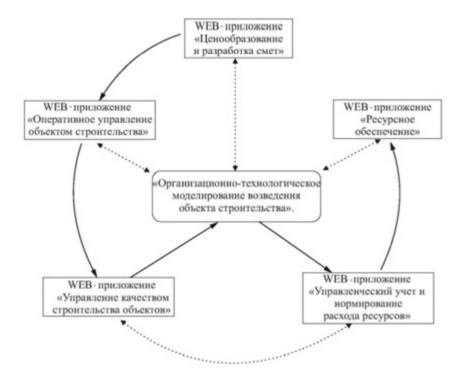
Предлагается следующий состав web-приложений, порядок их разработки и внедрения в составе интегрированной информационной технологии управления (ИИТУ) строительством (рис.).

web-приложение «Ценообразование и разработка смет» включает два модуля: ввод информации с рабочих чертежей и формирование ресурсной базы, расчет смет.

Необходимость ввода информации с рабочих чертежей и формирование ресурсной базы обусловлено тем, что в строительных организациях работниками ПТО при получении ПСД осуществляется обычно собственная проверка правильности составления локальных смет в части объемов работ и потребности в материальных ресурсах на основании данных спецификаций рабочих чертежей.

Поэтому первой задачей является создание картотеки рабочих чертежей, позволяющей отслеживать весь их жизненный цикл, второй — ввод материальных ресурсов из спецификаций на основании справочника ресурсов.

Расчет смет осуществляется на основании одной из существующих методик, в том числе с использованием библиотеки сметных фрагментов и объектов-аналогов.



Структура web-приложений ИИТУ строительством

При формировании сметной информации предлагается использовать следующие базы:

базы данных федеральных и региональных нормативов (ТЭР, ФЭР, сметные нормативы расхода ресурсов);

базы данных текущих цен на ресурсы; базу знаний технологий выполнения работ и соответствующих им сметных фрагментов или просто составов работ;

базу знаний — объектов-аналогов.

Web-приложение «Оперативное управление объектом строительства» состоит из трех алгоритмически взаимосвязанных блоков.

- 1. Недельно-суточное планирование набор работ и ресурсов в разрезе от 1 дня до недели. Формирование ведомости потребности в материалах и комплектующих с учетом их остатков на приобъектных складах: по объектам, по строительной организации в целом и по поставщикам материальных ресурсов.
- 2. Управление объектом строительства реализует функции, которые выполняют прораб или мастер на объекте.

К функциям, которые должны выполняться на объекте ежедневно, следует отнести ведение следующих документов:

картотеку учета и движения материалов на объекте;

журнал простоев — предназначен для отражения величин внутрисменных и целосменных простоев и их причин (поломка строительной техники, отсутствие материалов, неблагоприятные погодные условия и т. п.);

табель учета отработанного времени рабочими;

журнал учета работы строительных машин и механизмов;

журнал производства работ; журнал сварочных работ и т. п.

3. Учет и движение материалов на объекте включает:

ведение журнала приходных накладных;

инвентаризация и оприходование излишков;

актирование списания материалов при производстве работ;

ведение журнала внутренних перемещений между объектами строительства.

Web-приложение «Управление качеством строительства объектов» представляет собой систему электронного документооборота в системе контроля качества.

В результате осуществляется создание электронного архива документов, подтверждающих качество выполненных работ, и использованных материалов со всеми реквизитами исполнителей и поставщиков с привязкой к конкретным конструкциям зданий и сооружений. База данных исполнительной документации включает:

документы, подтверждающие качество поставляемой продукции (сертификаты соответствия, паспорта) в момент оприходования материалов на склал:

акты скрытых работ и приемки смонтированных ответственных конструкций с их регистрацией в соответствующих журналах и привязкой к системе координат;

документы, сопровождающие проведение испытаний материалов (бетона, арматуры и т. д.) в лабораториях с привязкой их к конкретной поставке материала и т. д.

Web-приложение «Управленческий учет и нормирование расхода ресурсов».

Имея детальную информацию из чертежей и информацию управленческого учета, зафиксированную на объекте строительства в режиме on-line, появляется возможность анализа использования рабочего времени рабочих, строительных машин и механизмов, расхода материалов.

Объемы работ, зафиксированные в журнале производства работ, могут быть сгруппированы: по исполнителям (отдельным рабочим и бригадам) и по видам работ (ВР). Фактические трудозатраты по видам работ определяются на основании табелей учета отработанного времени. Имея все перечисленные данные, а также информацию о потерях времени (журнал внутрисменных и целосменных потерь) может быть осуществлен детальный анализ использования рабочего времени и произведен расчет показателей производительности (выработки, коэффициента выполнения норм выработки) и коэффициента использования рабочих на основных работах. Аналогичный анализ может быть произведен и по использованию строительных машин и механизмов.

Web-приложение «Организационно-технологическое моделирование возведения объекта строительства».

1. Формирование организационно-технологической модели (ОТМ) различной степени детализации: определение состава работ; автономный ввод объемов работ, трудоемкости, стоимости; подбор (назначение) численности исполнителей, выработки; установление взаимосвязей работ.

- 2. Расчет и оптимизация ОТМ по времени с учетом сроков поставки ресурсов.
- 3. Построение графиков освоения финансовых средств и потребности в рабочей силе.
 - 4. Мониторинг временных параметров работ и объектов.
 - 5. Создание библиотеки объектов-аналогов.

В настоящее время на рынке ПО в сфере управления проектами представлены следующие программные продукты: Microsoft Project, Primavera, TeamLab, SpiderProject, Meraплан [4, 5, 6]. Постепенно и эти программы планируется перенести в среду Web, но пока что они являются стандартными клиент-серверными вариантами. С точки зрения функциональности, практичности и эргономики следует выделить MS Project, так как разработкой этого продукта занимается признанный лидер по созданию офисных программ — Microsoft, что дает огромные возможности по интегрированию данного приложения с другими.

Web-приложение «Ресурсное обеспечение».

Одной из задач, которую необходимо решить после разработки и оптимизации ОТМ, является ресурсное обеспечение объекта строительства. К ресурсному обеспечению следует отнести комплектование объекта строительства в зависимости от его объемно-планировочных и конструктивных особенностей: бригадами рабочих для выполнения основных работ (каменщиков, бетонщиков-арматурщиков, монтажников и т. п.); вспомогательными рабочими (разнорабочими); грузоподъемными механизмами, землеройной техникой; пециализированными организациями для выполнения сантехнических, электромонтажных, вентиляционных и т. п. работ; материалами и конструкциями.

В настоящее время на подрядном рынке наблюдается недостаток квалифицированных рабочих, особенно в сезонный период, поэтому увязка сроков производства работ с ресурсным обеспечением становится все более сложной задачей. Одним из механизмов, который необходимо задействовать в этой сфере, является интернет. Проведенный нами анализ интернет-ресурсов в сфере строительства и строительных материалов показал, что они уже сейчас могут быть использованы в качестве основного источника информации для поиска соответствующих ресурсов.

Основное отличие предлагаемой ИТ заключается в том, что накопление и систематизация объективной оперативной информации позволит высшему руководству компании на основании графических и экономикоматематических моделей осуществлять постоянный контроль трех основных параметров: сроков, себестоимости, качества строительства объекта. Это, в свою очередь, позволяет на базе этой информации вырабатывать и принимать тактические (месяц, квартал) и стратегические (год и более длительный период) решения по управлению строительством объектов и оптимизации бизнес-процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Зырянов В. В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий // Инженерный вестник Дона. 2011. № 4.
- 2.~3еленцов Л. Б. Информационное обеспечение формирования водного баланса в системе водоснабжения мегаполиса // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2012. Вып. 1 (20). URL: http://www.vestnik.vgasu.ru.

- 3. Что кроется за аббревиатурой ERP? URL: http://www.ecommerce.ru/biz_tech/implementation/man agement/.
- 4. Обзор: 10 русских SaaS-систем управления проектами URL: http://projectman.livejournal.com/5123.html.
 - 5. Облачный Microsoft Project 2013. URL: http://www.microsoftproject.ru/articles.phtml?aid=446.
 - 6. MS Project URL: http://www.microsoftproject.ru/.
- 1. Zyryanov V. V. Modelirovanie pri transportnom obsluzhivanii mega-sobytiy // Inzhenernyy vestnik Dona. — 2011. — № 4.
- 2. Zelentsov L. B. Informatsionnoe obespechenie formirovaniya vodnogo balansa v sisteme vodosnabzhe-niya megapolisa /// Internet-vestnik VolgGASU. 2012. Vyp. 1 (20). URL: http://www.vestnik.vgasu.ru.
- 3. Chto kroetsya za abbreviaturoy ERP? URL: http://www.ecommerce.ru/biz_tech/implementation/management/.
- URL: Obzor: 10 russkikh SaaS-sistem upravleniya proektami http://projectman.livejournal.com/5123.html.
 - 5. Oblachnyy Microsoft Project 2013. URL: http://www.microsoftproject.ru/articles.phtml?aid=446.
 - 6. MS Project URL: http://www.microsoftproject.ru/.

© Зеленцов Л. Б., Зеленцов А. Л., Островский К. Н., 2012

Поступила в редакцию в сентябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Зеленцов Л. Б., Зеленцов А. Л., Островский К. Н. Web-приложения — основа современных информационных технологий в строительстве // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48). С. 224—230.

УДК 624.04:514

В. В. Галишникова

ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНАЯ ЗАДАЧА УСТОЙЧИВОСТИ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ: О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Приведены результаты исследования возможностей методов и алгоритмов геометрически нелинейного анализа устойчивости, реализованных в коммерческом программном комплексе ANSYS. Выполнено сравнение результатов решения тестовых примеров с точными аналитическими решениями, а также с результатами расчета по программе SpaceTruss, разработанной автором.

Ключевые слова: деформации, строительные конструкции, комплекс ANSYS.

The possibilities of algorithms and methods of geometrically nonlinear stability analysis implemented in the software product ANSYS are shown in the article. The results of test stages are compared to the exact analytical solutions, as well as to the results of calculations for SpaceTruss programme developed by the author.

Key words: strain, building constructions, ANSYS complex.

В настоящее время считается общепризнанным, что деформации и устойчивость легких пространственных стержневых конструкций могут быть надежно предсказаны лишь с использованием геометрически нелинейного анализа. Коммерческий программный комплекс ANSYS широко используется как за рубежом, так и в России для нелинейных расчетов строительных конструкций, в том числе для определения критических нагрузок при потере устойчивости и вычисления продолжения траектории нагружения за критическими точками. Работа посвящена анализу возможностей алгоритмов, использованных в комплексе ANSYS, и их сравнению с алгоритмами, разработанными нами и реализованными в программном приложении SpaceTruss.

Расчетные методы, используемы в программном комплексе ANSYS, описываются в руководствах пользователя и встроенных модулях системы, доступных из меню пользователя. При выполнении исследования использовались следующие источники: Руководство пользователя (Operations Guide); Руководство по основам расчетов (Basic Analysis Guide); Руководство по расчету строительных конструкций (Structural Analysis Guide); Руководство по выполнению специальных расчетов (Advanced Analysis Techniques Guide); Справочник команд (Commands Reference); Справочник элементов (Elements Reference); Теоретический справочник (Theory Reference).

Рассмотрены основные особенности методов, используемых в комплексе ANSYS, для нелинейных расчетов пространственных шарнирно-стержневых систем. Поскольку доступ к программным кодам является закрытым, то предполагается, что информация, приведенная в перечисленной документации, является достоверной и полной.

При выполнении расчетов использовалась версия 11.0 комплекса ANSYS. Для верификации результатов расчета использовалось точное аналитическое решение, полученное автором.

1. Точное решение

Вывод аналитического решения задачи геометрически нелинейного деформирования и устойчивости равновесия симметричной пространственной трехстержневой фермы приведен в работе [1]. Для удобства изложения мате-

риала в данном разделе приведем формулировку задачи и полученные решения. Задача сформулирована в следующих безразмерных переменных:

$$w_1 = u_x/h_0$$
, $w_2 = u_y/h_0$, $w_3 = u_z/h_0$, (1)

$$p_1 = \frac{2P_x}{3EA} \left(\frac{L_0}{h_0}\right)^3, \quad p_2 = \frac{2P_y}{3EA} \left(\frac{L_0}{h_0}\right)^3, \quad p_3 = \frac{2P_z}{3EA} \left(\frac{L_0}{h_0}\right)^3,$$
 (2)

где $m=a/h_0$ — коэффициент, характеризующий пологость фермы; a — радиус основания фермы; h_0 — высота вершины фермы в исходной конфигурации; L_0 — длина стержня фермы в исходной конфигурации; u_x,u_y,u_z — компоненты перемещений в глобальной системе координат; w_1,w_2,w_3 — безразмерные компоненты перемещений; P_x,P_y,P_z — действительные компоненты нагрузки; p_1,p_2,p_3 — безразмерные компоненты нагрузки.

Разрешающие уравнения задачи для ферм, показанных ниже на рис.1 и 2, имеют следующий вид:

$$p_1 = w_1 (m^2 + w_1^2 + w_2^2 + w_3(2 + w_3)); (3)$$

$$p_2 = w_2 (m^2 + w_1^2 + w_2^2 + w_3(2 + w_3)); (4)$$

$$p_3 = (1 + w_3)(w_1^2 + w_2^2 + w_3(2 + w_3)). (5)$$

В случае, если ферма подвержена действию вертикальной сосредоточенной силы P_z , приложенной в вершине при $P_x = 0$ и $P_y = 0$, уравнения (1 - 5) имеют следующие два решения:

Решение 1:
$$w_1 = w_2 = 0$$
, $p_3 = w_3(1+w_3)(2+w_3)$. (6)

Решение 2:
$$m^2 + w_1^2 + w_2^2 + w_3(2 + w_3) = 0$$
, $p_3 = -m^2(1 + w_3)$. (7)

Оба решения имеют сингулярные точки:

Решение 1:
$$w_{3c} = -0.422649731$$
, $p_{3c} = -0.384900179$. (8)

Решение 2:
$$w_{3c} = -1 + \sqrt{1 - m^2}$$
, $p_{3c} = -m^2 \sqrt{1 - m^2}$. (9)

Сингулярная конфигурация, заданная решением 1, не зависит от коэффициента m, тогда как сингулярная конфигурация, соответствующая решению 2 зависит от его значения. Сингулярная точка (9) принадлежит также и решению 1.

Из выражения p_3 в уравнениях (7) решения 2 следует, что для $p_3 = 0$ вертикальное перемещение $w_3 = -1$. Это значение противоречит определению исходной конфигурации, перемещения которой равны нулю. Следовательно, первоначально траектория нагружения следует решению 1.

Дальнейшее поведение конструкции зависит от ее геометрической формы. Если ферма пологая, то предельная точка (8) решения достигается пер-

вой, и происходит перескок вершины в нижнее положение. В этом случае существует единственная ветвь продолжения решения за критической точкой. Перемещения на продолжении траектории нагружения должны удовлетворять выражениям (6) решения 1.

Если ферма подъемистая, то сингулярная точка (9) достигается раньше, чем сингулярная точка (8). Точка (9) является точкой бифуркации. Траектория нагружения за точкой бифуркации имеет две ветви: ветвь решения 1, заданную выражениями (6) и ветвь решения 2, заданную выражениями (7).

В данном исследовании аналитическое решение использовалось для оценки численных решений, полученных при помощи программного комплекса ANSYS и программы SpaceTruss. При этом учитывались следующие аспекты:

точность результатов деформационного анализа;

способность алгоритма распознавать наличие критических точек (8) или (1.9) на траектории нагружения;

возможность точного вычисления перемещений и нагрузок критической конфигурации;

способность алгоритма вычислять продолжение траектории нагружения за критическими точками.

Хорошо известно, что численные решения испытывают наибольшие сложности в окрестностях точек бифуркации. Поэтому рассматривались два случая работы конструкции — при наличии предельной точки решения и при наличии точки бифуркации.

2. Методы расчета, используемые в расчетах строительных конструкций, в программе ANSYS.

Программный комплекс ANSYS охватывает широкий спектр инженерных задач и включает большое число разнообразных методов и моделей.

В данной работе рассмотрены лишь методы, непосредственно используемые в расчетах на устойчивость.

В программе ANSYS используются 4 методики решения задач устойчивости:

решение задачи на собственные значения;

нелинейная стабилизация;

метод продолжения по длине дуги;

«медленный динамический» ("slow dynamic") расчет.

Расчет на устойчивость методом решения задачи на собственные значения соответствует традиционной теории. Уравнения равновесия составляются для мгновенного состояния конструкции, однако геометрические уравнения при этом линеаризуются. В разделе 7.1.1 «Руководство по расчету строительных конструкций» (ANSYS Structural Guide) отмечается: «...расчет на устойчивость с использованием задачи на собственные значения часто приводит к неконсервативным результатам и не рекомендуется к использованию в практических инженерных расчетах». В связи с этим, данная методика в сравнении не рассматривалась.

«Медленный динамический» (slow dynamic) расчет основан на искусственном введении дополнительных масс в расчетную схему и демпфировании к исходной модели. Расширенная модель решается с использованием времен-

ной интеграционной схемы, которая сходится к решению статической задачи, если массы и демпфирование были выбраны удачно. В Руководстве отмечается, что этот метод «не слишком легок в использовании» и дается рекомендация использовать в расчетах метод нелинейной стабилизации или метод продолжения по длине дуги. В связи с этим, данный метод также исключен из сравнения.

Нелинейная стабилизация. Данная методика также требует расширения исходной модели. Описание методики приведено в разделе 8.11.1 руководства (Structural Guide). В каждом узле вводятся искусственные демпферы (гасители колебаний), один конец которых соединен с узлом, а другой — закреплен. На каждом подшаге вычисляется псевдоскорость демпфера. Она равна инкременту перемещения узла, деленному на временной инкремент на подшаге. Демпфирующая сила пропорциональна псевдоскорости узла элемента относительно закрепленного узла демпфера.

Расчет конструкции может состоять из нескольких последовательных шагов с различными моделями нагрузки. Шаг раскладывается на подшаги, относительная продолжительность которых зависит от метода расчета и часто определяется автоматически встроенными алгоритмами ANSYS.

Значение степени свободы, которая становится неустойчивой на какомто подшаге, значительно возрастает. Большой инкремент перемещения вызовет большую псевдоскорость, которая, в свою очередь, приведет к большой силе в демпфере. Большая стабилизирующая сила уменьшает инкремент перемещения в узле на подшаге. Степени свободы, не теряющие устойчивости, дают малые псевдоскорости и малые силы в демпферах.

Очевидно, что пригодность расширенной модели зависит от свойств искусственных демпферов. Если силы в демпферах слишком малы, то конструкция не стабилизируется. Если силы слишком велики по сравнению с силами, связанными с исходной жесткостью элемента, то страдает точность расчета. В программе ANSYS предусмотрены два метода контроля стабилизирующих сил: задание коэффициента диссипации энергии и задание коэффициента демпфирования (раздел 8.11.1.1 руководства).

Коэффициент диссипации энергии — это отношение работы, выполненной стабилизирующими силами к потенциальной энергии элемента. Данные, полученные на подшагах, используются программой для модификации заданного коэффициента диссипации, поэтому рекомендуется «проверять данные после окончания расчета, так как заданный коэффициент диссипации в решении может быть больше заданного пользователем командой STABILIZE». Использование коэффициента демпфирования рекомендуется «если становится очевидным, что расчет слишком чувствителен к значению коэффициента диссипации».

Для нелинейной стабилизации пространственных ферм в программе ANSYS использован элемент LINK180. Было использовано также допущение о малости относительных деформаций (раздел 3.3. руководства).

В программе ANSYS для решения нелинейных задач используется процедура Ньютона — Рафсона. Для проверки сходимости на подшаге рекомендуется использовать силовой критерий (help-функция команды CNVTOL):

итерация прерывается, если значение квадратного корня суммы квадратов неуравновешенных сил меньше чем значение квадратного корня суммы квадратов нагрузок, умноженного на заданный коэффициент допуска.

В разделе 8.11.1.2 Руководства описывается методика проверки результатов после применения стабилизации. В частности, рекомендуется проверять энергию стабилизации при помощи команды PRENERGY. Приемлемыми считаются значения, составляющие до 1 % потенциальной энергии. Результаты с большей энергией стабилизации считаются приемлемыми, если стабилизирующие силы не превосходят 0,5 % от приложенных нагрузок и от реакций. Далее говорится: «Даже если и энергия стабилизации и стабилизирующие силы слишком велики, результаты могут быть правильными. Такой сценарий возможен, когда большая часть упругой конструкции подвергается перемещению как жесткое тело (например, при перескоке). В этом случае энергия стабилизации может быть большой, также как и стабилизирующая сила для некоторых степеней свободы на некоторых подшагах; при этом результаты могут иметь приемлемую точность. Тем не менее, результаты должны быть соотнесены с прочими имеющимися данными, и их достоверность оценена пользователем».

Метод продолжения по длине дуги. В модификации метода, используемая программой ANSYS, применяется матрица касательной жесткости, вычисленная для начала шага. В каждом цикле итераций вычисляются неуравновешенные силы пробного решения и прикладываются как внешняя нагрузка в следующем цикле итераций. Начальная длина дуги задается пользователем. В окрестности критических точек длина дуги на шаге модифицируется алгоритмом.

В разделе 8.11.3 Руководства приводится сравнение методов продолжения по длине дуги и метода нелинейной стабилизации и даются следующие пояснения и рекомендации.

«Нелинейная стабилизация может быть использована для выявления как местной, так и общей потери устойчивости с некоторыми ограничениями, относящимися к совместимости с другими алгоритмами и материалами. Однако нелинейная стабилизация не может обнаружить нисходящую ветвь кривой нагрузка-перемещение для задач, где присутствует общая потеря устойчивости».

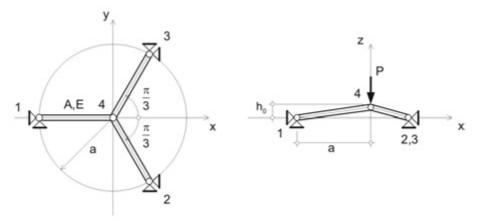
«Метод продолжения по длине дуги в состоянии выявить нисходящую ветвь кривой нагрузка-перемещение, но он не может решать задачи, где присутствует местная потеря устойчивости и изменение свойств материала. Существуют и другие ограничения, относящиеся, в основном, к совместимости с некоторыми алгоритмами и материалами».

3. Тестовые примеры

Расчеты выполнялись для двух симметричных пространственных трехстержневых ферм, показанных на рис.1 и 2.

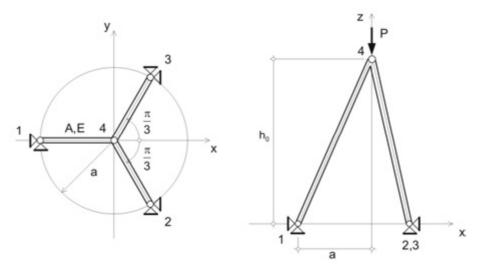
Ферма, показанная на рис. 1., пологая, с отношением высоты к радиусу основания равным 0,05. Как показано ранее, ферма такого типа теряет устойчивость вследствие прощелкивания (перескока) верхнего узла.

Ферма, показанная на рис. 2, подъемистая, с отношением высоты к радиусу основания 20,0. Такая ферма теряет устойчивость вследствие бифуркации.



 $a = 2,00 \text{ m}, \quad h_0 = 0,10 \text{ m}, \quad A = 0,0008 \text{ m}^2, \quad E = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kH/m}^2, \quad P = 20,0 \text{ kH}$

Рис. 1. Геометрическая схема пологой фермы



 $a = 0.10 \text{ M}, h_0 = 2.00 \text{ M}, A = 0.0008 \text{ M}^2, E = 2.1 \times 10^8 \text{ kH/M}^2, P = 800.0 \text{ kH}$

Рис. 2. Геометрическая схема подъемистой фермы

Расчет пологой симметричной трехстержневой фермы

Нелинейный расчет на устойчивость без стабилизации. Пологая симметричная трехстержневая ферма рассчитывалась с использованием следующих команд:

SOLCONTROL,ON (активация оптимизированных параметров нелинейного решения по умолчанию и некоторых улучшенных внутренних алгоритмов решения); NLGEOM,ON (учет больших поворотов); SSTIF,ON (учет эффекта наведенной жесткости).

Размеры шага задавались при помощи команды NSUBST,50,200,10; таким образом, временной инкремент первого подшага составил 1/50 = 0,020. Минимальный размер шага составлял 1/200 = 0,005; а максимальный — 1/10 = 0,100. Так как сходимость итерации не была достигнута за макси-

мальное число итераций на шаге, по умолчанию принимаемое равным 15, то оно было увеличено до 50 командой NEQIT,50.

Точное аналитическое решение дает следующие значения переменных для заданной фермы:

перемещение $u_z = h_0 w_3 = 0.10 w_3$;

нагрузка
$$P_z = 1.5 AE p_3 (h_0/L_0)^3 = 31.38224307 p_3;$$

перемещение в предельной точке

$$u_{zc} = -0.10000000 \times 0.422649731 = -0.042264973;$$

нагрузка в предельной точке

$$\mathbf{P}_{zc} = -31{,}38224307 \times 0{,}384900179 = -12{,}07903098 \, .$$

Результаты, полученные при помощи нелинейного анализа ANSYS без стабилизации, представлены на рис. 3. Кривая a представляет собой график зависимости перемещения вершины фермы u_z от вертикальной нагрузки P_z , приложенной в вершине, построенный при помощи аналитических зависимостей. Шаги с 1 по 13 решения ANSYS следуют точной кривой от точки A до точки B. Шаг 14 представляет собой скачок из точки B в точку C вдоль линии s. Шаги с 15 по 22 следуют кривой точного решения от точки B до точки C. Таким образом, нелинейный анализ без стабилизации не может следовать кривой нагружения между точками B и C. Это подтверждают сведения, приведенные в Руководстве и процитированные ранее.

Нелинейный расчет на устойчивость со стабилизацией. Нелинейный расчет пологой фермы, показанной на рис. 1, выполнен с использованием стабилизации. Входные параметры использованы те же, что и в предыдущем примере, но коэффициенту диссипации энергии присвоено значение 0,001. полученные результаты показали, что стабилизация уменьшает неустойчивость поведения алгоритма в окрестности точки перескока. Однако она не предотвращает скачкообразного перехода от точки В к точке С вдоль прямой *s* на рис. 3.

При увеличении коэффициента диссипации число итераций на шаге значительно сокращается, кривая на участке от исходного состояния A до точки B в окрестности предельной точки становится гладкой. Перескок s при увеличении коэффициента диссипации не устраняется.

Можно сделать вывод, что нелинейный анализ со стабилизацией не позволяет вычислить кривую продолжения решения пологой фермы на всем ее протяжении.

Расчет при помощи метода продолжения по длине дуги. Пологая ферма, показанная на рис. 1, рассчитывалась при помощи метода продолжения по длине дуги, предлагаемого ПК ANSYS. Начальный размер шага задавался установкой количества шагов, равного 500. Автоматическая процедура управления размером шага вычисляет траекторию нагружения за 120 шагов.

Точность вычислений определялась сравнением с аналитическим решением. Все значения погрешностей нагрузки составляют менее 0,4 % точного

значения. Разница между точными и численными решениями настолько мала, что не может быть видна на диаграмме. Точки на кривой решения, соответствующие вычисленным значениям, обозначены на рис. 3 кружками.

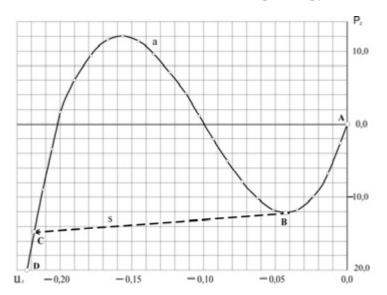


Рис. 3. Траектория нагружения пологой фермы

Рассмотренный пример демонстрирует, что метод продолжения по длине дуги, использованный в ПК ANSYS, дает возможность вычислять продолжение решения за предельной точкой и дает полную траекторию нагружения пологой фермы, показанную на рис. 1. Значения нагрузки и перемещения в предельной точке могут быть вычислены интерполяцией между значениями переменных, полученных на двух смежных шагах до и после потери устойчивости.

Расчет подъемистой симметричной трехстержневой фермы

Нелинейный расчет на устойчивость без стабилизации. Ферма, показанная на рис. 2, рассчитывалась при помощи ПК ANSYS с использованием следующих команд: SOLCONTROL,ON (активация оптимизированных параметров нелинейного решения по умолчанию и некоторых улучшенных внутренних алгоритмов решения); NLGEOM,ON (учет больших поворотов); SSTIF,ON (учет эффекта наведенной жесткости).

Размеры шага задавались при помощи команды NSUBST,50,200,10; таким образом, временной инкремент первого шага составил 1/50 = 0,020. Минимальный размер шага составлял 1/200 = 0,005; а максимальный — 1/10 = 0,100. Максимальное число итераций на шаге принято по умолчанию 15 итераций. Сходимость была достигнута.

Точное аналитическое решение дает следующие значения переменных для заданной фермы:

перемещение
$$u_z=h_0\,w_3=2,0\,w_3$$
; нагрузка $P_z=1,5AE\,p_3ig(h_0/L_0ig)^3=0,251057944\times 10^6\,p_3$;

перемещение в точке бифуркации

$$u_{zc} = 2.0 \left(-1.0 + \sqrt{1.0 - 0.05^2} \right) = -0.002501564;$$

нагрузка в точке бифуркации

$$P_{zc} = 0.251057944 \times 10^{6} \left(-0.05^{2} \sqrt{1.0 - 0.05^{2}} \right) = -626.859813.$$

На рис. 4 показан график зависимости перемещения вершины фермы u_z от вертикальной нагрузки P_z , приложенной в вершине. Алгоритм проходит точку бифуркации на шаге 12. Он не выявляет критическую конфигурацию, соответствующую точке бифуркации и продолжает следовать кривой равновесных состояний за точкой бифуркации. На этой кривой нагрузка продолжает возрастать, тогда как на вторичной ветви нагрузка после прохождения точки бифуркации снижается (ферма теряет устойчивость). Потеря устойчивости вследствие бифуркации алгоритмом не выявляется.

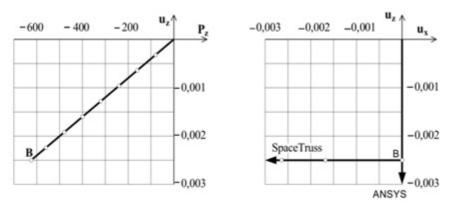


Рис. 4. Поведение подъемистой фермы в окрестности точки бифуркации B, результаты расчета по программе SpaceTruss

Нелинейный расчет на устойчивость со стабилизацией. Нелинейный расчет подъемистой фермы, показанной на рис. 2, выполнен с использованием стабилизации. Значение коэффициента диссипации энергии принято равным 0,0001. Количество шагов задано командой NSUBST 500, 500, 500. Исходные данные примера приняты по рис. 2.

Аналитическое решение показывает, что точка бифуркации лежит на шаге 391 численного решения. В этой точке точное решение начинает следовать вторичной ветви, на которой значение нагрузки P_e убывает, а ферма теряет устойчивость. Стабилизированное решение ANSYS продолжает следовать основной ветви решения. Так как вычисленная нагрузка продолжает возрастать от шага 391 к шагу 413, то создается ложное впечатление о том, что ферма устойчива.

Итерационный метод Ньютона — Рафсона начинает терять устойчивость на шаге 411. Перемещение u_x на шагах 412 и 413 имеет противоположные знаки, а его значение возрастает. На шаге 414 ферма перескакивает в конфи-

гурацию, зеркально симметричную исходной конфигурации относительно плоскости опор. ANSYS выдает сообщение, что результаты этого шага могут быть использованы лишь в диагностических целях.

Результаты расчета показывают, что стабилизация не улучшает способности алгоритма выявлять точку бифуркации. Алгоритм не может следовать вторичной ветви в точке бифуркации, на которой ферма теряет устойчивость равновесия.

Нелинейный расчет со стабилизацией был повторен для значений коэффициента диссипации энергии 0,0005; 0,001 и 0,01. Результаты расчета показали, что расхождение, наблюдаемое при коэффициенте диссипации энергии 0,0001, удается преодолеть, увеличивая уровень диссипации. Энергия стабилизации мала по сравнению с потенциальной энергией вплоть до шага 467. На шагах с 468 по 471 наблюдается резкое возрастание значений как потенциальной энергии, так и энергии стабилизации. Увеличение энергии сопровождается ростом горизонтальных перемещений u_x . Перемещение u_y при этом остается нулевым. На шаге 472 вершина фермы перескакивает в зеркально симметричное положение.

Как и в предыдущем случае, алгоритм не распознает критическую конфигурацию фермы при значении нагрузки 626,86 и продолжает следовать основной ветви решения за точкой бифуркации.

Решения для значений коэффициента диссипации энергии, равного 0,0005 и 0,01, дают аналогичные результаты, подтверждая описанные свойства алгоритма.

Расчет при помощи метода продолжения по длине дуги. Подъемистая ферма, показанная на рис.2, рассчитывалась при помощи метода продолжения по длине дуги, предлагаемого ПК ANSYS. Начальный размер шага задавался установкой количества шагов равной 500. Такая установка дает очень маленький размер шага с инкрементом нагружения на первом шаге, равным 1,6. Значения максимального и минимального множителей для контроля длины дуги установлены в соответствии с рекомендацией ANSYS равными (25, 0,001). Автоматическая процедура управления увеличивает размер шага и вычисляет траекторию нагружения за 24 шага. Решение получается гладким, на каждом шаге требуется не более 2-х итераций. Погрешность в нагрузке P_z постепенно нарастает по мере увеличения номера шага.

Критическая нагрузка бифуркации 626,86 достигается на 18-м шаге расчета. Алгоритм не распознает критическую конфигурацию и продолжает следовать основной ветви решения за точкой бифуркации.

Максимальный размер шага был уменьшен путем изменения максимального множителя с 25,0 до 2,0. В результате, количество шагов расчета увеличилось до 250. Характер решения при этом не изменился. Точка бифуркации не распознавалась решением. Нагрузка и перемещение, вычисленные на шаге 250, равны (800,08; 0.0031783), что практически точно соответствует координатам шага 24 предыдущего решения.

Можно сделать вывод, что расчет по методу продолжения по длине дуги (arc-length method) ПК ANSYS не пригоден для анализа устойчивости равновесия подъемистой фермы, показанной на рис. 2. Алгоритм расчета не распознает критическую конфигурации фермы, соответствующую точке бифуркации.

4. Расчет устойчивости подъемистой фермы по программе SpaceTruss

Подъемистая ферма, описанная в разделе 3, была рассчитана при помощи разработанного нами программного приложения SpaceTruss.

В программе реализованы алгоритм деформационного анализа с использованием матрицы секущей жесткости, алгоритм точного вычисления предельной точки и алгоритм продолжения траектории нагружения, описанные в работах [2—4].

Расчет выполнен за 11 шагов. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Шаг	u_z	P_z	P_e	ε,%	u_p
1	-0,000318728	- 80,000000	-80,000069	0,00009	0
2	-0,000637602	- 159,998513	-159,998507	0,00000	0
3	-0,000956623	-239,995536	-239,995519	0,00001	0
4	-0,001275791	-319,991066	-319,991056	0,00000	0
5	-0,001595106	-399,985102	-399,985073	0,00000	0
6	-0,001914568	-479,977641	-479,977523	0,00002	0
7	-0,002234178	-559,968680	-559,968609	0,00001	0
8	-0,002501547	-626,855339	-626,855447	0,00002	0
9	-0,002501564	-626,859814	-626,859813	0,00000	0
10	-0,002502220	-626,859549	-626,859607	0,00001	-0,001680
11	-0,002503290	-626,859369	-626,859271	0,00002	-0,002625

Подъемистая ферма: расчет по программе SpaceTruss

Ферма достигает критической конфигурации на шаге 9. В отличие от алгоритма, использованного в ПК ANSYS, алгоритм программы SpaceTruss распознает точку бифуркации и точно вычисляет значения перемещения и нагрузки в этой точке. Эти значения приведены в таблице для шага 9.

Погрешность в вычислении вертикальной нагрузки определялась относительно аналитического значения. Можно убедиться, что вычисления обладают высокой точностью.

Шаги 10 и 11 в табл. соответствуют продолжению траектории нагружения за точкой бифуркации. Из-за симметрии фермы вершина может перемещаться в любом направлении параллельно плоскости опор. Последний столбец таблицы содержит среднее геометрическое u_p составляющих горизонтальных перемещений u_x и u_y .

Поведение подъемистой фермы представлено графически на рис. 4. Перемещение u_z является почти линейной функцией нагрузки до тех пор, пока не достигается точка бифуркации В. На продолжении решения за точкой бифуркации, полученного по программе SpaceTruss, значения перемещения u_z и нагрузки P_z почти не изменяются, а значения перемещения u_p , параллельного плоскости опор, резко возрастают.

На продолжении решения, полученного по программе ANSYS, горизонтальные перемещения отсутствуют, а вертикальные перемещения u_z и нагрузка P_z продолжают возрастать. Следовательно, решение, полученное по ПК ANSYS, является неконсервативным.

Результаты, приведенные в таблице и рис. 4, показывают, что алгоритм, построенный на основе модифицированного метода продолжения по длине дуги, позволяет точно вычислять точку бифуркации подъемистой фермы. Алгоритм позволяет также вычислять продолжение решения за точкой бифуркации.

Результаты выполненного исследования позволяют сделать следующие выводы.

- 1. Нелинейный расчет по ПК ANSYS не позволяет вычислять продолжение траектории нагружения за предельной точкой. Это поведение численного алгоритма не может быть улучшено использованием нелинейного расчета со стабилизацией независимо от принятого коэффициента диссипации энергии.
- 2. Метод продолжения по длине дуги, используемый в ПК ANSYS, позволяет вычислять полную траекторию нагружения пологой фермы. Нагрузка и перемещение, соответствующие предельной точке траектории, вычисляются интерполяцией. Эта процедура снижает точность решения.
- 3. Нелинейный расчет по ПК ANSYS не позволяет вычислять продолжение траектории нагружения за точкой бифуркации. Это поведение численного алгоритма не может быть улучшено использованием нелинейного расчета со стабилизацией независимо от принятого коэффициента диссипации энергии.
- 4. Метод продолжения по длине дуги, используемый в ПК ANSYS, не распознает критическую конфигурацию фермы, соответствующую точке бифуркации при установках алгоритма, принятых по умолчанию. Это поведение алгоритма не может быть улучшено уменьшением размера шага пользователем.
- 5. Модификация метода продолжения решения, разработанная автором и реализованная в программе SpaceTruss, позволяет вычислять полную траекторию нагружения подъемистой фермы. Нагрузка и перемещение в критической конфигурации вычисляются непосредственно в точке бифуркации с высокой точностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. *Галишникова В. В.* Аналитическое решение нелинейной задачи устойчивости и исследование закритического поведения трехстержневой фермы // Вестник ВолгГАСУ. Сер. : Естественные науки. 2006. Вып. 6 (23). С. 53—64.
- 2. Галишникова В. В. Модификация метода постоянных дуг, основанная на использовании матрицы секущей жесткости // Вестник МГСУ. 2009. № 2. С. 63—69.
- 3. Галишникова В. В. Численный анализ устойчивости равновесия пространственных ферм в геометрически нелинейной постановке // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2010. № 1. С. 42—50.
- 4. *Галишникова В. В.* Новый метод расширения для вычисления продолжения решения в сингулярных точках (A New Expansion Method for Continuation of Load Paths at Singular Points) // Вестник РУДН. Сер. : Математика, информатика, физика. 2011. № 2. С. 104—113.
- 1. *Galishnikova V. V.* Analiticheskoe reshenie nelineynoy zadachi ustoychivosti i issledovanie zakriticheskogo povedeniya trekhsterzhnevoy fermy // Vestnik VolgGASU. Ser. : Estestvennye nauki. 2006. Vyp. 6 (23). S. 53—64.

- 2. *Galishnikova V. V.* Modifikatsiya metoda postoyannykh dug, osnovannaya na ispol'zovanii matritsy sekushchey zhestkosti // Vestnik MGSU. 2009. N $_2$ 2. S. 63—69.
- 3. *Galishnikova V. V.* Chislennyy analiz ustoychivosti ravnovesiya prostranstvennykh ferm v geometricheski nelineynoy postanovke // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy. M., 2010. N 1. S. 42—50.
- 4. *Galishnikova V. V.* Novyy metod rasshireniya dlya vychisleniya prodolzheniya resheniya v singulyarnykh tochkakh (A New Expansion Method for Continuation of Load Paths at Singular Points) // Vestnik RUDN. Ser.: Matematika, informatika, fizika. 2011. № 2. C. 104—113.

© Галашникова В. В., 2012

Поступила в редакцию в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Галишникова В. В. Геометрически нелинейная задача устойчивости стержневых систем: о возможностях программных комплексов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2012. Вып. 29 (48) С. 231—243

Азаров Валерий Николаевич Azarov Valeriy Nikolayevich

Алексиков Сергей Васильевич Alexikov Sergeiy Vasilevich

Бабаханов Борис Станиславович Babakhanov Boris Stanislavovich

Барикаева Нелли Сергеевна Barikaveva Nelli Sergevevna

Безуглова Екатерина Вячеславовна Bezuglova Ekaterina Vyacheslavovna

Беликов Георгий Иванович Belikov Georgiy Ivanovich

Богомолов Александр Николаевич Bogomolov Alexandr Nikolayevich

Богомолова Оксана Александровна Bogomolova Oxana Alexandrovna

Боровик Виталий Сергеевич Borovik Vitaliy Sergeyevich

Боронина Людмила Владимировна Boronina Lvudmila Vladimirovna

Вайнгольц Алексей Игоревич Vayngolts Alexey Igorevich

Видин Юрий Владимирович Vidin Yury Vladimirovich

Галишникова Вера Владимировна Galishnikova Vera Vladimirovna

Горюнова Екатерина Игоревна Gorvunova Ekaterina Igorevna Грачева Юлия Вячеславовна Gracheva Yuliya Vyacheslavovna

Дыба Владимир Петрович Dvba Vladimir Petrovich

Дыба Петр Владимирович Dyba Petr Vladimirovich

Жуков Артем Николаевич Zhukov Artem Nikolayevich Зеленцов Антон Леонидович Zelentsov Anton Leonidovich

НАШИ АВТОРЫ

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ

Doctor of Engeeniring Science, Professor, Department Chairman of Life Safety in Technosphere, VSUACE

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ

Doctor of Engineering Science, Professor, Department Chairman of Construction and Operation of Transport Systems

соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ Degree-seeking student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSŬACE

ассистент ВолгГАСУ кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере,

Assistant of Life Safety in Technosphere Department, VSUACE

канд. техн. наук, доц. кафедры строительных материалов и конструкций, Кубанский государственный аграрный университет, nebo7@list.ru

Candidate of Engineering Science, Docent of Construction Materials and Structures Department, Kuban State Agricultural University

д-р техн. наук, доц., кафедра сопротивления материалов, ВолгГАСУ

Doctor of Engineering Science, Docent, Structural Resistance Department, VSUACE

наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных д-р техн. сооружений, проректор по научной работе, ВолгГАСУ; проф. кафедры технологии строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, anzaritcyn@mail.ru

Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Hydraulic and Earthwork Structures Department, Vice-Rector for Scientific Research, VSUACE; Professor of Technology of Construction Operations and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnical University

канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики и вычислительной техники. ВолгГАСУ

Candidate of Engineering Science, Docent of Application Mathematics and Computer Science Department, VSUACE

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой экономики и управления дорожным хозяйством, ВолгГАСУ

Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Economy and Administration of Public Roads Department, VSUACE

канд. техн. наук, доц., проректор по научной работе, Астраханский инженерно-строительный институт, <u>boroninalv@gmail.com</u>
Candidate of Engineering Science, Docent, Provost for Research, Astrakhan

Engineering and Construction Institute

аспирант кафедры прикладной математики и вычислительной техники,

Postgraduate student of Applied Mathematics and Computer Engineering Department, VSUACE техн. наук, проф. кафедры теплотехники и гидрогазодинамики,

Сибирский федеральный университет, 8(3912)497-413
Candidate of Engineering Science, Professor of Heat Technology and Fluid

Dynamics Department, Siberian Federal University

канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой строительных конструкций и сооружений, Российский университет дружбы народов (РУДН),

Candidate of Engineering Science, Docent, the Head of Building Constructions and Structures Department, People's Friendship University of Russia аспирантка, ВолгГАСУ, 8-915-380-35-74

Postgraduate student, VSUACE

канд. техн. наук, доц. кафедры оснований и фундаментов, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 440028, г. Пенза, ул. им. Г. Титова, 28, gracheva_jv@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Docent of Bases and Foundations

Department, Penza State University of Architecture and Construction д-р техн. наук, проф., проф. кафедры оснований и фундаментов, Южно-

Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)

Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Bases and Foundations Department, South Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnical Institute)

аспирант кафедры промышленного, гражданского строительства. геотехники и фундаментостроения, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), 8(635)255-4-16

Postgraduate student of Industrial, Civil Construction, Geotechnics and Foundations Department, South-Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnical Institute)

(котостоя на каредры архитектуры, ВолгГАСУ, <u>va.elektronka 2011@yandex.ru</u> Postgraduate student of Architecture, VSUACE

ведущий специалист экспертно-контрольного CPO отдела, «Югсевкавстрой»

Leading specialist of expert-control department, «Yugsevkavstroi» SRO NP

Зеленцов Леонид Борисович Zelentsov Leonid Borisovich

Злобин Владимир Николаевич Zlobin Vladimir Nikolayevich

Иванов Александр Сергеевич Ivanov Alexandr Sergeyevich

Иванов Дмитрий Иванович Ivanov Dmitry Ivanovich

Калашников Сергей Юрьевич Kalashnikov Sergeiy Yurevich

Калиновский Сергей Андреевич Kalinovski Sergeiy Andreyevich

Капустина Елена Игоревна Kapustina Elena Igorevna Кижватова Татьяна Сергеевна Kizhvatova Tatyana Sergeevna

Ковылин Андрей Васильевич Kovylin Andrey Vasilevich

Ковылин Андрей Васильевич Kovylin Andreiy Vasilyevich

Козлов Юрий Дмитриевич Kozlov Yury Dmitrievich Корниенко Сергей Валерьевич Korniyenko Sergeiy Valerevich Кузнецов Илья Николаевич Kuznetsov Ilya Nikolayevich

Кузнецова Светлана Васильевна Kuznetsova Svetlana Vasilevna Лейер Дарья Валерьевна Leyer Darya Valerevna

Лихачева Наталья Николаевна Likhacheva Natalya Nikolaevna

Масляев Александр Викторович Maslyaev Alexandr Viktorovich

Маций Сергей Иосифович Matsiy Sergeiy Iosifovich

Миненко Екатерина Юрьевна Minenko Ekaterina Yurevna

Нестеров Родион Сергеевич Nesterov Rodion Sergeyevich

Новгородский Евгений Евгеньевич Novgorodsky Evgeny Evgenevich

Образцов Денис Владимирович Obraztsov Denis Vladimirovich

д-р техн. наук, проф., Ростовский государственный строительный университет

Doctor of Engineering Science, Professor, Rostov State University of Civil Engineering

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры энергоснабжения и

теплотехники, ВолгГАСУ, <u>vizlobin@</u>

Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Power Service and Heat Engineer Department, VSUACE

аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

аспирант кафедры теплотехники и гидрогазодинамики, федеральный университет, idi86@inbox.ru
Postgraduate student of Heat Technology and Fluid Dynamics Department,

Siberian Federal University

д-р техн. наук, проф., действительный член Международной академии наук высшей школы, ректор, ВолгГАСУ, rektor@info.ru

Doctor of Engineering Science, Professor, General Member of the International

Higher Education Academy, rector, VSUACE аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

студентка, ВолгГАСУ, igorevna.1990@mail.ru

Student, VSUACE

студентка. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 440028, г. Пенза, ул. им. Г. Титова, 28

Student, Penza State University of Architecture and Construction канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ

Candidate of Engineering Science, Senior Professor of Power Service and Heat Engineer Department, VSUACE

канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры энергоснабжения и теплотехники. ВолгГАСУ

Candidate of Engineering Science, Senior Professor of Power Service and Heat Engineer Department, VSUACE д-р техн. наук, проф., ВолгГАСУ

Doctor of Engineering Science, Professor, VSUACE канд. техн. наук, доцент, ВолгГАСУ

Candidate of Engineering Science, Docent, VSUACE

канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры конструкций зданий и сооружений, Тамбовский государственный технический университет, i.n.Kuznetsov@mail.ru

Candidate of Engineering Science, Senior Lecturer of Building Constructions and Structures Department, Tambov State Technical University

д-р геол.-минерал. наук, проф., ВолгГАСУ

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, VSUACE

магистр, ассистент кафедры строительных материалов и конструкций, Кубанский государственный аграрный университет, dasha leyer@ Graduate student, Assistant of Construction Materials and Structures Department, Kuban State Agricultural University

канд. физ.-мат. наук, доц., Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Perm National

Research Polytechnical University канд. техн. наук, эксперт ГУ РИНКЦЭ по сейсмологии и сейсмостойкому

строительству, Научно-исследовательская сейсмологическая лаборатория, ВолгГАСУ

Candidate of Engineering Science, Expert of GA RRSCCE on Seismology and Antiseismic Construction, Scientific Seismological Laboratory, VSUACE

д-р техн. наук, проф. кафедры строительных материалов и конструкций, Кубанский государственный аграрный университет, <u>matsiy@mail.ru</u> Doctor of Engineering Science, Professor of Construction Materials and Structures

Department, Kuban State Agricultural University канд. техн. наук, доц., доц. кафедры оптимизации и безопасности движения, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 440028, г. Пенза, ул. им. Г. Титова, 28, <u>cat.minenko@mail.ru</u> Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Optimization and Traffic Safety Department, Penza State University of Architecture and Construction

аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUĂCE

д-р техн. наук, проф., проф. кафедры отопления, кондиционирования, Ростовский государственный вентиляции и государственный строительный университет, <u>ovik1935@mail.ru</u>

Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems Department, Rostov State University of Civil Engineering

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры уголовного права и прикладной информатики в юриспруденции, Тамбовский государственный технический

Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Criminal Law and Applied Information Science in Law Department, Tambov State Technical University

Осипова Наталья Николаевна Osipova Natalya Nikolaevna

Островский Константин Николаевич Ostrovsky Konstantin Nikolayevich

Офрихтер Вадим Григорьевич Ofrikhter Vadim Grigorevich

Перехоженцев Анатолий Георгиевич Perekhozhentsev Anatoliy Georgiyevich

Прилепский Денис Владимирович Prilepsky Denis Vladimirovich Прокопенко Алексей Васильевич Prokopenko Alexey Vasilevich

Рыжков Виктор Михайлович Rvzhkov Viktor Mikhailovich

Рыжков Евгений Викторович Ryzhkov Evgeny Viktorovich Санжапов Булат Хизбуллович Sanzhapov Bulat Khizbullovich

Сидельникова Ольга Петровна Sidelnikova Olga Petrovna

Сидоренко Владимир Федорович Sidorenko Vladimir Fedorovich

Симончук Дмитрий Николаевич Simonchuk Dmitry Nikolayevich

Синяков Владимир Николаевич Sinvakov Vladimir Nikolavevich

Скибин Геннадий Михайлович Skibin Gennadiy Mikhailovich

Соколов Антон Иванович Sokolov Anton Ivanovich Соколов Иван Иванович Sokolov Ivan Ivanovich Старов Александр Васильевич Starov Alexandr Vasilevich

Тарабанов Михаил Григорьевич Tarabanov Mikhail Grigorevich Токарев Артур Георгиевич Tokarev Artur Georgievich Ушаков Андрей Николаевич Ushakov Andrey Nikolayevich

Фокин Владимир Михайлович Fokin Vladimir Mikhailovich

Фомичев Валерий Тарасович Fomichev Valeriy Tarasovich

Хежев Хасанби Анатольевич Khezhev Khasanbi Anatolevich

наук, доц., Саратовский государственный технический техн. университет

Candidate of Engineering Science, Saratov State Technical University

магистрант кафедры экономики и управления в строительстве, Ростовский государственный строительный университет

Graduate Student of Economy and Management of Construction Engineering Department, Rostov State University of Civil Engineering канд. техн. наук, доц., Пермский национальный исследовательский

политехнический университет, ofrikhter@mail.ru

Candidate of Engineering Science, Docent, Perm National Research Polytechnical University

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой архитектуры, ВолгГАСУ, <u>pag@mail.ru</u> Doctor of Engineering Science, Professor, Department Chairman of Architecture,

инженер, НИЦ «Инвент», volgcity@mail.ru

Engineer, "Invest" R&D

аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department,

канд. техн. наук, зав. Почвенно-грунтовой лабораторией, Поволжский научно-исследовательский институт эколого-мелиоративных технологий

Candidate of Engineering Science, the Head of Soil Subsurface Laboratory, Povolzhsky R&D Institute of Ecological and Meliorative Technology RASKhN студент, ВолгГАСУ, ryzkov.euc ene@gmail.con

Student, VSUACE д-р физ.-мат. наук, проф., проф. кафедры информационных систем и математического моделирования, ВолгГАСУ

Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor, Professor of Data Systems and Mathematic Simulation Department, VSUACE

д-р техн. наук, проф., проф. кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ

Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Life Safety in Technosphere Department, VSUACE

д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой экологического строительства и городского хозяйства, ВолгГАСУ

Doctor of Engineering Science, Professor, Honoured Science Worker of RF, Department Chairman of Ecological Building and Municipal Facilities, VSUACE аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ

Postgraduate student of Construction and Operation of Transport Systems Department, VSUACE

д-р геол.-минерал. наук, проф., зав. кафедрой инженерной геологии и геоэкологии, ВолгГАСУ

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Department Chairman of Engineering Geology and Geoecology, VSUACE д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой оснований и фундаментов, Южно-

Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)

Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Bases and Foundations Department, South Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnical Institute)

канд. арх., архитектор, ООО «Полиграфсервис-99», 8-903-468-51-20 Candidate of Architecture, Architect, "Poligrafservis" Ltd. канд. арх., архитектор, ООО «Полиграфсервис-99», 8-903-468-51-20

Candidate of Architecture, Architect, "Poligrafservis" Ltd.

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительной механики, ВолгГАСУ, starov1954@mail.ru

Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Structural Mechanics Department, VSUACE

канд. техн. наук, доц., директор НИЦ «Инвент», 8-903-327-24-09

Candidate of Engineering Science, Docent, the Director of "Invest" R&D

канд. арх., доц., Южный федеральный университет Candidate of Architecture, South Federal University

канд. техн. наук, доц., докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ, <u>andrey.ushakov@vgi.volsu.ru</u>
Candidate of Engineering Science, Docent, PhD student of Hydraulic and

Earthwork Structures Department, VSUACE

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ Doctor of Engineering Science, Professor, Department Chairman of Power

Service and Heat Engineer, VSUACE д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой общей и прикладной химии,

ВолгГАСУ, (8442)96-98-14 Doctor of Engineerings Science, Professor, Department Chairman of General and Applied Chemistry, VSUACE

аспирант кафедры строительных материалов и технологий, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, hejev_tolya@mail.ru, xac0020@mail.ru

Postgraduate student of Construction Materials and Technology Department, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Чеботарев Виктор Иванович

Chebotarev Viktor Ivanovich

Чернышов Владимир Николаевич Chernyshov Vladimir Nikolayevich

Чесноков Андрей Владимирович Chesnokov Andrey Vladimirovich

Шило Максим Александрович Shilo Maxim Alexandrovich

Юшкова Наталия Геннадиевна

Yushkova Nataliya Gennadiyevna

д-р техн. наук, проф., проф. кафедры отопления, вентиляции и Ростовский кондиционирования, Ростов университет, ovik1935@mail.ru государственный строительный

Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems Department, Rostov State University of Civil Engineering

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой криминалистики и информатизации правовой деятельности, Тамбовский государственный vниверситет

Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Criminal Law and

восност от спупнентну Science, Professor, the Head of Criminal Law and Informatization of Law Department, Tambov State Technical University канд. техн. наук, доц. кафедры строительного производства, Липецкий государственный технический университет, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, avchesnokov@lipetsk.ru
Candidate of Engineering Science, Docent of Civil Engineering Department, Linckly Even Technical University.

Lipetsk State Technical University

аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ

Postgraduate student of Power Service and Heat Engineer Department, VSUACE

канд. арх., доц. кафедры ВолгГАСУ, (8442)96-98-59 Candidate of Architecture, доц. кафедры архитектуры жилых и общественных зданий,

Docent of Apartment and Public Buildings Architecture Department, VSUACE

Примечание. С авторами статей — аспирантами, докторантами и сотрудниками ВолгГАСУ — можно связаться по e-mail: info@vgasu.ru (в теме письма указать наименование структурного подразделения, фамилию и инициалы адресата).

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» со второго полугодия 2007 г. временно выходит в одной серии «Строительство и архитектура», по 4 выпуска ежегодно.

Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Библиографические сведения о публикациях в журнале, пристатейные списки литературы и полные тексты статей представлены в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура» входит в базу данных Ulrich's Periodicals Directory американского издательства Bowker, являющуюся самой крупной базой, описывающей мировой поток сериальных (периодических и продолжающихся) изданий. Активно используется научными учреждениями для анализа мирового потока сериальных изданий.

Серия включена в базу данных DOAJ — Directory of Open Access Journals (Директория журналов открытого доступа) научной библиотеки университета г. Лунд (Швеция), www.doaj.org, обеспечивающую открытый доступ к полнотекстовым материалам научных и академических журналов на различных языках, поддерживающих систему контроля качества публикуемых статей.

Требования к оформлению статей и сопроводительных материалов. Статью необходимо представить на электронном носителе и в распечатанном виде (2 экз.) в сопровождении заполненного автором лицензионного договора (2 экз.) (скачать бланк по адресу http://www.vgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/preparationrequirements/), анкеты согласия автора на доступ к его персональным данным неограниченного круга лиц (скачать бланк по адресу http://www.vgasu.ru/science/journals/herald-volggasu/preparation-requirements/), выписки из протокола заседания кафедры и одной рецензии. К статьям прилагается экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати. Все сопроводительные документы представляются на бумажных носителях в

В отдельном файле помещаются сведения об авторах на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке анкеты (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: индекс УДК; на русском и английском языках: фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), ключевые слова. Текст статьи заверяется личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — от 7 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ Microsoft Office (Word 2003); шрифт *основного текста* — Times New Roman (Суг) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для набора формул используется редактор формул Microsoft MathType 5; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличается от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, растровые — в ТІГ или ВМР; графики и диаграммы, построенные в Microsoft Excel, а также рисунки, созданные в Corel Draw 12 или AutoCAD 2006 и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, иллострации обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. Подписи к рисункам выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Тітев № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Тітев № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы Arj и WinZip, WinRAR.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300...600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Cyr) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные баблиографические списки размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в квадратных скобках (запрещается использовать ссылки-сноски для указания источников). В библиографическую запись включаются только основные элементы библиографического описания (ГОСТ 7.0.5–2008). Разделительные знаки «тире» между областями опускаются. Шрифт Times New Roman (Суг) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников.

Библиографический список приводится дважды. Во втором варианте все русскоязычные библиографические записи приводятся на латинице, записи на других языках просто повторяются.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, в соответствени с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию полностью соглащается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав. Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. Корректура статей авторам не предоставляется. Согласование редакционных и авторских изменений текста статьи (переписка, тел. переговоры) производится за счет автора.

Гонорар за опубликование статьи не выплачивается, плата за публикацию статей с аспирантов не взимается.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ОЧЕРЕДНОГО НОМЕРА ЗАВЕРШАЕТСЯ ЗА 3 МЕСЯЦА ДО ПЛАНИРУЕМОГО ВЫХОДА В СВЕТ.

Примерный график выпуска серии «Строительство и архитектура» — март (прием статей до 1 декабря); июнь (прием статей до 1 марта); сентябрь (прием статей до 1 июня); декабрь (прием статей до 1 сентября).

ISSN 1815-4360. Серия «Строительство и архитектура»

Тематические рубрики

Строительные конструкции, здания и сооружения. Основания, фундаменты, подземные сооружения. Строительная механика. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. Строительные материалы и изделия. Гидротехническое строительство. Гидравлика и инженерная гидрология. Технология и организация строительства. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве. Инновации в строительсном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности.

Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-градостроительной деятельностью. Экологические проблемы градостроительства. Информационные технологии в строительстве и архитектуре. Научно-методический раздел. Организация высшего образования в области строительства и архитектуры. Методика преподавания дисциплин строительного и архитектурного направлений в вузе. Хроника.

Подробная информация о журнале представлена на сайте ВолгГАСУ <u>www.vgasu.ru</u>, в разделе *Издательская деятельность* / *Научные журналы* / *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета* (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. Редакция «Вестника ВолгГАСУ». Тел. (8442)-96-98-46. E-mail: info@vgasu.ru (для В.И. Воробьева).

Уточнить *условия публикации статей и приобретения* очередного номера журнала можно по тел. (8442)-96-98-46 у ответственного секретаря редсовета журнала Владимира Ивановича Воробьева.

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: mariapes@mail.ru.

Вниманию читателей и авторов!

«Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета» временно выходит в одной серии

«СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА» (4 выпуска в год). Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343,

Подписной индекс по каталогу «Пресса России» 85343, на Интернет-сайте агентства «Книга-Сервис» — E85343

(по электронному каталогу можно подписаться и на текущие номера). По вопросу приобретения ранее вышедших номеров журнала обращаться по тел. 8-(844-2)-96-98-46 к отв. секретарю редсовета В.И. Воробьеву

Продолжается прием статей в очередные выпуски серий «Политематическая» и «Строительная информатика»

электронного сетевого научно-технического журнала «ИНТЕРНЕТ-ВЕСТНИК ВолгГАСУ».

Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,

утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № ФС77-26286 от 17.11.06, Международным центром ISSN, ISSN 1994-0351, перерегистрирован ФГУП НТЦ

«Информрегистр», свидетельство № 594 от 20.10.11, номер гос. рег. 0421200065 (на 2012 г.), включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru).

Подробная информация на сайте журнала www.vestnik.vgasu.ru

«Интернет-вестник ВолгГАСУ» не является электронной версией печатного журнала. Оба журнала содержат оригинальные публикации.

> По вопросам публикации статей в научно-теоретическом журнале «СОЦИОЛОГИЯ ГОРОДА»

обращаться к гл. редактору Б.А. Навроцкому по тел. 8-8442-96-99-25.
Подписаться на журнал можно по каталогу «Пресса России», подписной индекс 29507 и по Интернет-каталогу на сайте агентства «Книга-Сервис», подписной индекс Е 29507.
Журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Фед

Журнал включен в **Перечень** ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук,

утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации. Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия, свидетельство Эл № ФС77-26286 от

17.11.06, Международным центром ISSN, ISSN 1994-0351, включен в базу РИНЦ (www.elibrary.ru). Подробная информация о журнале на сайте ВолгГАСУ по адресу: www.vgasu.ru

в разделе Издательская деятельность / Научные журналы.

Научное издание

ВЕСТНИК ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

Серия: Строительство и архитектура 2012. Вып. 29 (48)

Редактор М.С. Лысенко
Перевод на английский язык О.Ю. Юшко
Компьютерная правка и верстка Н.Е. Никиташина
Компьютерный дизайн обложки О.Ю. Мелешин
Информационно-библиографическое обслуживание выпуска Е.В. Хромова

Подписано в печать 30.12.2012. Формат 70 × 108/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Уч.-изд. л. 15,0. Усл. печ. л. 21,8. Тираж 500 экз. Заказ № 9

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет» Редакционно-издательский отдел Отдел оперативной полиграфии 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1