Министерство образования и науки Российской Федерации

ВЕСТНИК ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Строительство и архитектура

Выпуск 30 (49)

Научно-теоретический и производственно-практический журнал

2013

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

Богомолов А. Н., Калиновский С. А., Богомолова О. А., Прокопенко А. В., Иванов А. А. Оценка величины коэффициента запаса устойчивости однородного нагруженного откоса на основе анализа напряженного состояния грунтового массива при различных значениях коэффициента бокового давления грунта 7

Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Богомолова О. А., Соловьев А. В., Прокопенко А. В., Калиновский С. А. Определение глубины развития областей пластических деформаций в однородном основании заглубленного ленточного фундамента на основе анализа напряженного состояния грунтового массива при помощи методов теории функций комплексного переменного 13

Богомолов А. Н., Бартоломей И. Л., Богомолова О. А., Прокопенко А. В. Несущая способность связного основания составного плитного фундамента 27

Богомолова О. А., Бабаханов Б. С., Калашников С. Ю., Калиновский С. А., Прокопенко А. В., Иванов А. А. Влияние коэффициента бокового давления грунта на степень устойчивости однородного откоса 39

Богомолова О. А., Богомолов А. Н., Бартоломей И. Л., Качурин Я. В., Якименко И. В. К вопросу о взаимном влиянии близко расположенных параллельных незаглубленных ленточных (плитных) фундаментов на связном основании 50

Богомолов А. Н., Олянский Ю. И., Шиян С. И., Чарыкова С. А., Кузьменко И. Ю. Особенности изменения состава и физико-механических свойств незасоленных и засоленных глинистых пород при диффузионном выщелачивании 71
Савинов А. В. Современные методы оценки несущей способности вдавливаемых свай по предельному усилию погружения 80
Клочков Ю. В., Николаев А. П., Гуреева Н. А. Расчет оснований и фундаментов на основе метода конечных элементов в смешанной формулировке с учетом физической нелинейности 87
Цветков Р. В., Шардаков И. Н., Шестаков А. П. Система мониторинга неравномерных осадок сооружений с использованием ip-камер 95
Пономарев А. Б., Кузнецова А. С., Офрихтер В. Г. Применение фиброармированного песка в качестве основания зданий и сооружений 101
Пономарев А. Б., Сычкина Е. Н., Акбуляков М. А., Черепанов А. Ю. Анализ результатов экспериментальных исследований механических свойств аргиллитов 108

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Муравьева Л. В. Анализ чувствительности морского трубопровода, подвергающегося сейсмическим воздействиям 121
Кашарин Д. В. Расчетное обоснование параметров мобильных водоподпорных сооружений из композитных материалов 128
Перехоженцев А. Г. Нормирование параметров микроклимата в жилых и общественных зданиях 139
Корниенко С. В. Оценка микроклимата жилых помещений на основе натурных измерений 144

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Перфилов В. А. Прочность и трещиностойкость жаростойких бетонов 148
Матуа В. П., Сизонец С. В., Матуа Р. В. Исследование укрепленных щебеночно-песчаных смесей на накопление остаточных деформаций под воздействием динамических нагрузок 154
Калашников В. И., Грачева Ю. В., Миненко Е. Ю. Экспресс-метод для оперативного прогноза длительной водостойкости геосинтетических и геошлаковых вяжущих 162
Логанина В. И., Акжигитова Э. Р. Оценка эффективности применения смешанослойных глин в рецептуре известковых отделочных составов 169
Дергунов Н. Н., Корнеев А. Д. Жаростойкий композиционный материал с применением тонкомолотых добавок и ультрадисперсных наполнителей 174
Ерофеев В. Т., Фомичев В. Т., Емельянов Д. В., Родин А. И., Еремин А. В. Влияние активированной воды затворения на структурообразование цементных паст 179
Ахмедов А. М. Анализ антикоррозионной защиты при строительстве и капитальном ремонте линейно-протяженных сооружений 184
Перфилов В. А., Кузнецова С. В., Синяков В. Н. Пространственные закономерности распространения месторождений строительных материалов Волгоградской области 190
Соловьева Т. А., Акчурин Т. К., Пушкарская О. Ю. Оценка возможности использования отходов углеволокна в качестве армирующего элемента цементных композиций 197

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Павлова С. В. Совершенствование технологической схемы очистки сточных вод от загрязнений ароматическими соединениями каталитическим озонированием 202
Желтобрюхов В. Ф., Фельдштейн Е. Г. Проблемы очистки поверхностного стока 206

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Фокин В. М., Рощин П. А., Лепилов В. И., Ковылин А. В. Энергоэффективность тепловых установок со спиральным теплообменником кипящего типа 212
Курицын Б. Н., Осипова Н. Н., Максимов С. А. Особенности эксплуатации регуляторов давления резервуарных установок сжиженного углеводородного газа 216
Пащенко Н. М., Фокин В. М., Усадский Д. Г. Разработка ресурсосберегающих мероприятий на объектах строительства с использованием методик тепловизионного контроля 222
Усадский Д. Г., Пащенко Н. М., Фокин В. М., Ковылин А. В. Тепловой метод неразрушающего контроля ограждающих конструкций при научном обосновании энергоэффективных строительных систем 226
Ковылин А. В., Попова А. В., Фокин В. М. Энергоэффективный и экологически безопасный метод экспериментального определения теплофизических свойств стеклопакета 232

Шило М. А., Ковылин А. В., Фокин В. М. Современная многослойная теплозащитная система ограждений для повышения ожогового порога 238
Годин П. А., Годин М. А. Децентрализованное энергоснабжение объектов малой энергоемкости на основе гибридной энергоустановки с системой аккумулирования энергии 241
Корчагин В. А., Крылова М. В. Анализ влияния локальных нелинейных эффектов на вытеснение нефти водным раствором полимера 247

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Азаров В. Н., Маринин Н. А., Бурханова Р. А., Азаров А. В. О дисперсном составе пыли в воздушной среде в производстве строительных материалов 256
Боровков Д. П., Скориков Д. А. Об использовании закрутки потока в системах аспирации производства строительных материалов 261
Сенченко В. А. Проблемы внешнего контроля состояния условий и охраны труда на малых предприятиях строительной отрасли 269
Ковылин А. В., Чернышкова Т. В., Злобин В. Н., Фокин В. М. Разработка современного метода измерения коэффициента звукопоглощения для обеспечения экологической безопасности строительных объектов 275

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

Учаев В. Н., Филиппова С. В. Влияние климатических факторов на процессы пылевыделения от неорганизованных источников выбросов 279
Прокопенко В. В., Косицына Э. С. Методика определения равномерности распределения объектов озеленения по районам города 284
Анопин В. Н. Интенсивность современных экзогенных процессов в урболандшафтах Нижнего Поволжья и геодезические методы ее оценки 288
Михайловская Ю. С. Эколого-экономические механизмы управления качеством атмосферного воздуха в Российской Федерации 295
Бурлаченко О. В., Душко О. В., Мышлинская И. Х., Булычев Г. А., Булычев Ф. Г., Булычев Г. Р. Сбор и утилизация отходов ГСМ в условиях Арктики 302

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

Ермилов А. А. Вероятностная оценка уплотняемости асфальтобетона при ремонте городских дорог 313
Семашкин К. В. Практика инженерно-геологического обследования подтопленной дорожной насыпи методом георадиолокации 320
Бондарев Б. А., Прозорова Л. А., Бутузов Г. М., Длугашевский А. В., Бондарев А. Б. Прогнозирование долговечности асфальтобетонных покрытий городских автомобильных дорог на основе щебеночно-мастичного асфальтобетона 328
Боровик В. С., Сергеева Н. Б. Необходимость модернизации методик по разработке технико-экономических обоснований объектов строительства (реконструкции) автомобильных дорог 336

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

Абрамян С. Г., Ахмедов А. М. Технологическая схема замены изоляции при реконструкции и капитальном ремонте магистральных трубопроводов с применением ГИС-технологий 342
Маяцкая И. А., Демченко Б. М. Аналитическая интерпретация моделей растительных материалов 346

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА

Тонкой И. В. Предпосылки формирования и развития региональной системы расселения Русского междуречья 352
Черешнев И. В., Черешнева Н. В. Анализ процессов социально-экологической адаптации архитектуры индивидуального жилища в условиях г. Волгограда 360
Юшкова Н. Г. Территориальное планирование и государственная политика развития региона 365

НАШИ АВТОРЫ 388

Content

BASEMENTS, FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES

Bogomolov A. N., Kalinovskiy S. A., Bogomolova O. A., Prokopenko A. V., Ivanov A. A. Assessment of coefficient of stability margin of smooth loaded slope on the basis of the analysis of stress state of soil mass at various coefficient values of lateral soil pressure 7

Bogomolov A. N., Ushakov A. N., Bogomolova O. A., Solovev A. V., Prokopenko A. V., Kalinovskiy S. A. Depth determination of plastic deformation areas in homogeneous base of buried continuous footing on the base of the analysis of stress state of soil mass by complex variable method 13

Bogomolov A. N., Bartolomey I. L., Bogomolova O. A., Prokopenko A. V. Bearing capacity of cohesive basement of compound raft foundation 27

Bogomolova O. A., Babakhanov B. S., Kalashnikov S. Yu., Kalinovskiy S. A., Prokopenko A. V., Ivanov A. A. Influence of lateral soil pressure coefficient on degree of smooth slope stability 39

Bogomolova O. A., Bogomolov A. N., Bartolomey I. L., Kachurin Ya. V., Yakimenko I. V. To the issue of mutual influence of nearby parallel unburied strip (raft) foundation on cohesive basement 50

Bogomolov A. N., Olyanskiy Yu. I., Shiyan S. I., Charykova S. A., Kuzmenko I. Yu. Peculiarities of change physical and mechanical properties structure of free-salined and salined clay rocks at diffusive desalinisation 71

Savinov A. V. Modern estimation methods for bearing capacity of jack piles on limit effort of penetration 80

Klochkov Yu. V., Nikolaev A. P., Gureeva N. A. Calculation of basements and foundations by finit elements method in the mixed formulation taking into account physical nonlinearity 87

Tsvetkov R. V., Shardakov I. N., Shestakov A. P. Monitoring system of differential settlement of constructions using ip-cameras 95

Ponomarev A. B., Kuznetsova A. S., Ofrikhter V. G. Application of fibroreinforced sand as the foundation of buildings and constructions 101

Ponomarev A. B., Sychkina E. N., Akbulyakov M. A., Cherepanov A. Yu. The analysis of the results of pilot research of soapstone mechanical properties 108

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

Muraveva L. V. The analysis of sensitivity of a sea pipeline which is exposed to seismic influences 121

Kasharin D. V. Justifying calculation of parameters of mobile water-retaining constructions made of composite materials 128

Perekhozhentsev A. G. Regulation of microclimate parameters in residential and public buildings 139

Kornienko S. V. Assessment of the microclimate of premises on the basis of natural measurements 144

BUILDING MATERIALS AND ARTICLES

Perfilov V. A. Strength and crack resistance of high temperature concrete 148

Matua V. P., Sizonets S. V., Matua R. V. Research of strengthened crushed-stone-sand mixtures on accumulation of permanent strain under the influence of dynamic loadings 154

Kalashikov V. I., Gracheva Yu. V., Minenko E. Yu. Rapid method of real-time forecast of durable water resistance of geo-synthetic and geo-slag binding materials 162

Loganina V. I., Akzhigitova E. R. Assessment of efficiency of application of mixed layered clays in formula of lime finishing compound 169

Dergunov N. N., Korneev A. D. Heat-resistant composite material with application of floured additives and ultradisperse fillers 174

Erofeev V. T., Fomichev V. T., Emelyanov D. V., Rodin A. I., Eremin A. I. Influence of activated water mixing on structure formation of cement layers 179

Akhmedov A. M. The analysis of corrosion protection at construction and overhaul repair of linear streched structures 184

Perfilov V. A., Kuznetsova S. V., Sinyakov V. N. Spatial regularities of distribution of construction material fields in Volgograd oblast 190

Soloveva T. A., Akchurin T. K., Pushkarskaya O. Yu. Assessment of possibility of use of carbon wastes as reinforcing element of cement compositions 197

WATER SUPPLY, SEWERAGE, CONSTRUCTIONS FOR WATER RESOURCES PROTECTION

Pavlova S. V. Improvement of the technological scheme of sewage treatment from pollution by aromatic compounds with the help of catalytic ozonization 202

Zheltobryukhov V. F., Feldshteyn E. G. Problems of surface runoff cleaning 206

HEAT SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION

Fokin V. M., Roshchin P. A., Lepilov V. I., Kovylin A. V. Energy efficiency of thermal installations with spiral heat exchanger of boiling type 212
Kuritsyn B. N., Osipova N. N., Maksimov S. A. Peculiarities of operation of pressure regulators of reservoir installations of liquefied hydrogen gas 216
Pashchenko N. M., Fokin V. M., Usadskiy D. G. Development of resource-saving measures on construction objects with use of thermovision control methods 222
Usadskiy D. G., Pashchenko N. M., Fokin V. M., Kovylin A. V. Thermal method of nondestructive control of protecting envelopes with scientific justification of power efficient construction systems 226
Kovylin A. V., Popova A. V., Fokin V. M. Power efficient and environmentally safe method of experimental determination of thermophysical properties of double-glazing window 232
Shilo M. A., Kovylin A. V., Fokin V. M. Modern multilayered heat-protective system of enclosures for increase of burn threshold 238
Godin P. A., Godin M. A. Decentralized power supply of small power consumption objects based on hybrid power installation with energy accumulation system 241
Korchagin V. A., Krylova M. V. The analysis of influence of local nonlinear effects on oil displacement by water polymer solution 247

LIFE SAFETY LABOR SAFETY IN CONSTRUCTION

Azarov V. N., Marinin N. A., Burkhanova R. A., Azarov A. V. Disperse structure of dust in the air environment in production of construction materials 256
Borovkov D. P., Skorikov D. A. Use of stream swirl in systems of aspiration of construction materials production 261
Senchenko V. A. The problems of external control of labour conditions and protection at small construction enterprises 269
Kovylin A. V., Chernyshkova T. V., Zlobin V. N., Fokin V. M. The development of modern measurement method of acoustic absorption coefficient for ensuring ecological safety of construction objects 275

ENVIRONMENTAL ISSUES IN URBAN PLANNING

Uchaev V. N., Filippova S. V. Influence of climatic factors on processes of dust emission from unorganized emission sources 279
Prokopenko V. V., Kositsyna E. S. The methods of determination of equitability of objects of gardening in city districts 284
Anopin V. N. Intensity of modern exogenous processes in urban lanscapes in Lower Volga area and geodetic methods of its assessment 288
Mikhaylovskaya Yu. S. Ecological and economical mechanisms of atmospheric air quality management in the Russian Federation 295
Burlachenko O. V., Dushko O. V., Myshlinskaya I. Kh., Bulychev G. A., Bulychev F. G., Bulychev G. R. Collection and recycling of fuels and lubricant wastes under conditions of Arctic 302

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

Ermilov A. A. Probability estimate of asphalt concrete compaction at city roads repair 313
Semashkin K. V. Practice of engineering-geological examination of waterlogged road embankment by ground penetration location method 320
Bondarev B. A., Prozorova L. A., Butuzov G. M., Dlugashevskiy A. V., Bondarev A. B. Forecasting of durability of asphalt concrete coverings of city highways on the basis of crushed-stone and mastic asphalt concrete 328
Borovik V. S., Sergeeva N. B. The neseccity to upgrade the methods of development of feasibility studies on construction objects (reconstruction) of highways 336

INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION

Abramyan S. G., Akhmedov A. M. Technological plan of insulation replacement at overhaul and reconstruction of main pipe line using GIS-technology 342
Mayatskaya I. A., Demchenko B. M. Analytical interpretation of plant materials models 346

URBAN PLANNING. THEORY OF URBAN DEVELOPMENT

Tonkoy I. V. Preconditions for formation and development of urbanized region system in Russian interfluve area 352

Chereshnev I. V., Chereshneva N. V. The analysis of processes of social and ecological adaptation of architecture of the individual dwelling in Volgograd 360
Yushkova N. G. Territorial planning and region development state policy 365

OUR AUTHORS 388

ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.131

А. Н. Богомолов, С. А. Калиновский, О. А. Богомолова, А. В. Прокопенко, А. А. Иванов

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ОДНОРОДНОГО НАГРУЖЕННОГО ОТКОСА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА

На основе анализа напряженного состояния грунтового массива исследуется влияние величины коэффициента бокового давления грунта на величину коэффициента запаса устойчивости однородного нагруженного откоса. Установлено, что для откосов с различными геометрическими параметрами, сложенными связными грунтами с широким диапазоном изменения физико-механических свойств, существует такое (для каждого откоса свое) минимальное значение величины интенсивности равномерно распределенной нагрузки, после превышения которой, величина коэффициента бокового давления грунта перестает оказывать сколько-нибудь существенное влияние на степень его устойчивости. Выявлено, что в некоторых случаях разница численных значений величины интенсивности внешней нагрузки, соответствующих наперед заданному значению величины коэффициента запаса устойчивости, может возрастать при увеличении значения коэффициента бокового давления 0,4…0,95 на 30 % и более. На основании этого делается вывод о необходимости рассматривать величину коэффициента бокового давления в качестве переменного расчетного параметра при определенных значениях геометрических характеристик откоса, интенсивности внешней нагрузки и физико-механических свойств грунта.

К л ю ч е в ы е с л о в а: однородный нагруженный откос, физико-механические свойства грунта, коэффициент бокового давления, интенсивность внешнего воздействия.

On the basis of the analysis of stress state of soil mass the influence of coefficient value of lateral soil pressure on coefficient value of stability margin of smooth loaded slope is investigated. It is established that for slopes with various geometrical parameters composed by cohesive soil with wide range of changes of physical and mechanical properties, exists (for each slope its own one) minimum value of intensity of evenly distributed load and when this load is exceeded the size of coefficient of lateral soil pressure does not have a significant influence on its stability margin. It is stated that in certain cases the difference of numerical values of the external load intensity, corresponding to given beforehand coefficient of stability margin, can increase at rise of lateral pressure coefficient from 0,4 to 0,95 by 30 % and more. On this basis the conclusion about the necessity to consider the value of lateral pressure coefficient as variable calculated parameter at certain values of geometrical characteristics of a slope, the external load intensity and physical and mechanical properties of soil.

K e y w o r d s: smooth loaded slope, physical and mechanical properties of soil, lateral pressure coefficient, external impact intensity.

О важности величины коэффициента бокового давления грунта ξ_o для проведения геотехнических расчетов говорит большое количество экспериментальных и теоретических методов ее определения, проанализированных

в наших работах [1, 2]. Однако до последнего времени величина ξ_o практически никогда не учитывалась при проведении расчетов откосов на устойчивость.

Предложения об использовании величины ξ_o в качестве переменного расчетного параметра впервые сделаны в работах [3, 4].

В работе [4] отмечено, что величина коэффициента бокового давления грунта не оказывает существенного влияния на величину коэффициента запаса устойчивости нагруженных откосов, но подробного исследования этого вопроса проведено не было.

Задачей настоящей публикации является установление факта, что при определенных сочетаниях численных значений переменных расчетных параметров (геометрические параметры откоса и нагрузки, ее интенсивность, физико-механические свойства грунтов) величина ξ_o оказывает достаточное влияние на результаты расчета устойчивости, которое необходимо учитывать при проектировании земляных сооружений.

Многообразие геометрических параметров откосов, физико-механических свойств грунтов, вариантов внешних нагрузок не позволяет провести расчеты устойчивости откосов для всех возможных сочетаний численных значений этих величин, чтобы провести исчерпывающий анализ. Поэтому мы ограничились следующими величинами переменных расчетных параметров: угол заложения откоса принимает значения $\beta = 25\ldots60°$; угол внутреннего трения грунта изменяется в пределах $\varphi\in[15...35°]$, объемный вес грунта постоянен и равен $\gamma = 2$т/м^3, а величина удельного сцепления C и высота откосов H принимают такие значения, что величина приведенного давления связности $\sigma_{св} = C(\gamma H\mathrm{tg}\varphi)^{-1}\in[0{,}05\ldots2]$.

Положение равномерно распределенной нагрузки на бровке откоса и ширина нагрузки выбраны на основании результатов исследований, приведенных в работе [5], откуда следует, что при любых значениях угла заложения откоса β, его высоты H, интенсивности внешней нагрузки q и физико-механических свойств грунта минимальное значение коэффициента запаса устойчивости нагруженного откоса K^* соответствует условиям $b = 0{,}5H$, $d = 0{,}8H$ (рис.1, *а*) и при дальнейшем увеличении d и b практически не меняется. То есть такие геометрические параметры нагрузки являются наиболее не благоприятными.

Все расчеты по определению напряжений, построению наиболее вероятных линий скольжения и вычислению соответствующих значений коэффициентов запаса устойчивости выполнены при помощи компьютерной программы [6], разработанной в ВолгГАСУ. В этой программе для вычисления напряжений формализован метод конечных элементов (МКЭ), а для построения наиболее вероятной линии скольжения и вычисления величины K — методы, предложенные в работах [1, 2].

Расчетные схемы МКЭ во всех случаях состояли из 12 100 конечных элементов, сопряженных в 6216 узлах, при этом ширина матрицы жесткости системы равнялась 126.

На рис. 1, *б*, *в*, *г* в качестве примера приведены построенные по результатам проведенных вычислений графические зависимости.

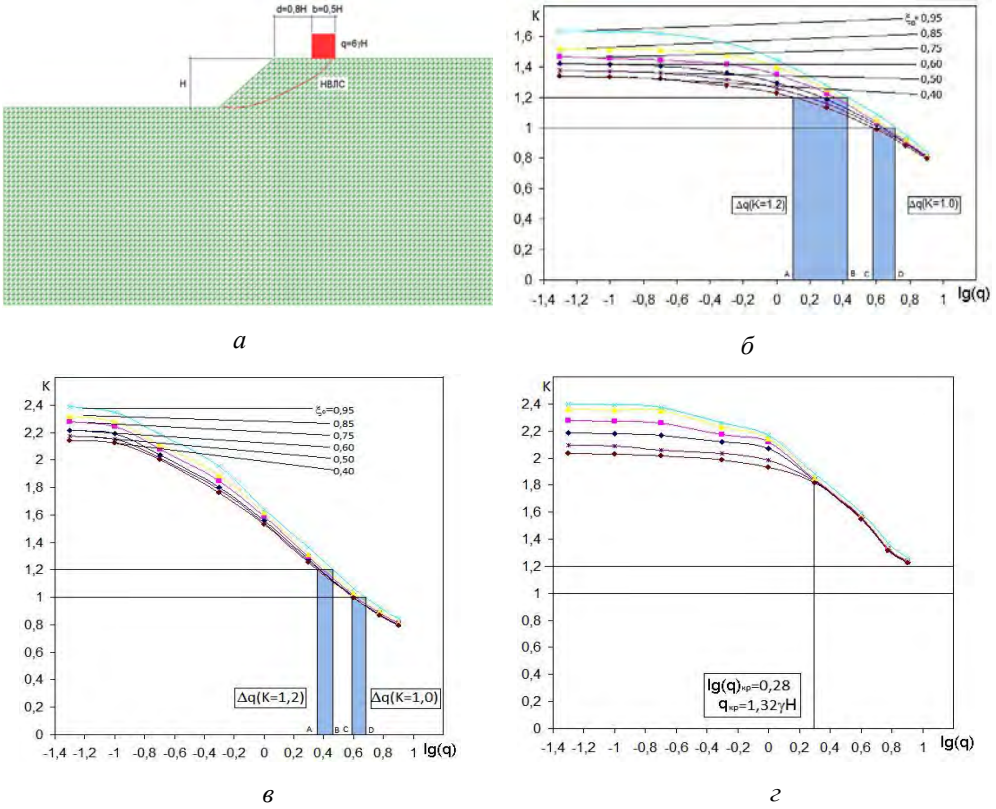


Рис. 1. Фрагмент расчетной схемы МКЭ при наиболее не благоприятных значениях геометрических параметров внешней равномерно распределенной нагрузки (*а*); графические зависимости вида $K^*=f(\lg(q))$ для однородных откосов при $\beta = 60°$; $\varphi = 20°$; $\sigma_{св} = 0,5$ (*б*); при $\beta = 45°$; $\varphi = 35°$; $\sigma_{св} = 0,05$ (*в*) и при $\beta = 25°$; $\varphi = 35°$ и $\sigma_{св} = 0,05°$(*г*)

Чаще всего проектные значения коэффициентов запаса устойчивости нагруженных откосов находятся в полуинтервале $K_{пр} \in (1,0…1,2]$, поэтому особое внимание уделим соответствующим отрезкам кривых, приведенных на рис. 1, *б*, *в*, *г*.

Анализируя упомянутые выше кривые, можно сделать следующие выводы:

1. Для любого нагруженного однородного откоса существует такое значение интенсивности равномерно распределенной нагрузки, после превышения которого, численные значения величины коэффициента запаса устойчивости перестают зависеть от расчетного значения коэффициента бокового давления грунта ξ_o (на рис.1, *б*, *в*, *г* соответствующие кривые сходятся в одной точке).

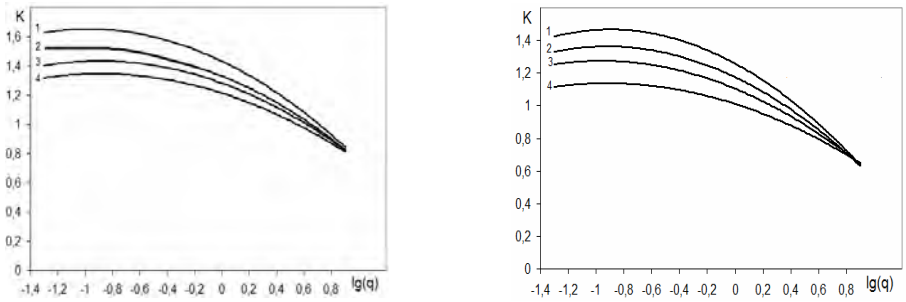
2. Численные значения величины интенсивности внешней равномерно распределенной нагрузки, соответствующие граничным значениям $K_{пр}$ рассматриваемого полуинтервала, могут существенно отличаться друг от друга в зависимости от принятого расчетного значения коэффициента бокового давления грунта. Так, для однородного откоса при $\beta = 60°$; $\varphi = 20°$ и $\sigma_{св} = 0,5$ (см. рис. 1, *б*) эти значения равны: при $K_{пр} = 1 – q_{(0,4)} = 3,63\gamma H$ и $q_{(0,95)} = 5,84\gamma H$, а при $K_{пр}=1,2 – q_{(0,4)} = 1,29\gamma H$ и $q_{(0,95)}=2,66\gamma H$. Для однородного откоса при

$\beta = 45°$; $\varphi = 35°$ и $\sigma_{св} = 0{,}05$ (см. рис. 1, *в*) имеем при $K_{пр}$=1 – $q_{(0,4)} = 3{,}8\gamma H$ и $q_{(0,95)} = 4{,}78\gamma$H, а при $K_{пр} = 1{,}2$ – $q_{(0,4)} = 2{,}19\gamma H$ и $q_{(0,95)} = 3{,}02\gamma H$. Как видно, для первого откоса отличия составляют 32 и 51 %, а для второго — соответственно 21 и 28 %.

Коэффициенты аппроксимирующих выражений составят базу данных компьютерной программы, предназначенной для определения численных значений расчетных параметров нагруженных откосов, при которых необходимо учитывать величину коэффициента бокового давления грунта.

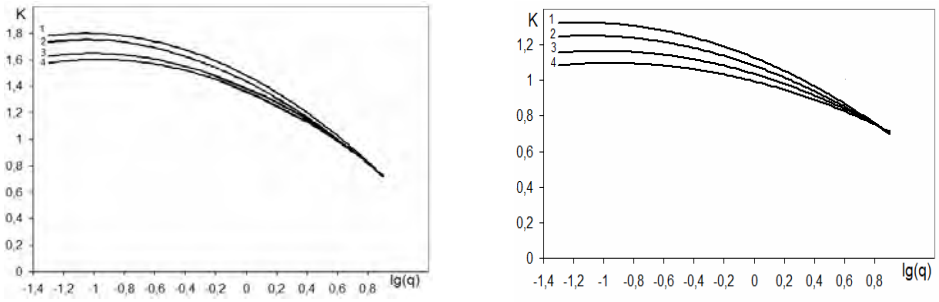
3. Возможны ситуации, когда величина коэффициента бокового давления грунта ξ_o не оказывает влияние на получаемую при расчете величину коэффициента запаса устойчивости K. Это происходит тогда, когда слияние кривых вида $K = f\left(\lg(q)\right)$, построенных для различных коэффициентов бокового давления грунта, наблюдается при $K > K_{пр}$ (см. рис. 1, *г*).

4. Все полученные в результате проведения вычислений кривые могут быть аппроксимированы полиноминальной зависимостью (квадратным трехчленом). При этом погрешность аппроксимации в подавляющем большинстве случаев не превышает 4…7 %. Часть этих гладких аппроксимирующих кривых приведена на рис. 2—5 в качестве примеров.



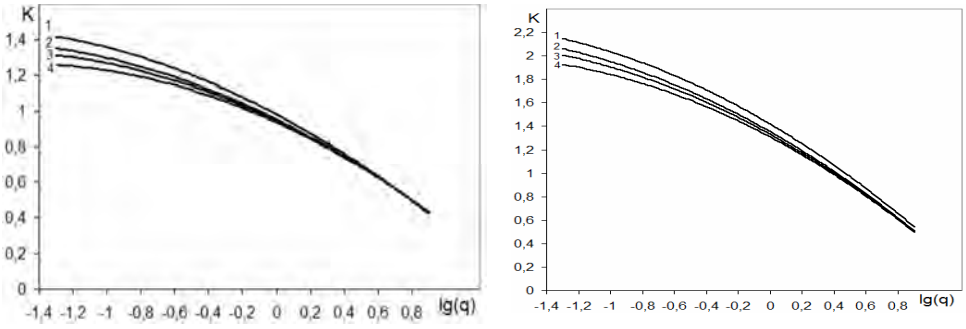
а *б*

Рис. 2. График зависимости вида $K = f\left(\lg(q)\right)$ при $\beta = 45°$; $\varphi = 30°$; $\sigma_{св} = 0{,}1$ для $\xi_o = 0{,}95$ (*1*); $\xi_o = 0{,}75$ (*2*); $\xi_o = 0{,}6$ (*3*); $\xi_o = 0{,}4$ (*4*) (*а*); при $\sigma_{св} = 0{,}05$ (*б*)



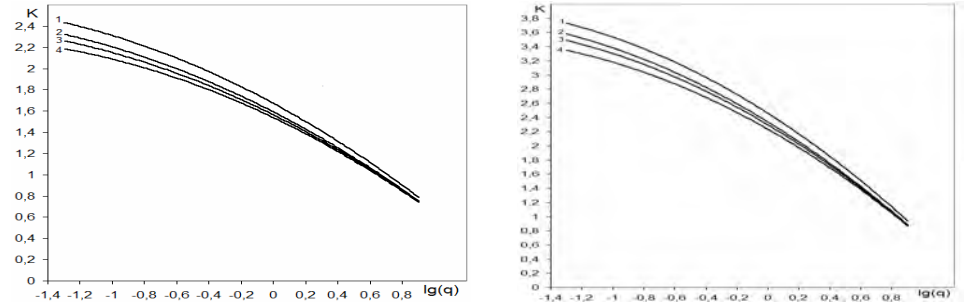
а *б*

Рис. 3. График зависимости вида $K = f\left(\lg(q)\right)$ при $\beta = 45°$; $\varphi = 25°$; $\sigma_{св} = 0{,}25$ для $\xi_o = 0{,}95$ (*1*); $\xi_o = 0{,}75$ (*2*); ξ_o=0,6 (*3*); $\xi_o = 0{,}4$ (*4*) (*а*); при $\sigma_{св} = 0{,}1$ (*б*)



а *б*

Рис. 4. График зависимости вида $K = f\left(\lg(q)\right)$ при β = 60°; φ = 15°; $\sigma_{св}$ = 0,5 для ξ_o = 0,95 (*1*); ξ_o = 0,75 (*2*); ξ_o = 0,6 (*3*); ξ_o = 0,4 (*4*) (*а*); при $\sigma_{св}$ = 1,0 (*б*)



а *б*

Рис. 5. График зависимости вида $K = f\left(\lg(q)\right)$ при β = 60°; φ = 25°; $\sigma_{св}$ = 0,5 для ξ_o = 0,95 (*1*); ξ_o = 0,75 (*2*); ξ_o = 0,6 (*3*); ξ_o = 0,4 (*4*) (*а*); при $\sigma_{св}$ = 1,0 (*б*)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ методов определения коэффициента бокового давления грунта (экспериментальные методы) / А. Н. Богомолов, С. А. Калиновский, О. А. Богомолова, А. Н. Ушаков // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы III Международной научно-технической конференции. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. — С. 33—57.

2. Анализ методов определения коэффициента бокового давления грунта (аналитические методы) / А. Н. Богомолов, С. А. Калиновский, О. А. Богомолова, А. Н. Ушаков // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы III Международной научно-технической конференции. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. — С. 58—85.

3. *Цветков В. К.* Расчет устойчивости откосов и склонов. — Волгоград : Нижневолж. кн. изд-во, 1979. — 235 с.

4. *Богомолов А. Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. — Пермь : ПГТУ, 1996.— 150 с.

5. Метод расчета устойчивости нагруженных откосов и его экспериментальное обоснование / О. А. Богомолова, А. В. Ечевский, Б. С. Бабаханов, С. И. Шиян, А. В. Соловьев, С. И. Махова, С. А. Калиновский // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2012. — Вып. 26 (45). — С. 32—41.

6. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние) : свид. о госрег. программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г. / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков, С. И. Шиян.

1. Analiz metodov opredeleniya koeffitsienta bokovogo davleniya grunta (eksperimental'nye metody) / A. N. Bogomolov, S. A. Kalinovskiy, O. A. Bogomolova, A. N. Ushakov // Inzhenernye problemy stroitel'nogo materialovedeniya, geotekhnicheskogo i dorozhnogo stroitel'stva : materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. — Volgograd : VolgGASU, 2012. — S. 33—57.

2. Analiz metodov opredeleniya koeffitsienta bokovogo davleniya grunta (analiticheskie metody) / A. N. Bogomolov, S. A. Kalinovskiy, O. A. Bogomolova, A. N. Ushakov // Inzhenernye problemy stroitel'nogo materialovedeniya, geotekhnicheskogo i dorozhnogo stroitel'stva : materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. — Volgograd : VolgGASU, 2012. — S. 58—85.

3. *Tsvetkov V. K.* Raschet ustoychivosti otkosov i sklonov. — Volgograd : Nizhnevolzh. kn. izd-vo, 1979. — 235 s.

4. *Bogomolov A. N.* Raschet nesushchey sposobnosti osnovaniy sooruzheniy i ustoychivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoy postanovke. — Perm' : PGTU, 1996. — 150 s.

5. Metod rascheta ustoychivosti nagruzhennykh otkosov i ego eksperimental'noe obosnovanie / O. A. Bogomolova, A. V. Echevskiy, B. S. Babakhanov, S. I. Shiyan, A. V. Solov'ev, S. I. Makhova, S. A. Kalinovskiy // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. — Volgograd : Izd-vo Volg-GASU, 2012. — Vyp. 26 (45). — S. 32—41.

6. Ustoychivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) : svid. o gosreg. programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g. / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, M. Yu. Nestratov, N. N. Potapova, M. M. Stepanov, A. N. Ushakov, S. I. Shiyan.

© Богомолов А. Н., Калиновский С. А., Богомолова О. А., Прокопенко А. В., Иванов А. А., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Оценка величины коэффициента запаса устойчивости однородного нагруженного откоса на основе анализа напряженного состояния грунтового массива при различных значениях коэффициента бокового давления грунта / А. Н. Богомолов, С. А. Калиновский, О. А. Богомолова, А. В. Прокопенко, А. А. Иванов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 7—12.

УДК 624.131

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ РАЗВИТИЯ ОБЛАСТЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ОДНОРОДНОМ ОСНОВАНИИ ЗАГЛУБЛЕННОГО ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ФУНКЦИЙ КОМПЛЕКСНОГО ПЕРЕМЕННОГО

Приводится сопоставление величин глубины развития областей пластических деформаций, полученных сторонними авторами, с соответствующими значениями, вычисленными на основе решения первой основной граничной задачи теории упругости для однородной изотропной односвязной области, полученными в ВолгГАСУ. Делается вывод о необходимости учитывать при таких расчетах величину коэффициента бокового давления грунта.

К л ю ч е в ы е с л о в а: напряженное состояние, методы теории функций комплексного переменного, отображающая функция, метод конечных элементов, коэффициент бокового давления, зоны пластических деформаций в активной зоне фундамента, критические нагрузки, расчетное сопротивление основания.

In the article the comparison of plastic deformation depth values received by third-party authors, with the corresponding values calculated by solving the first fundamental boundary problem of elasticity theory for homogeneous isotropic simply connected domain got in VSUACE is provided. The conclusion is made that it is necessary to consider the coefficient of lateral earth pressure at calculation process.

K e y w o r d s: stress state, methods of theory of complex variable function, reflect function, finite element method, lateral pressure coefficient, plastic deformation areas in active zone of foundation, critical loadings, calculated basis resistance

В работе [1] приведено решение задачи о несущей способности однородного и изотропного основания заглубленного ленточного фундамента с учетом веса грунта обратной засыпки.

Напряжения в точках грунтового массива определяются на основе решения первой основной граничной задачи теории упругости, полученного методами теории функций комплексного переменного (МТФКП) [2].

Отображающая функция принята в виде

$$z = \omega(w) = \left[w + \frac{A}{w - i} - \frac{Ci}{(w - i)^2} - \frac{K}{(w - i)^2} \right], \qquad (1)$$

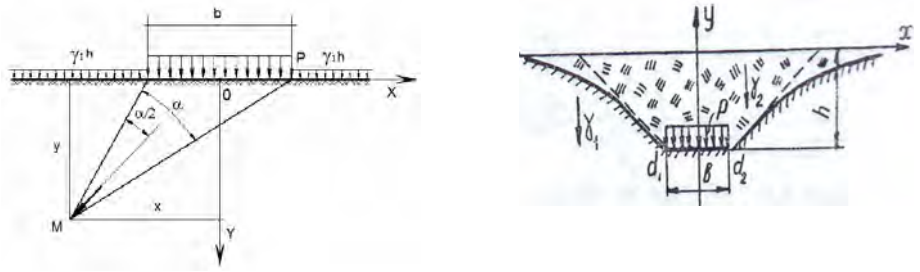
где $z = x + iy$; $w = \zeta + i\eta$; $\eta \le 0$.

Для определения размеров, положения и формы областей пластических деформаций (ОПД) использовано условие прочности Кулона [3] для прямолинейных огибающих предельных кругов Мора, которое может быть представлено одним из трех приведенных ниже выражений:

$$\left.\begin{aligned} &\sigma_1 - \sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_2 + 2\sigma_{св})\sin\varphi, \\ &(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2 = (\sigma_x + \sigma_z + 2\sigma_{св})^2 \sin^2\varphi, \\ &\operatorname{tg}\theta_{max} = \operatorname{tg}\varphi, \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

где σ_1 и σ_2 — главные нормальные напряжения в рассматриваемой точке; σ_x, σ_z и τ_{xz} — компоненты полного напряжения в той же точке; $\sigma_{св} = C(\mathrm{tg}\varphi)^{-1}$ — давление связности; C, φ и θ_{max} — соответственно удельное сцепление, угол внутреннего трения грунта и угол максимального отклонения.

В качестве примера рассматривается основание, сложенное однородным грунтом со следующими прочностными характеристиками: $C = 78{,}48$ кПа; $\varphi = 20°$. Принято, что объемный вес грунта основания равен объемному весу грунта засыпки $\gamma_1 = \gamma_2 = 1{,}9$ т/м^3, а соответствующие значения коэффициента бокового давления одинаковы и равны $\xi_o = 1$. Глубина заложения фундамента $H = 3$ м; ширина дна котлована $L = 2{,}7$ м; ширина фундамента $2b = 1{,}52$ м [1].



а *б*

Рис. 1. Расчетная схема Н. П. Пузыревского (*а*) и З. Г. Тер-Мартиросяна — Г. Е. Шалимова (МТФКП) (*б*) (схема *б* цит. по [1])

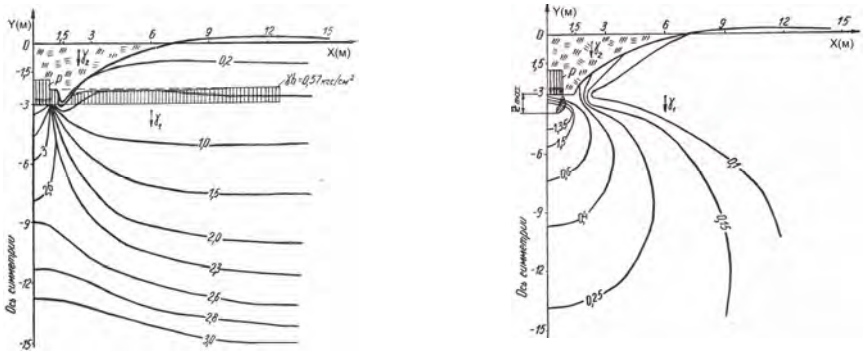
Далее, используя классическую расчетную схему (рис. 1) и формулу Н. П. Пузыревского [4], авторы работы [1] установили, что величина интенсивности внешней равномерно распределенной нагрузки, при которой глубина развития ОПД вглубь основания под подошвой фундамента равна $Z_{max} = (2b)/4 = 0{,}381$ м, составляет $q_R = 0{,}636$ кг/см^2 = 0,062 МПа. Такая нагрузка, по Н. П. Пузыревскому, соответствует величине расчетного сопротивления основания R.

Согласно данным, приведенным в [1], области пластических деформаций, построенные авторами при $q_R = 0{,}636$ кг/см^2 = 0,062 МПа на основании приводимого ими решения, распространяются на глубину $Z'_{max} = 0{,}95$ м, что в 2,493 раза больше, чем соответственная величина, вычисленная по формуле Н. П. Пузыревского. Такое весьма существенное отличие результатов вычислений объясняется авторами этой работы тем, что «эпюра вертикальных напряжений σ_y на уровне подошвы фундамента является криволинейной, что не соответствует прямолинейной эпюре от боковой пригрузки» [1] (рис. 2, *а*).

Соавторами настоящей публикации получено аналитическое решение первой основной граничной задачи теории упругости для весомой однородной и изотропной односвязной области [5; 6] на основе использования МТФКП. Отметим, что отображающая функция в нашем случае имеет вид

$$z = \omega(\zeta) = C_0 + C\zeta - \sum_{k=0}^{n} \frac{C_{2k+1}}{(\zeta + a - bi)^{2k+1}}, \qquad (3)$$

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



а *б*

Рис. 2. Изолинии вертикальных напряжений σ_y, кг/см^2, и эпюра σ_y по горизонтальному сечению $y = H = -3$ м (*а*); изолинии максимальных касательных напряжений τ_{max} и расчетные области предельного равновесия (*б*) (цит. по [1] в ее обозначениях)

При этом функции, входящие в известные соотношения Н. И. Мусхелишвили и определяющие численные значения напряжений в точках исследуемой области, получены в виде

$$\Phi(\zeta) = -\frac{1}{\left[C + \sum_{k=0}^{n} \frac{(2k+1)C_{2k+1}}{(\zeta + a - bi)^{2k+1}}\right]} \times$$

$$\times \left\{ J_1 + \sum_{k=0}^{n} \frac{C_{2k+1}}{(2k)!} + \left[\sum_{s=0}^{m=2k+1} \frac{A_m^s \overline{\Phi(-a-bi)^{(m-s)}}}{(\zeta + a - bi)^{s+1}} - \sum_{s=0}^{m=2k} \frac{A_m^s \overline{\Phi'(-a-bi)^{(m-s)}}}{(\zeta + a - bi)^{s+1}} \right] \right\}; \quad (4)$$

$$\Psi(\zeta) = -\frac{1}{\left[C + \sum_{k=0}^{n} \frac{(2k+1)C_{2k+1}}{(\zeta + a - bi)^{2k+2}}\right]} \left\{ J_2 + \left[\overline{C} + \sum_{k=0}^{n} \frac{(2k+1)\overline{C_{2k+1}}}{(\zeta + a + bi)^{2k+2}} \right] \Phi(\zeta) + \right.$$

$$+ \left[\overline{C}_0 + \overline{C}\zeta - \sum_{k=0}^{n} \frac{\overline{C_{2k+1}}}{\zeta + a + bi} \right] \Phi'(\zeta) -$$

$$\left. - \sum_{k=0}^{n} \frac{\overline{C_{2k+1}}}{(2k)!} \left[\sum_{s=0}^{m=2k+1} \frac{A_m^s \Phi^{(m-s)}(-a-bi)}{(\zeta + a + bi)^{s+1}} - \sum_{s=0}^{m=2k} \frac{A_m^s \Phi^{(m+1-s)}(-a-bi)}{(\zeta + a + bi)^{s+1}} \right] \right\}, \quad (5)$$

где $J_1 = \frac{1}{2\pi i} \int \left(\frac{N - iT}{t - \zeta} \right) \left[C + \sum_{k=0}^{n} \frac{(2k+1)C_{2k+1}}{(t + a - bi)^{2k+2}} \right] dt;$

$$J_2 = \frac{1}{2\pi i} \int \left(\frac{N - iT}{t - \zeta} \right) \left[\overline{C} + \sum_{k=0}^{n} \frac{(2k+1)\overline{C_{2k+1}}}{(t + a + bi)^{2k+2}} \right] dt\,.$$

Это решение формализовано в разработанных в ВолгГАСУ компьютерных программах [7—10]. Используя одну из этих программ, провели расчеты по определению глубины развития областей пластических деформаций для условий приведенного выше примера. Отличия заключаются лишь в том, что коэффициенты отображающей функции (3) подобраны таким образом, что ширина трапециевидного выреза L равна ширине нагрузки (фундамента) $2b$, а имитация обратной засыпки осуществлена на основе приема, изложенного в работе [11]. Этот прием позволяет назначить на участках границы односвязной области условия, адекватные тем, что были бы на этих участках, если бы они находились внутри грунтового массива.

На рис. 3 приведены изолинии компонент напряжения в однородной изотропной области при имитации выреза прямоугольной формы (котлована или траншеи прямоугольного сечения), что имеет место при рассмотрении заглубленного фундамента.

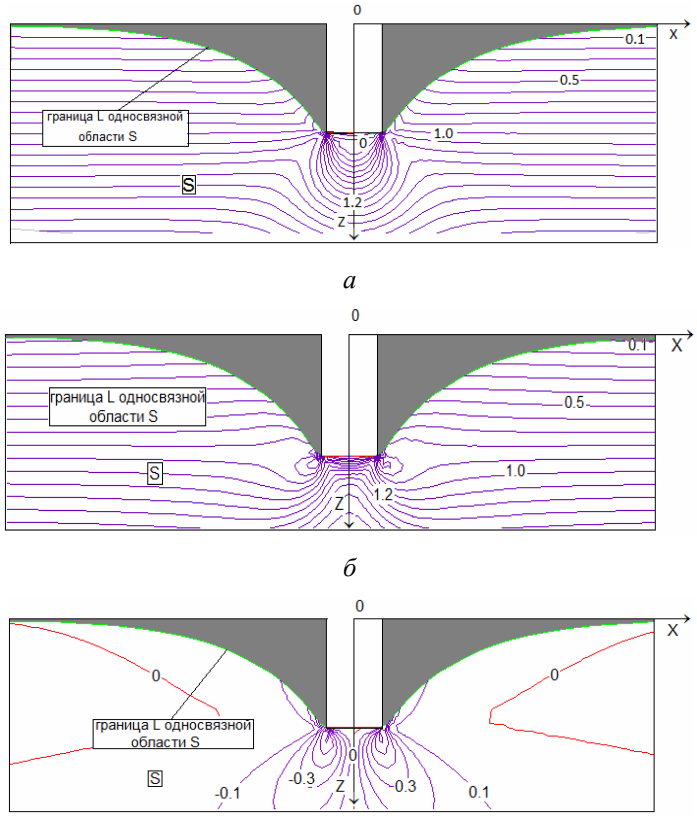


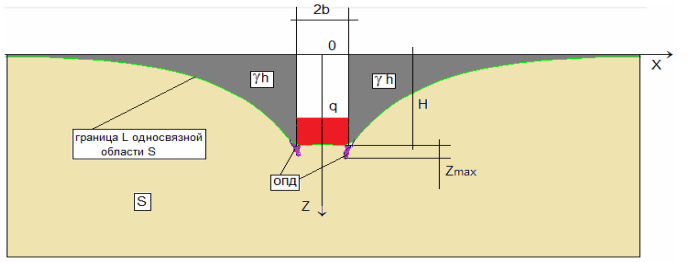
Рис. 3. Картины изолиний безразмерных (в долях γH) вертикальной σ_z (*а*), горизонтальной σ_x (*б*) и касательной τ_{xz} (*в*) компонент напряжения в однородной полуплоскости при имитации прямоугольного выреза при ξ_o=1,0

Из рис. 3 видно, что изолинии вертикальных σ_z и горизонтальных σ_x компонент напряжения слева и справа от криволинейной границы L односвязной области S практически горизонтальны, т. е. направлены так, как в однородном грунтовом массиве с горизонтальной границей.

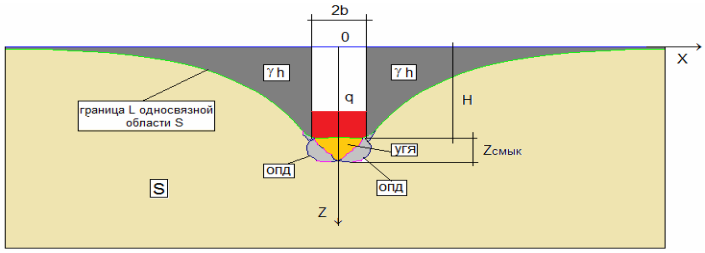
В результате проведения расчетов установлено:

1. При ξ_o=1,0 глубина развития ОПД достигает значения $Z_R = (2b)/4 = 0{,}381$ м при величине интенсивности внешнего воздействия $q_R = 1{,}86\gamma H = 1{,}06$ кг/см^2, что на 66 % больше соответствующего значения, вычисленного по формуле Н. П. Пузыревского (рис. 4, *а*).

2. Если $q_P = 2{,}041\gamma H = 1{,}16$ кг/см^2, то происходит смыкание областей пластических деформаций на глубине $Z_{max} = 0{,}246H = 0{,}738$ м и окончательное формирование уплотненного грунтового ядра (УГЯ) треугольной формы. При этом величина предельно допустимой нагрузки на 9,4 % больше величины предельного сопротивления (рис. 4, *б*).



а



б

Рис. 4. Области пластических деформаций в основании фундамента в момент достижения нагрузкой величины предельного сопротивления R (*а*) и предельного значения (*б*)

В работе [12] приведено решение задачи об определении напряженного состояния грунтового основания под фундаментом глубокого заложения. Принимая гипотезу о линейном деформировании грунта, авторы в качестве расчетной схемы приняли жесткий штамп, действующий на полубесконечный вырез в упругой полуплоскости. Трением по вертикальным и горизонтальной поверхностям штампа авторы пренебрегают. Задача решается методами теории функций комплексного переменного [2] с использованием методики Г. П. Черепанова [13] и формул Келдыша — Седова [14].

Функция, совершающая конформное отображение верхней полуплоскости $\mathrm{Im}\zeta > 0$ на внешность полуполосы $\mathrm{Im}z > 0$, $|\mathrm{Re}z| < a$ с соответствием точек $z(0) = 0$; $z(1) = -a$; $z(\infty) = \infty$ имеет вид

$$z = \frac{2ai}{\pi}\left[\zeta\sqrt{\zeta^2 - 1} - \ln\left(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}\right)\right] - a, \qquad (6)$$

где $\zeta = \xi + i\eta$; a — полуширина штампа.

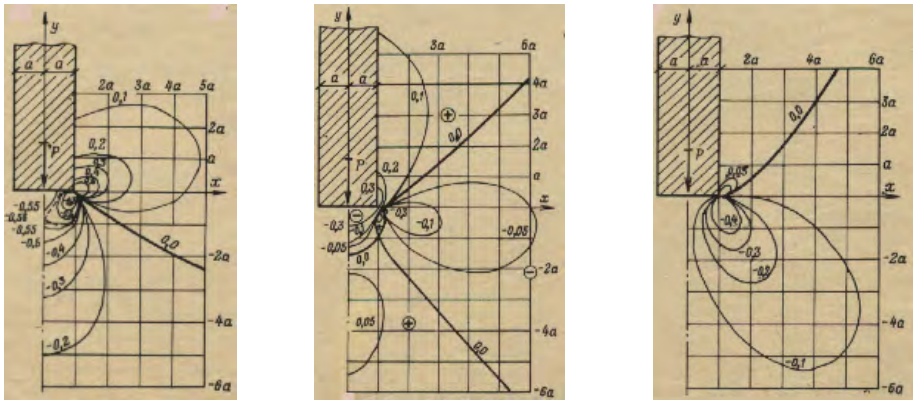
В результате авторы получили формулы, позволяющие определять как контактные напряжения, так и напряжения в любой точке плоскости от действия силы *P*, прикладываемой к штампу:

$$\left.\begin{aligned}
\sigma_x &= \frac{P}{4aD}\left\{\xi^2-\eta^2-1+\frac{2\eta^2}{D}\left[\left(\xi^2-\eta^2-1\right)^2-4\xi^2\left(\xi^2-1\right)\right]\right\},\\
\sigma_z &= \frac{P}{4aD}\left\{\xi^2-\eta^2-1-\frac{2\eta^2}{D}\left[\left(\xi^2-\eta^2-1\right)^2-4\xi^2\left(\xi^2-1\right)\right]\right\},\\
\tau_{xz} &= \frac{P\xi\eta}{4aD^2}\left[\left(\xi^2-\eta^2-1\right)^2-4\eta^2\left(\eta^2+1\right)\right],
\end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

где $D=\left(\xi^2+\eta^2-1\right)^2$.

Анализ формул (7) и граничных условий, принятых при решении краевой задачи в работе [12], позволяет говорить о том, что объемный вес грунта γ и его коэффициент бокового давления ξ_o не учитываются при вычислении напряжений.

В рассматриваемой работе приведены картины изолиний безразмерных (в долях $P/2a$) компонент полного напряжения σ_z, σ_x и τ_{xz} в невесомом основании фундамента глубокого заложения при условии, что отношение глубины заложения фундамента к его полуширине H/a = 20 (рис. 5). Здесь же показаны развивающиеся с ростом интенсивности внешней нагрузки области пластических деформаций для весомого песчаного основания при условии, что γ =14,72 кН/м^3, угол внутреннего трения принимает два значения φ = 30° и 40°, а величина коэффициента бокового давления грунта ξ_o = 1 (рис. 6). Данные о величине удельного сцепления *C* грунта не приводятся.

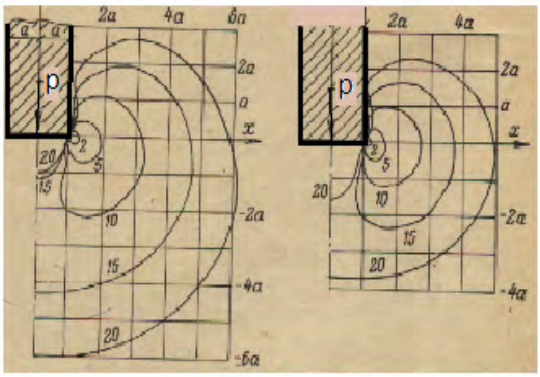


а *б* *в*

Рис. 5. Линии равных напряжений σ_y (*а*); σ_x (*б*) и τ_{xy} (*в*) в невесомой плоскости (цит. по [12])

Мы провели соответствующий расчет, используя упомянутые выше решения и компьютерные программы [7—10].

Если в формуле (3) положить $C_1 = 1{,}25$; $C_3 = -9$ и $C_5 = -16{,}2$, то получим отображение узкой щели (рис. 7) при условии, что отношение ее полуширины в нижней части к глубине равно $H/a = 20$, т. е. такое же, как в условии рассматриваемой задачи.



а *б*

Рис. 6. Области пластических деформаций в основании фундамента глубокого заложения по данным [12] при φ = 30° (*а*), φ = 40° (*б*) (цит. по [12])

На рис. 8 приведены картины изолиний безразмерных (в долях γh) компонент напряжения в невесомой полуплоскости при условиях, соответствующих рис. 5. Сопоставление картин изолиний компонент напряжений, приведенных на рис. 5 и 8, показывает, что:

1. Численные значения вертикальных σ_z напряжений (см. рис. 5, *а* и 8, *а*) в сжатой зоне, расположенной непосредственно под фундаментом, отличаются друг от друга не более чем на 50 % (эти напряжения в работе [12] обозначены через σ_y).

Линии $\sigma_z = 0$ наклонены на рис. 5, *а* к горизонтальной прямой, проведенной через подошву фундамента, под углом примерно 25°, а на рис. 8, *а* — под углом 38°. В то же время, изолиния $\sigma_z = 0{,}1$ (растягивающие напряжения в работе [12] считаются положительным) в первом случае опускается ниже подошвы фундамента на глубину, примерно равную его полуширине, а во втором — лишь на 0,15*a*. Кроме того, численные значения вертикальных растягивающих напряжений в соответствующих точках части основания, лежащей выше подошвы фундамента, вычисленные по формулам (7), оказались в 2…4 раза выше, чем те, что определены нами.

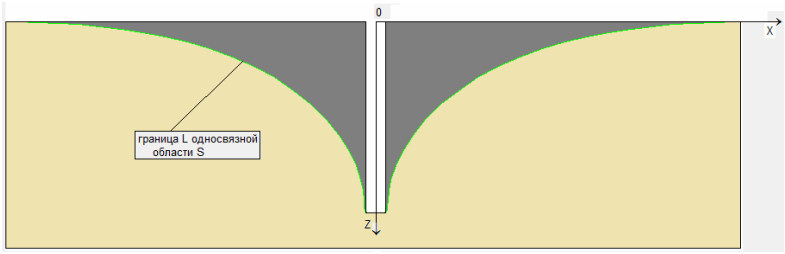
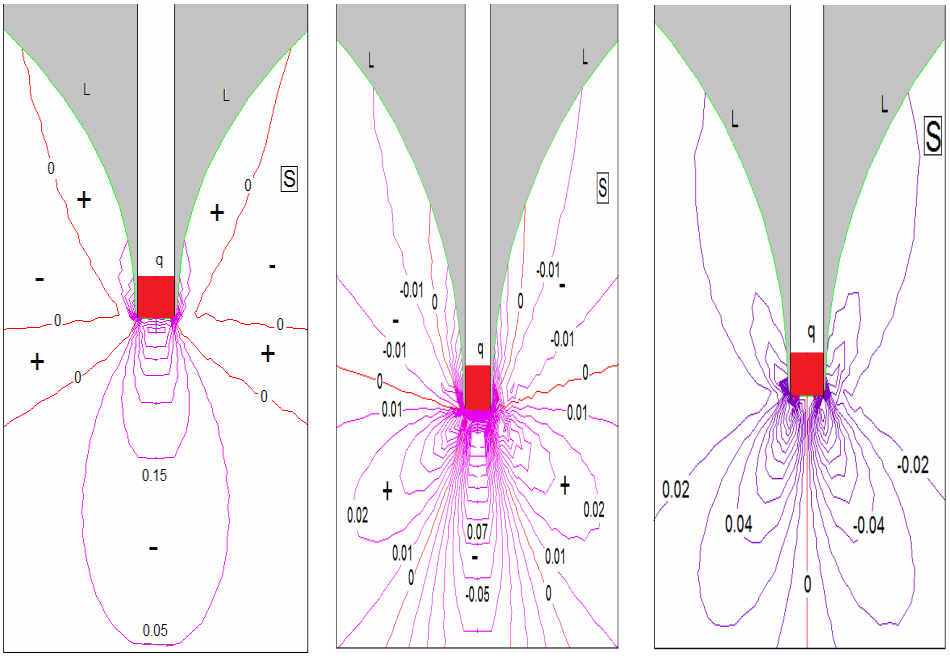


Рис. 7. Расчетная схема задачи для решения методом [5; 6; 15]



а *б* *в*

Рис. 8. Картины изолиний безразмерных (в долях γh) компонент напряжения в невесомой полуплоскости при условиях, соответствующих рис. 5: σz (*а*); σx (*б*) и τxz (*в*)

2. Линии напряжений $\sigma x = 0$ в грунтовом массиве, расположенном под подошвой фундамента, в обоих случаях проходят практически одинаково (см. рис. 5, *б* и 8, *б*). Выше подошвы фундамента эти линии в первом случае выгнуты вверх и наклонены к горизонту под углом примерно 20°. Во втором случае линии $\sigma x = 0$ вогнуты и составляют с горизонтом угол, приблизительно равный 40°. Поэтому зона сжимающих горизонтальных напряжений во втором (нашем) случае несколько шире. Численные значения горизонтальных напряжений σx в соответствующих точках «растянутой» зоны, расположенной выше подошвы фундамента, в первом случае приблизительно в 2…2,5 раза выше, чем во втором. Напротив, в «растянутой» зоне, расположенной под фундаментом, соответствующие горизонтальные напряжения σx, вычисленные на основании нашего решения [5; 6], оказались приблизительно на 50 % больше.

3. Анализ картин изолиний касательных τxz напряжений (рис. 5, *в* и 8, *в*) показывает, что в обоих случаях они практически совпадают.

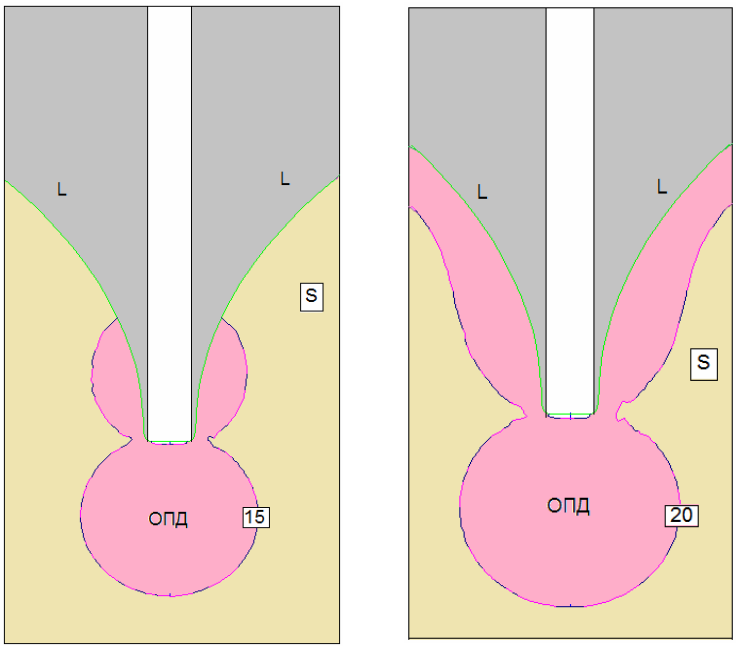
Перейдем теперь к рассмотрению областей пластических деформаций, приведенных в работе [12] и построенных нами для тех же условий (см. рис. 6 и 9) на основании процедуры, изложенной в работе [7], однако без допущения авторов цитируемой работы того, что «напряжения от собственного веса грунта считаются постоянными по глубине» (какой? — здесь и далее *примеч. наше*). Это, по словам авторов [12], «конечно, вносит некоторую (какую?) погрешность, но значительно облегчает вычисления». Кроме того, повторимся, области пластических деформаций (ОПД) определены в работе

[12] при условии, что величина коэффициента бокового давления грунта принята равной $\xi_o = 1$, что далеко не соответствует песчаным грунтам.

Определить величину ξ_o, когда грунт находится в предельном состоянии, можно при помощи графика, приведенного нами в работе [16], или при помощи формулы Г. И. Покровского [17], полученной для грунта, находящегося под действием вертикальной нагрузки:

$$\xi_o = 1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi - 1,52 \frac{C}{p_Z}, \quad (8)$$

где p_Z — интенсивность вертикального давления, передаваемого на сыпучее тело.



а *б*

Рис. 9. Области пластических деформаций в основании фундамента глубокого заложения, построенные на основании методики [5; 7], при φ = 30° (*а*), φ = 40° (*б*)

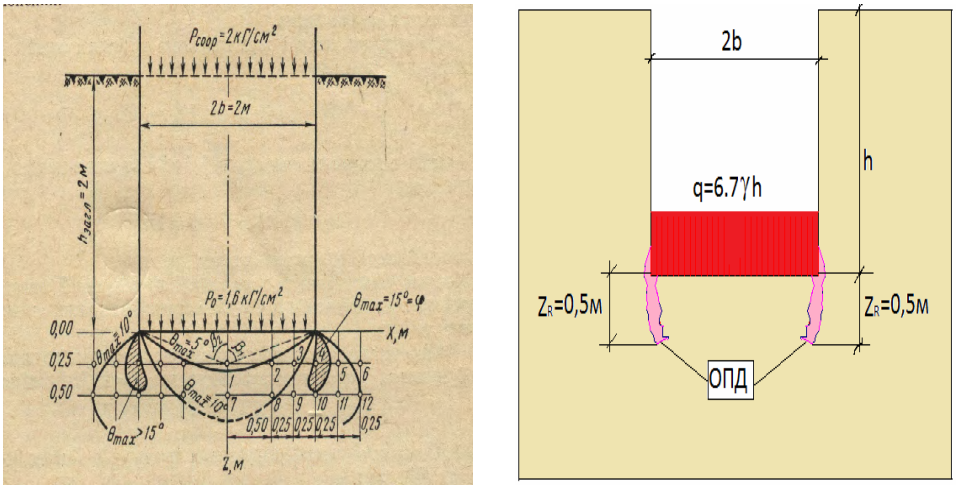
Сравнение областей пластических деформаций, которые приведены на рис. 6 и 9, показывает, что при одних и тех же величинах нагрузки их размеры и формы значительно отличаются и при φ = 30°, и при φ = 40°. В первом случае ОПД напоминают кардиоиду, а во втором имеют практически идеально круглую форму. В первом случае существенная часть области пластических деформаций поднимается выше подошвы фундамента. В нашем случае основная область пластических деформаций, размеры которой определяют несущую способность основания, всегда находится ниже подошвы фундамента. Следует отметить, что поперечные размеры ОПД, определенные нами, примерно на 60…70 % больше соответствующих размеров, приводимых в работе [12].

Такие различия в размерах ОПД обусловливаются, по нашему мнению, тем, что в работе [12] при вычислении напряжений от внешней нагрузки не учитывается величина коэффициента бокового давления грунта. Численные значения напряжений, вычисленные по формулам (2) безотносительно некоего конкретного значения ξ_o, просто суммируются с напряжениями от собственного веса грунта при условии гидростатического закона распределения нормальных горизонтальных напряжений σ_x. Это обстоятельство порождает значительную разницу численных значений соответствующих горизонтальных напряжений, вычисляемых нами и авторами работы [12]. Кроме того, большая по размерам область растягивающих горизонтальных напряжений, расположенная выше подошвы фундамента, получаемая авторами цитируемой работы, обусловливает значительное развитие областей пластических деформаций в этой части основания.

На основании изложенного выше можно утверждать, что допущения, сделанные в работе [12] при вычислении напряжений и построении областей пластических деформаций, вносят погрешность, которая может в значительной степени изменить в ту или иную сторону величину несущей способности основания фундамента глубокого заложения.

Рассмотрим последний пример. В нашей работе [18] проведено сравнение областей пластических деформаций, возникающих в однородном основании фундамента мелкого заложения, находящегося под действием вертикальной равномерно распределенной нагрузки.

На рис. 10, *а* показаны области пластических деформаций, приведенные в работе [19], на рис. 10, *б* — построенные нами для тех же условий, причем напряжения отыскивались при помощи метода конечных элементов, как это сделано в работе [20]. Расчетная схема состоит из 24 300 одинаковых треугольных элементов, сопряженных в 12 376 узлах. Ширина матрицы жесткости системы равна 246.



а *б*

Рис. 10. Области пластических деформаций, приведенные в работе [19] (*а*) и построенные нами для тех же условий [18] (*б*)

В работе [19] говорится, что «рассматривается ленточный фундамент шириной 2 м, глубина его заглубления $h_{загл} = 2$ м от поверхности земли, нагрузка от сооружения $p_{coop} = 2$ кГ/см^2», «в основании залегают суглинки с углом внутреннего трения $\varphi_W = 15°$ и общим сцеплением $C = 0{,}2$ кГ/см^2. Объемный вес суглинков $\gamma_W = 2$ т/м^3».

Кроме того, в работе [19] говорится, что первая критическая нагрузка на основание $P_o = 1{,}6$ кг/см$^2 = 4\gamma h_{загл}$, а величина расчетного сопротивления $q_R = P_{coop} = 2$ кг/м$^2 = 5\gamma h_{загл}$ (см. рис. 10, *а*).

Отыскав напряжения в активной зоне фундамента методом конечных элементов при $\xi_o = 0{,}75$, что соответствует глинистым грунтам, и применив условие (2), установили: развитие областей пластических деформаций на глубину, равную $Z_R = (2b/4) = 0{,}5$ м, происходит при $q_{МКЭ} = 6{,}7\gamma h_{загл} = 2{,}68$ кг/см^2 (см. рис. 10, *б*), т. е. при величине интенсивности внешней нагрузки на 25 % большей, чем та, что приведена в работе [19].

Если в формуле (3) первым шести коэффициентам присвоить численные значения: $C_{-1} = 1{,}0$; $C_{-3} = -6{,}1$; $C_{-5} = -12{,}5$; $C_{-7} = 25{,}0$; $C_{-9} = 82{,}0$ и $C_{-11} = 10{,}0$, то она совершит конформное отображение нижней полуплоскости $\mathrm{Im}Z < 0$ на полуплоскость с таким трапециевидным вырезом, что $2b/h_{загл} = 1{,}0$ (рис. 11). Величина интенсивности внешнего воздействия, соответствующего величине расчетного сопротивления основания при $\xi_o = 0{,}75$, равна $q_{ТФКП} = 6{,}415\gamma h_{загл} = 2{,}57$ кг/см^2, что практически совпадает с величиной $q_{МКЭ}$ (разница составляет всего 4 %) и на 22 % больше величины R, приведенной в [19].

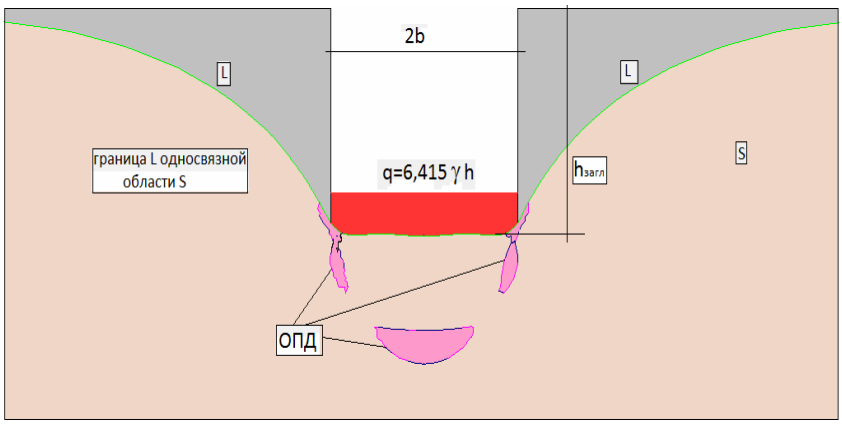


Рис. 11. Области пластических деформаций, построенные по напряжениям, вычисленным при помощи МТФКП

Если при вычислении величин напряжений в активной зоне фундамента методом конечных элементов или методами теории функций комплексного переменного численное значение коэффициента бокового давления грунта положить равным соответственно $\xi_{ОМКЭ} = 0{,}42$ и $\xi_{ОТФКП} = 0{,}46$, то развитие областей пластических деформаций на глубину $Z_R = (2b/4) = 0{,}5$ м в обоих случаях произойдет при значении $q_R = P_{coop} = 2$ кг/м$^2 = 5\gamma h_{загл}$, приведенном в работе [19].

Выводы:

1. Проведенные нами вычисления показывают, что использование решений [5; 6] и разработанных на их основе компьютерных программ [7—10] позволяет получить результаты, точно совпадающие с результатами, приведенными в [1; 12; 19], при вполне определенных значениях коэффициента бокового давления грунта ξ_o.

2. Для получения адекватных результатов при проведении расчетов оснований сооружений по первому предельному состоянию методами, основанными на использовании МТФКП, следует четко обосновывать расчетное значение величины ξ_o.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тер-Мартиросян З. Г., Шалимов Г. Е.* К определению несущей способности основания с учетом обратной засыпки в котловане // Известия вузов. Сер.: Стр-во и архит. 1976. № 6. С. 32—40.

2. *Мусхелишвили Н. И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости. М. : Наука, 1966. 606 с.

3. *Coulomb C.* Application des rigles de maximus et minimis a quelques problemes de statique relatifs a L`architecture // Memoires de savants etrangers de L`Academlie des sciences de Paris. 1973.

4. *Пузыревский Н. П.* Фундаменты. М. ; Л. : Госстройиздат, 1934. 516 с.

5. *Богомолов А. Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь : ПГТУ, 1996. 150 с.

6. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Шиян С. И.* Решение основных граничных задач для полуплоскости методами теории функций комплексного переменного. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. 133 с.

7. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние) : свид. о госрег. программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г. / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков, С. И. Шиян.

8. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Редин А. В.* Программа «Stress-Plast» для ПЭВМ : инф. листок о научно-техническом достижении № 313-96. Волгоград : ЦНТИ, 1996. 4 с.

9. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Редин А. В.* Программа «Несущая способность для ПЭВМ» : инф. листок о научно-техническом достижении № 312-96. Волгоград : ЦНТИ, 1996. 4 с.

10. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Редин А.В.* Программа «Устойчивость» для ПЭВМ» : инф. листок о научно-техническом достижении № 311-96. Волгоград : ЦНТИ, 1996. 4 с.

11. *Богомолов А. Н.* Определение напряженного состояния основания сваи-стойки // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. академии. Сер. : Стр-во и архит. 1999. Вып. 1. С. 29—34.

12. *Лыткин В. А., Фотиева Н. Н.* Напряженное состояние основания под фундаментом глубокого заложения // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1970. № 4. С. 8—11.

13. *Черепанов Г. П.* Решение одной линейной краевой задачи Римана для двух функций и ее приложение к некоторым смешанным задачам плоской теории упругости // Прикладная мат-ка и механика. 1962. Т. 26. Вып. 5. С. 907—912.

14. *Гахов Ф. Д.* Краевые задачи. М. : Физматгиз, 1958. 544 с.

15. *Богомолов А. Н., Вихарева О. А., Торшин Д. П.* О форме уплотненного грунтового ядра, образующегося в основании фундамента // Вестник Одесской гос. архит.-строит. академии. Вып. 4. Одесса, 2001. С. 232—237.

16. *Богомолов А. Н., Шиян С. И., Вихарева О. А.* К вопросу о минимальных значениях коэффициента бокового давления грунтов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Естественные науки. 2007. Вып. 6(23). С. 110—114.

17. *Покровский Г. И.* Исследования по физике грунта // Элементы физики дисперсных систем применительно к грунтам и почвам / Водгео, ОНТИ. М. ; Л., 1937. 135 с.

18. *Богомолов А. Н., Богомолов А. А.* Сопоставление результатов определения областей пластических деформаций в основании заглубленного фундамента // Городские агломерации на оползневых территориях : материалы III Международной науч. конф. Волгоград : ВолгГАСУ, 2005. Ч. 1. С. 45—53.

19. *Котов М. Ф.* Механика грунтов в примерах. М. : Высш. школа, 1968. 271 с.

20. Влияние тектонической трещины на устойчивость откоса / В. К. Цветков, А. Н. Богомолов, С. П. Кривоносов, Н. Н. Потапова, А. Ю. Рагозин, С. Л. Туманов // Известия вузов. Горный журнал. 1988. № 3. С. 43—47.

1. *Ter-Martirosyan Z. G., Shalimov G. E.* K opredeleniyu nesushchey sposobnosti osnovaniya s uchetom obratnoy zasypki v kotlovane // Izvestiya vuzov. Ser.: Str-vo i arkhit. 1976. № 6. S. 32—40.

2. *Muskhelishvili N. I.* Nekotorye osnovnye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti. M. : Nauka, 1966. 606 s.

3. *Coulomb C.* Application des rigles de maximus et minimis a quelques problemes de statique relatifs a L`architecture // Memoires de savants etrangers de L`Academlie des sciences de Paris. 1973.

4. *Puzyrevskiy N. P.* Fundamenty. M. ; L. : Gosstroyizdat, 1934. 516 s.

5. *Bogomolov A. N.* Raschet nesushchey sposobnosti osnovaniy sooruzheniy i ustoychivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoy postanovke. Perm' : PGTU, 1996. 150 c.

6. *Bogomolov A. N., Ushakov A. N., Shiyan S. I.* Reshenie osnovnykh granichnykh zadach dlya poluploskosti metodami teorii funktsiy kompleksnogo peremennogo. Volgograd : VolgGASU, 2009. 133 s.

7. Ustoychivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) : svid. o gosreg. programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g. / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, M. Yu. Nestratov, N. N. Potapova, M. M. Stepanov, A. N. Ushakov, S. I. Shiyan.

8. *Bogomolov A. N., Ushakov A. N., Redin A. V.* Programma «Stress-Plast» dlya PEVM : inf. listok o nauchno-tekhnicheskom dostizhenii № 313-96. Volgograd : TsNTI, 1996. 4 s.

9. *Bogomolov A. N., Ushakov A. N., Redin A. V.* Programma «Nesushchaya sposobnost' dlya PEVM» : inf. listok o nauchno-tekhnicheskom dostizhenii № 312-96. Volgograd : TsNTI, 1996. 4 s.

10. *Bogomolov A. N., Ushakov A. N., Redin A.V.* Programma «Ustoychivost'» dlya PEVM» : inf. listok o nauchno-tekhnicheskom dostizhenii № 311-96. Volgograd : TsNTI, 1996. 4 s.

11. *Bogomolov A. N.* Opredelenie napryazhennogo sostoyaniya osnovaniya svai-stoyki // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. akademii. Ser. : Str-vo i arkhit. 1999. Vyp. 1. S. 29—34.

12. *Lytkin V. A., Fotieva N. N.* Napryazhennoe sostoyanie osnovaniya pod fundamentom glubokogo zalozheniya // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1970. № 4. S. 8—11.

13. *Cherepanov G. P.* Reshenie odnoy lineynoy kraevoy zadachi Rimana dlya dvukh funktsiy i ee prilozhenie k nekotorym smeshannym zadacham ploskoy teorii uprugosti // Prikladnaya mat-ka i mekhanika. 1962. T. 26. Vyp. 5. S. 907—912.

14. *Gakhov F. D.* Kraevye zadachi. M. : Fizmatgiz, 1958. 544 c.

15. *Bogomolov A. N., Vikhareva O. A., Torshin D. P.* O forme uplotnennogo gruntovogo yadra, obrazuyushchegosya v osnovanii fundamenta // Vestnik Odesskoy gos. arkhit.-stroit. akademii. Vyp. 4. Odessa, 2001. S. 232—237.

16. *Bogomolov A. N., Shiyan S. I., Vikhareva O. A.* K voprosu o minimal'nykh znacheniyakh koeffitsienta bokovogo davleniya gruntov // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Estestvennye nauki. 2007. Vyp. 6(23). S. 110—114.

17. *Pokrovskiy G. I.* Issledovaniya po fizike grunta // Elementy fiziki dispersnykh sistem primenitel'no k gruntam i pochvam / Vodgeo, ONTI. M. ; L., 1937. 135 s.

18. *Bogomolov A. N., Bogomolov A. A.* Sopostavlenie rezul'tatov opredeleniya oblastey plasticheskikh deformatsiy v osnovanii zaglublennogo fundamenta // Gorodskie aglomeratsii na opolznevykh territoriyakh : materialy III Mezhdunarodnoy nauch. konf. Volgograd : VolgGASU, 2005. Ch. 1. S. 45—53.

19. *Kotov M. F.* Mekhanika gruntov v primerakh. M. : Vyssh. shkola, 1968. 271 s.

20. Vliyanie tektonicheskoy treshchiny na ustoychivost' otkosa / V. K. Tsvetkov, A. N. Bogomolov, S. P. Krivonosov, N. N. Potapova, A. Yu. Ragozin, S. L. Tumanov // Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal. 1988. № 3. S. 43—47.

© Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Богомолова О. А., Соловьев А. В., Прокопенко А. В., Калиновский С. А., 2013

Поступила в редакцию
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Определение глубины развития областей пластических деформаций в однородном основании заглубленного ленточного фундамента на основе анализа напряженного состояния грунтового массива при помощи методов теории функций комплексного переменного / А. Н. Богомолов, А. Н. Ушаков, О. А. Богомолова, А. В. Соловьев, А. В. Прокопенко, С. А. Калиновский // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 13—26.

УДК 624.131

А. Н. Богомолов, И. Л. Бартоломей, О. А. Богомолова, А. В. Прокопенко

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СВЯЗНОГО ОСНОВАНИЯ СОСТАВНОГО ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА

Представлены результаты теоретических исследований несущей способности связного основания составного плитного фундамента, полученные на основе анализа напряженного состояния грунтового массива. Установлено, что величина несущей способности основания является функцией физико-механических свойств грунта, включая коэффициент бокового давления, и геометрических параметров фундамента. Процесс развития областей пластических деформаций под «внешними и наружными» краями фундамента происходит неодинаково, его интенсивность зависит от расстояния между частями фундамента. Получены графические зависимости и соответствующие аналитические аппроксимации, позволяющие определять величину расчетного сопротивления основания как функцию ФМСГ и геометрических параметров фундамента. Установлено удовлетворительное соответствие полученных авторами результатов с результатами других авторов, которые вытекают из первых как частные случаи при соответствующих значениях коэффициента бокового давления грунта.

К л ю ч е в ы е с л о в а: составной плитный фундамент, напряженное состояние, физико-механические свойства грунта, коэффициент бокового давления, несущая способность, сопоставление результатов.

The results of theoretical researches of bearing capacity of cohesive basement of compound raft foundation, received on the basis of the analysis of soil mass stress state are presented in the article. It is established that the value of bearing capacity of the basement is the function of physical and mechanical properties of soil, including lateral pressure coefficient and geometrical parameters of the foundation. The development of the areas of plastic strain under "external and outer" edges of the foundation is the same, its intensity depends on the distance between the parts of the foundation. Graphic dependences and corresponding analytical approximations, allowing determine the value of design resistance of the foundation as FMSG function and geometrical parameters of the foundation are received. Satisfactory correspondence of the results received by authors to the results received by other authors which follow from the first ones as special cases at the corresponding values of lateral soil pressure coefficient is stated.

K e y w o r d s: compound raft foundation, stress state, physical and mechanical properties of soil, lateral pressure coefficient, bearing capacity, comparison of the results.

Как показано в работах [1, 2], использование составных (прерывистых) плитных фундаментов, при всех прочих равных условиях, существенно повысит величину несущей способности связного основания. Это позволяет, например, повысит величину полезной нагрузки на основание либо получить некоторый экономический эффект, обусловленный сокращением расхода строительных материалов.

В работе [2] приведены графические зависимости и формула, позволяющие определить глубину развития областей пластических деформаций в основании составного плитного фундамента, которая как показано, является функцией интенсивности внешнего воздействия, физико-механических свойств грунтов и геометрических параметров фундамента.

Для проведения вычислений, которые выполнены при помощи компьютерной программы [3], в которой для определения напряжений формализован метод конечных элементов (МКЭ), разработана механико-математическая модель и конечно-элементная расчетная схема. Фрагмент этой схемы, приведенный

на рис. 1, состоит из 37 500 треугольных конечных элементов, сопряженных в 19 026 узлах, при этом ширина матрицы жесткости системы равна 256.

Рассмотрено связное однородное основание. Принято, что объемный вес грунта постоянен и равен $\gamma = 2\ \text{т}/\text{м}^3$, угол внутреннего трения принимал значения в интервале $\varphi \in [10...30^{\circ}]$, а приведенное давление связности

$$\sigma_{\text{св}} = C(\gamma d \text{tg}\varphi)^{-1} \in [0{,}5...24],$$

где d — ширина неразрезанного фундамента, а ширина зазора между фундаментами принимала значения $\Delta d = [0;0{,}2;0{,}4;0{,}6]d$. Все расчеты выполнены для равномерно распределенной нагрузки, интенсивность которой принимала следующие значения: $q/\gamma d$ = [5,0;9,0;15,0;20,0;30], что соответствует q = [1,0;1,8;3,0;4,0;6,0] $(\text{кг}/\text{см}^2)$.

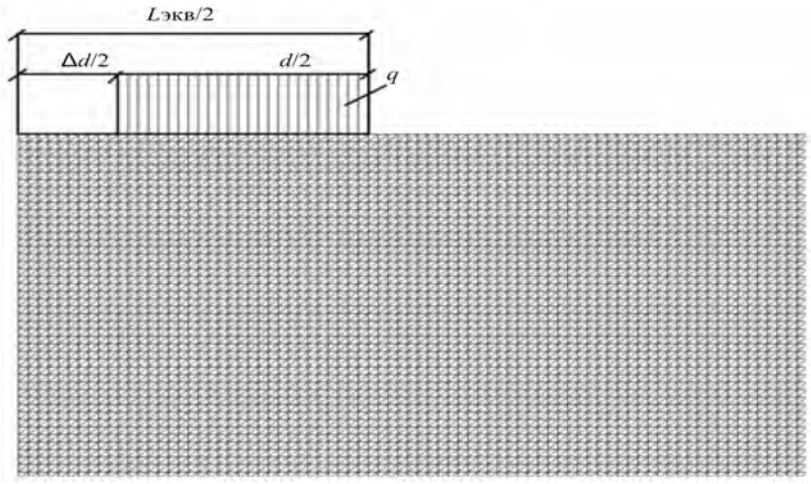


Рис. 1. Правая половина расчетной схемы

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

Используя компьютерную программу [3], проведены расчеты (всего 400 вариантов), по результатам которых построены графические зависимости вида $\Delta Z = f(q)$, часть которых в качестве примера приведена на рис. 2, *б*, *в*, *г*. Оказалось, что все полученные кривые, в том числе и приведенные на рис. 2, *б*, *в*, *г*, с погрешностью, составляющей 0,1…16 %, могут быть аппроксимированы функциональной зависимостью вида

$$\Delta Z^* = Ae^{B\sigma_{\text{св}}}, \qquad (1)$$

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

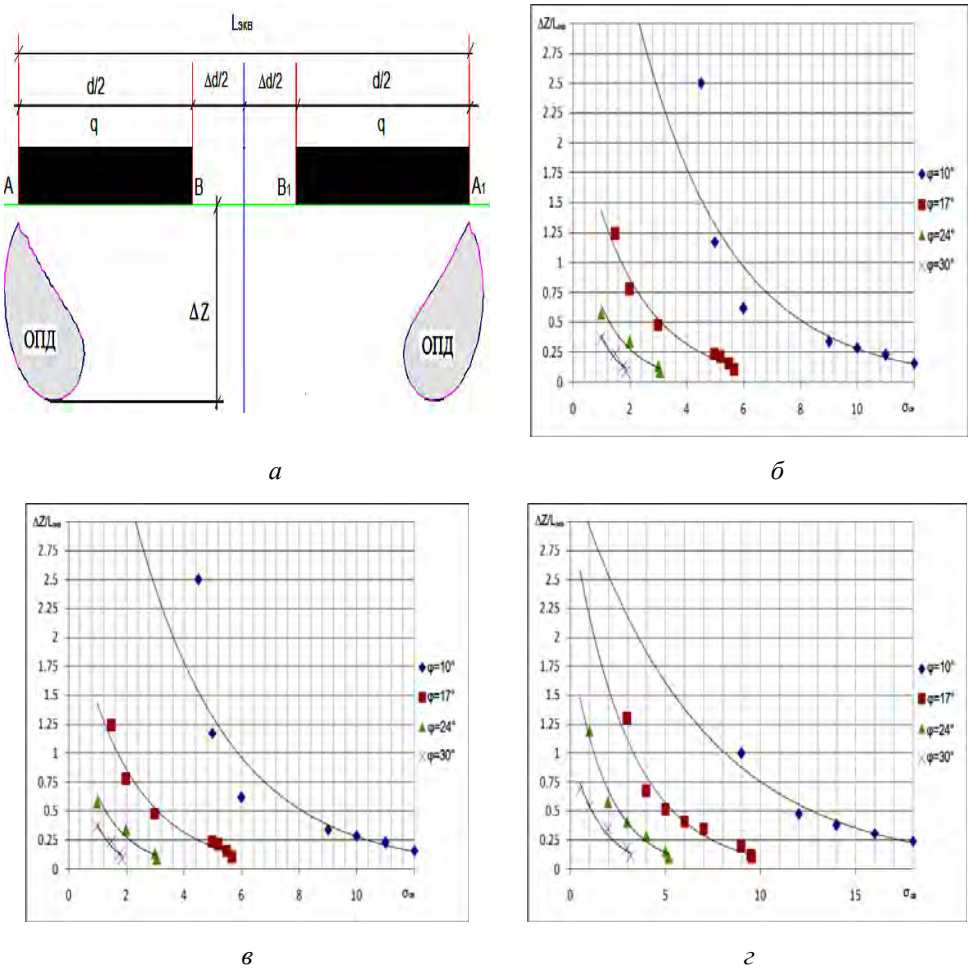


Рис. 2. Области пластических деформаций в основании составного плитного фундамента (*а*); графические зависимости вида $\Delta Z^* = \Delta Z / L_{\text{экв}} = f(q)$ при $q = 1$кг/см^2 и $\Delta d = 0{,}4d$ (*б*); при $q = 1{,}8$ кг/см^2 и $\Delta d = 0{,}6d$ (*в*); при $q = 3$кг/см^2 и $\Delta d =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

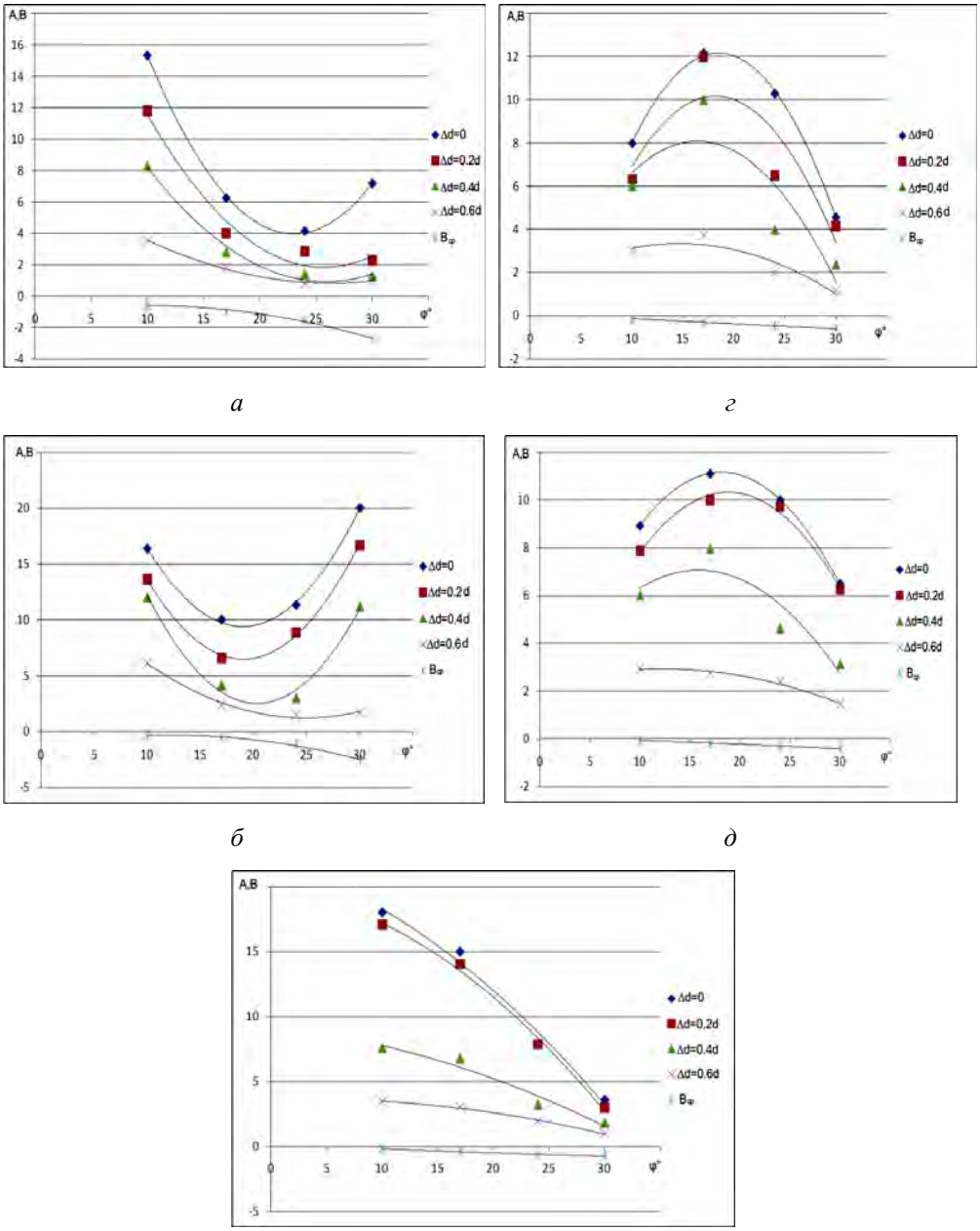
На рис. 3 по численным значением коэффициентов A и B построены графические зависимости вида $A; B = f(\varphi)$ для всех рассмотренных значений переменных расчетных параметров, что позволяет очень быстро использовать зависимость (1).

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

Для оценки адекватности результатов проведем их сопоставление с результатами, которые даны в работах В. Г. Федоровского [4], И. Я. Лучковского и А. В. Самородова [5].

Следует отметить, что автором работы [4] при определении величины предельно допустимой нагрузки на связное основание «периодического» фундамента рассматривается невесомая грунтовая среда, подчиняющаяся закону Кулона, и не наделенная каким-либо значением коэффициента бокового давления ξ_o.

В наших исследованиях мы рассматриваем весомую кулоновскую среду, которая имеет численное значение коэффициента бокового давления $\xi_o = 0{,}75$, что соответствует его средневзвешенному значению для глинистых грунтов [6].



а *г*

б *д*

в

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

В качестве примера рассмотрим два параллельных незаглубленных фундамента. Пусть d_1 = 0,5м, угол внутреннего трения φ = 30°, $\sigma_{св}$ = 4, боковая пригрузка отсутствует (q = 0).

Тогда вторая из формул (3), приведенных в работе [4], примет вид

$$a_{Pr} = d_1 e^{\pi/2\,\mathrm{tg}\varphi}\mathrm{tg}\left(\pi/4 + \varphi/2\right). \qquad (2)$$

Подставляя в это выражение соответствующие численные значения и приводя вычисления, получим, a_{Pr} = 2,145 м.

Воспользуемся приведенной в работе [4] формулой (7) общей аппроксимирующей функцией $\rho_0 = 3{,}75\mathrm{tg}\varphi$ и вычислим величину критического расстояния по (8), приведенной в этой публикации

$$a_{cr} = a_{Pr}\left(1 - \sqrt[3]{1 - \left(\frac{\rho_0}{1+\rho_0}\right)}\right)^2. \qquad (3)$$

Получим a_{Pr} = 0,4068 м.

Обратимся к расчетной схеме, при условии, что приведенное давление связности $\sigma_{св}$ = 4 и угол внутреннего трения φ = 30° (рис. 4). Выпор грунта из-под фундамента может произойти при значении $n = \Delta d / d_1 = 0{,}8,$ так как величина коэффициента устойчивости, вычисленная нами для данной расчетной схемы по наиболее вероятной поверхности выпора, равна K = 1,02. Для рассматриваемого случая в обозначениях работы [4] расчетное значение $n_p = a_{cr} / b = 0{,}4068 / 0{,}5$ = 0,8137.

Полученное значение n всего на 1,7 % отличается от вычисленного по формулам работы [4] значения.

Воспользуемся теперь первой формулой из формул (3) работы [4] для вычисления величины N_cC.

$$P_{Pr} = \left(\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}e^{\pi\mathrm{tg}\varphi} - 1\right)C\mathrm{ctg}\,\varphi \equiv N_cC. \qquad (4)$$

Проведя вычисления, получим значения величины N_cC = 6,962 МПа. Учитывая рекомендации работы [4] при q = 0 и $a > a_{Pr}$ имеем величину предельно допустимой нагрузки $P_u = N_cC$ = 6,962 МПа.

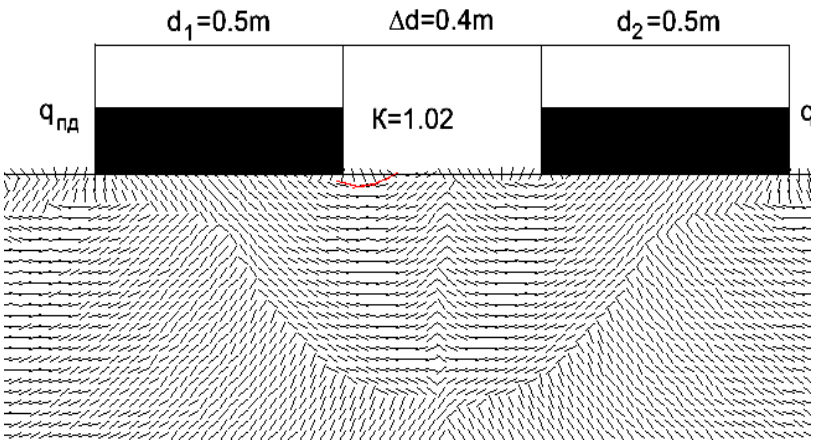
При расчете в программе численное значение предельно допустимой нагрузки принималось $q_{п.\,д}$ = 6,9 МПа. Сравнивая полученные значения предельно допустимых нагрузок, видим, что они отличаются всего лишь на 0,8 %.

В работе И. Я. Лучковского и А. В. Самородова [5] приведены графики, по которым можно определить величину расчетного сопротивления основания составного плитного фундамента R, сложенного идеально сыпучим грунтом (c = 0) удельного веса γ = 1,8 т/м^3 при условии, что величина коэффициента бокового давления грунта ξ_o = 1 (гидростатический закон распределения горизонтальных напряжений, т. е. $\sigma_z = \sigma_x$). Причем эти графики представляют собой кривые, определяющие зависимость вида $R/R_o = f(a/b)$ при различных

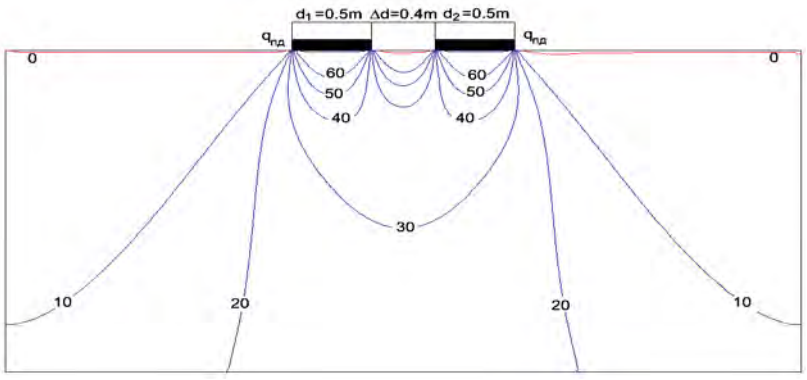
значениях угла внутреннего трения $\varphi \in [20\ldots45°]$, при этом $R_o = R_{a\to\infty}$, т. е. R_o — расчетное сопротивление основания отдельно стоящего фундамента шириной b при всех прочих равных условиях. Также отметим, что, по нашему мнению, сочетание значений $C = 0$ и $\xi_o = 1$ скорее всего невозможно в реальных условиях.

Расчетная схема для решения задачи приведена на рис. 5, а результат решения задачи в виде упомянутых уже графиков приведен на рис. 6.

Нами выполнены аналогичные расчеты при помощи компьютерной программы «Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние)» [3], которая использована и при проведении теоретических исследований, результаты которых приведены выше. Разница состоит в том, что мы учли тот факт, что с ростом нагрузки и изменением величины расстояния между частями фундамента a, области предельной деформации будут развиваться как под внешними, так и под внутренними краями фундаментов, а интенсивность развития этих ОПД будет разной. Кроме того, наши расчеты выполнены для весомого основания при двух значениях величины коэффициента бокового давления $\xi_o = 0{,}75$ и $\xi_o = 0{,}99$, но при тех же прочих условиях, что и в работе И. Я. Лучковского и А. В. Самородова [5].

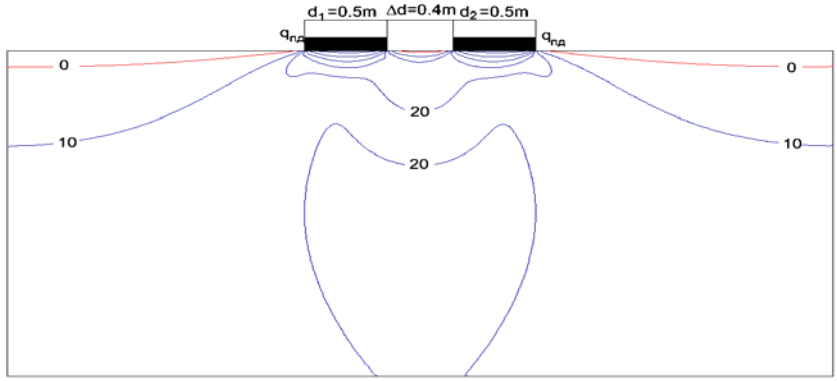


а

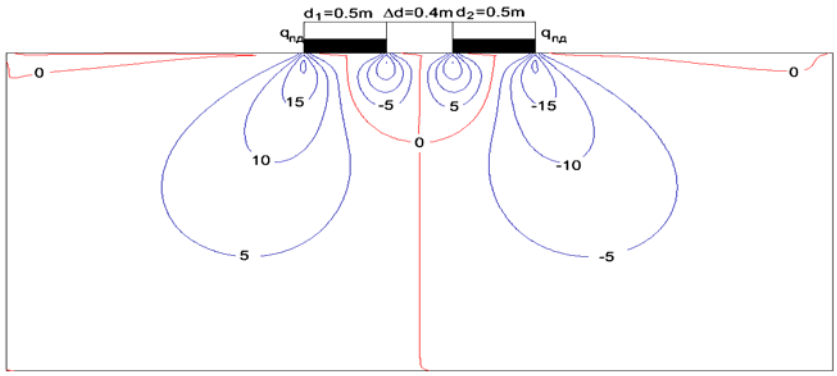


б

Рис. 4 (начало)



в



г

Рис. 4 (окончание). Расчетная схема, углы ориентации наиболее вероятных площадок сдвига (*а*), изолинии вертикальных σ_z (*б*), горизонтальных σ_x (*в*) и касательных τ_{xz} (*г*) напряжений

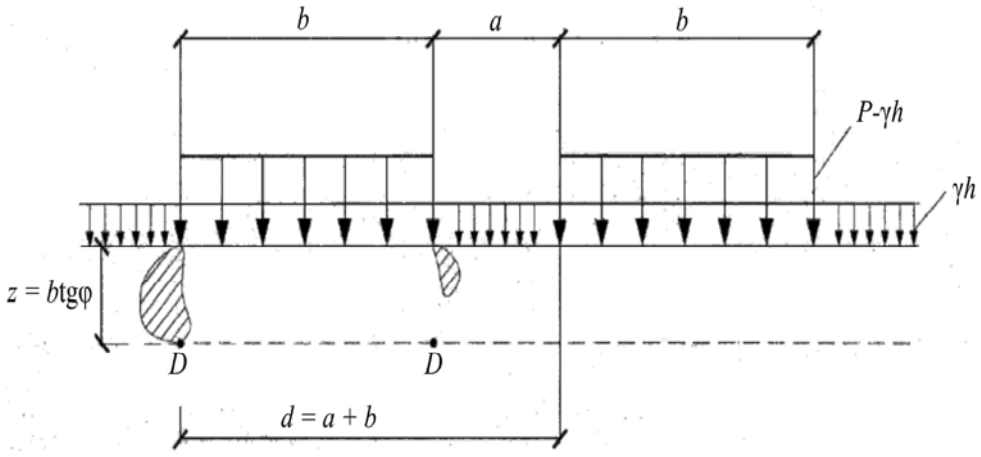


Рис. 5. Расчетная схема для решения задачи об определении расчетного сопротивления основания составного плитного фундамента [6]

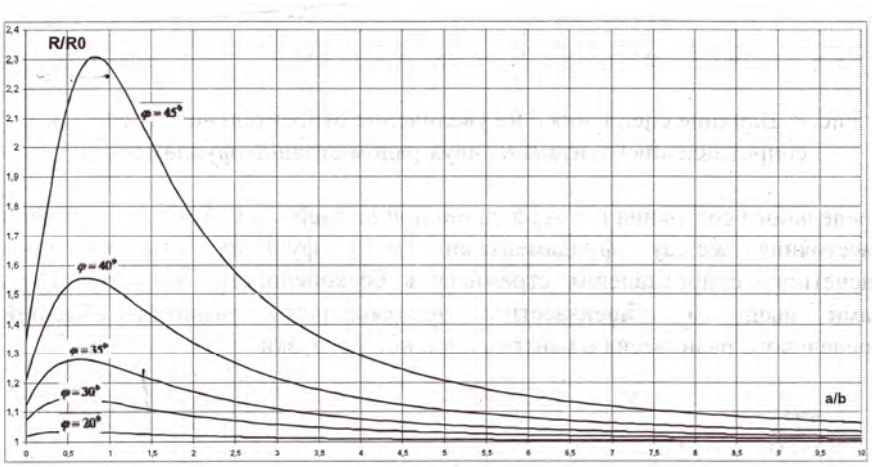
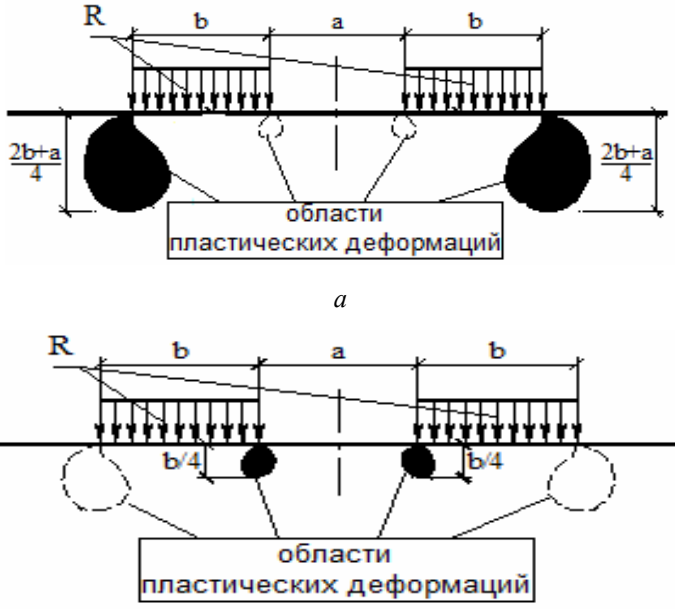


Рис. 6. Графические зависимости вида $R/R_o = f(a/b)$ при $\xi_o = 1$ [6]

В соответствии с определением величины расчетного сопротивления основания будем считать, что максимально допустимая глубина развития области пластических деформаций для внешних краев, состоящих из двух частей плитного фундамента, равна $Z_{max} = (2b + a)/4$, а для внутренних — $Z_{max} = b/4$ (рис. 7).



а

б

Рис. 7. Расчетная схема и максимально допустимая глубина развития областей пластических деформаций под внешними (*а*) и внутренними (*б*) краями составного плитного фундамента

На рис. 8 и 9 изображены графические зависимости вида $R/R_o = f(a/b)$, которые построены с учетом оговоренных выше условий.

Сравнивая численные значения величины отношения R/R_0, определяемые для одинаковых условий по графикам, приведенным на рис. 6 и 9, можно сказать, что максимальная разница этих значений не превышает 26 %. Это обстоятельство легко объяснимо тем, что в работе [5] рассматривается невесомое основание.

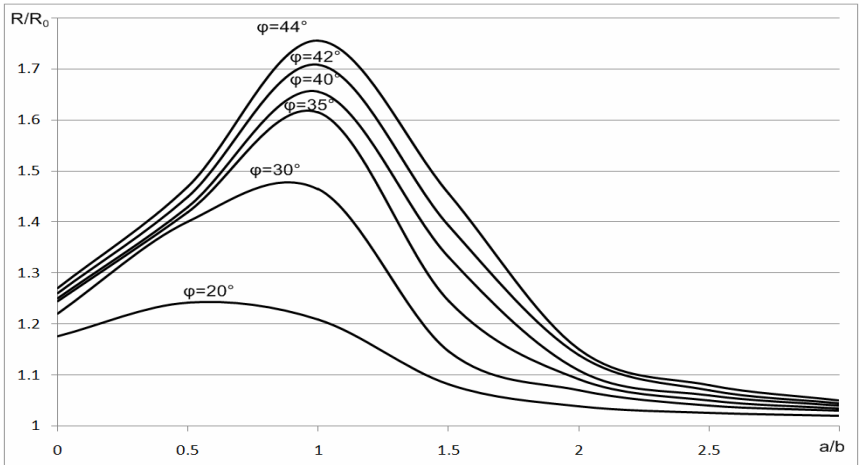


Рис. 8. Графические зависимости вида $R/R_o = f(a/b)$ при учете развития зон разрушения под «внутренними» краями фундамента, при $\xi_o = 0{,}75$

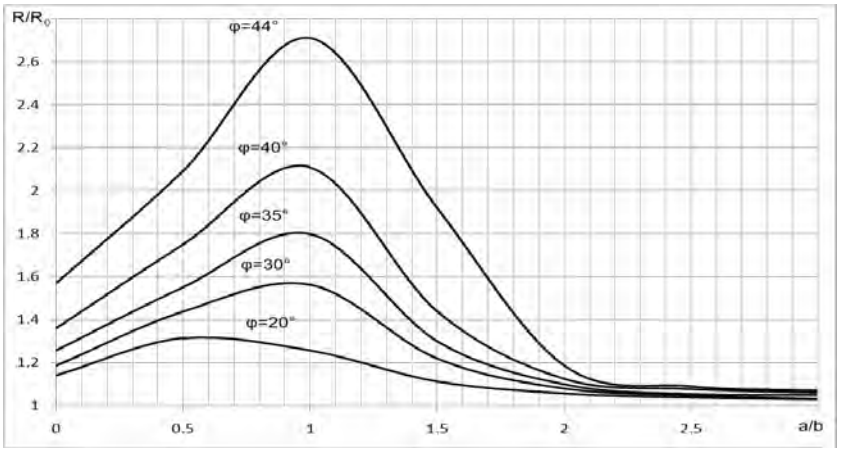


Рис. 9. Графические зависимости вида $R/R_o = f(a/b)$ при учете развития зон разрушения под «внутренними» краями фундамента, при $\xi_o = 0{,}99$

Кроме того, нами построены аналогичные графические зависимости для случая, когда определяющим является процесс развития области пластических деформаций под внешними краями фундамента. Они приведены на рис. 10 и 11.

Анализ кривых, которые приведены на рис. 10 и 11 и построены при соблюдении условия, что максимальная глубина развития областей пластических деформаций под «внешними» краями составного плитного фундамента

не может превышать значения $Z_{max} = (2b + a)/4$, показывает, что расчетное сопротивление основания такого фундамента также увеличивается при увеличении расстояния между частями фундаментами по сравнению с расчетным сопротивлением соответствующего одиночного фундамента.

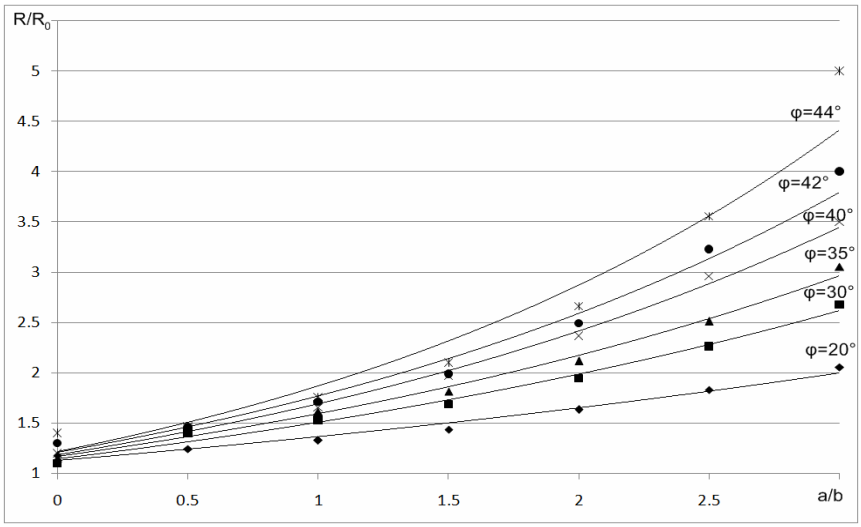


Рис. 10. Графические зависимости вида $R/R_o = f(a/b)$ при учете развития зон разрушения под «внешними» краями фундамента, при $\xi_o = 0{,}75$

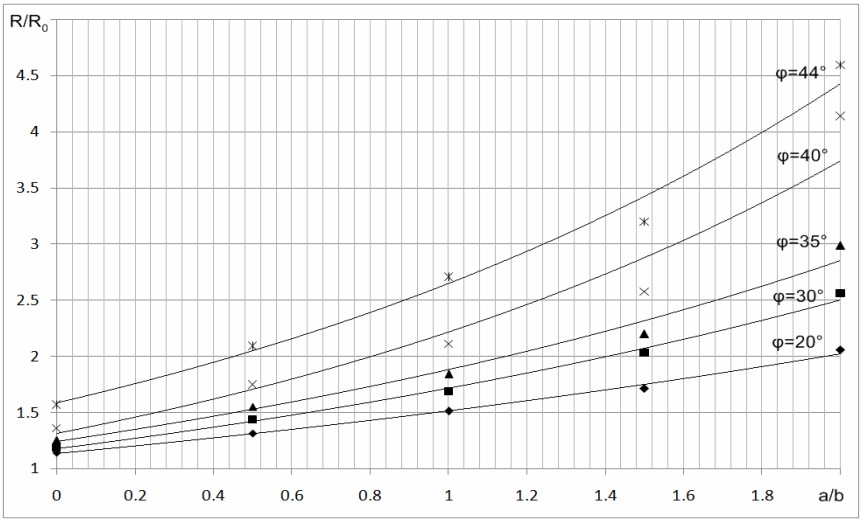


Рис. 11. Графические зависимости вида $R/R_o = f(a/b)$ при учете развития зон разрушения под «внешними» краями фундамента, при $\xi_o = 0{,}99$

Все эти кривые могут быть аппроксимированы экспоненциальной зависимостью с погрешностью, которая не превышает 10 %

$$R / R_0 = K_1 e^{K_2 \frac{a}{b}}. \quad (5)$$

Коэффициенты аппроксимирующего выражения приведены на рис. 12.

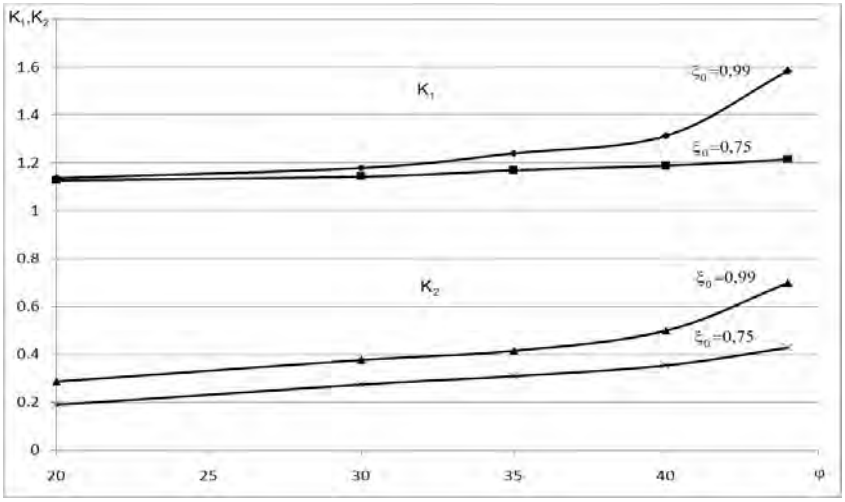


Рис. 12. Графические зависимости для определения численных значений коэффициентов аппроксимирующего выражения (5)

Анализируя все сказанное выше, можно сделать вывод о том, что полученные нами результаты с достаточной для инженерной практики степенью точности совпадают с результатами, полученными независимо от нас другими авторами, причем, последние вытекают из наших решений как частные случаи при определенных величинах коэффициента бокового давления грунта ξ_o.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обеспечение равномерной осадки основания составного плитного фундамента / И. Л. Бартоломей, О. А. Богомолова, А. Н. Богомолов, А. В. Соловьев // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении : материалы Всероссийской научно-технической конференции. Новочеркасск 7—8 июня 2012 г. — Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2012. — С. 128—133.

2. Области пластических деформаций в основании составного плитного фундамента / О. А. Богомолова, И. Л. Бартоломей, Б. С. Бабаханов, Р. С. Нестеров, А. В. Соловьев // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении : материалы Всероссийской научно-технической конференции. Новочеркасск 7—8 июня 2012 г. — Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2012. — С. 165—168.

3. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние) : свид. о госрег. программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г. / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков, С. И. Шиян.

4. *Федоровский В. Г.* Предельное давление на ряд ленточных штампов и эффект «непродавливания» // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2006. № 3. С. 9—13.

5. *Лучковский И. Я.*, *Самородов А. В.* Расчетное сопротивление грунта рядом стоящих ленточных фундаментов // Будівельні конструкції : Міжвідомчий науково-технічий збірник наукових праць (будівництво). В 2-х кн. : Книга 1. — Киев : НДІБК, 2008. — С. 384—393.

6. *Вялов С. С.* Реологические основы механики грунтов. М. : Стройиздат, 1978. 300 с.

1. Obespechenie ravnomernoy osadki osnovaniya sostavnogo plitnogo fundamenta / I. L. Bartolomey, O. A. Bogomolova, A. N. Bogomolov, A. V. Solov'ev // Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii : materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Novocherkassk 7—8 iyunya 2012 g. — Novocherkassk : YuRGTU (NPI), 2012. — S. 128—133.

2. Oblasti plasticheskikh deformatsiy v osnovanii sostavnogo plitnogo fundamenta / O. A. Bogomoova, I. L. Bartolomey, B. S. Babakhanov, R. S. Nesterov, A. V. Solov'ev // Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii : materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Novocherkassk 7—8 iyunya 2012 g. — Novocherkassk : YuRGTU (NPI), 2012. — S. 165—168.

3. Ustoychivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) : svid. o gosreg. programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g. / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, M. Yu. Nestratov, N. N. Potapova, M. M. Stepanov, A. N. Ushakov, S. I. Shiyan.

4. *Fedorovskiy V. G.* Predel'noe davlenie na ryad lentochnykh shtampov i effekt «neprodavlivaniya» // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. — 2006. № 3. S. 9—13.

5. *Luchkovskiy I. Ya., Samorodov A. V.* Raschetnoe soprotivlenie grunta ryadom stoyashchikh lentochnykh fundamentov // Budivel'ni konstruktsii : Mizhvidomchiy naukovo-tekhnichiy zbirnik naukovikh prats' (budivnitstvo). V 2-kh kn. : Kniga 1. — Kiev : NDIBK, 2008. — S. 384—393.

6. *Vyalov S. S.* Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov. M. : Stroyizdat, 1978. 300 s.

© Богомолов А. Н., Бартоломей И. Л., Богомолова О. А., Прокопенко А. В., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Несущая способность связного основания составного плитного фундамента / А. Н. Богомолов, И. Л. Бартоломей, О. А. Богомолова, А. В. Прокопенко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 27—38.

УДК 624.131

О. А. Богомолова, Б. С. Бабаханов, С. Ю. Калашников, С. А. Калиновский, А. В. Прокопенко, А. А. Иванов

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА НА СТЕПЕНЬ УСТОЙЧИВОСТИ ОДНОРОДНОГО ОТКОСА

Изложены результаты исследования влияния величины коэффициента бокового давления грунта на устойчивость однородных откосов. Приведены формула и графики, позволяющие вычислять величину коэффициента запаса устойчивости в зависимости от геометрии откоса, физико-механических свойств и коэффициента бокового давления грунта. Проведено сопоставление результатов вычисления коэффициентов запаса устойчивости, выполненных различными методами, с результатами, полученными на основе анализа напряженного состояния грунтового массива методом конечных элементов при различных численных значения коэффициента бокового давления грунта. Установлено, что любое из расчетных значений коэффициента запаса устойчивости для рассмотренных в работе реальных оползневых объектов соответствует некоторой определенной величине коэффициента бокового давления грунта ξ_o, из ее природного диапазона и может быть получено при расчете устойчивости этих откосов при помощи компьютерной программы «Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние)», разработанной в ВолгГАСУ.

К л ю ч е в ы е с л о в а : коэффициент бокового давления, напряженное состояние, коэффициент запаса устойчивости, метод конечных элементов, расчетная формула и графики, сопоставление результатов расчета.

The results of research of influence of lateral soil pressure coefficient on stability of smooth slopes are given in the article. The formula and diagrams allowing calculate the value of stability margin coefficient depending on the geometry of a slope, physical and mechanical properties and lateral soil pressure coefficient are presented. Comparison of the results of calculation of stability margin coefficients, executed by various methods, with the results received on the basis of the analysis of soil mass stress state by finite elements method at various numerical values of lateral soil pressure coefficient is carried out. It is established that any of calculated values of stability margin coefficient for the real landslide objects considered in the paper corresponds to some certain value of lateral soil pressure coefficient ξo, from its natural range and can be received at calculation of stability of these slopes by means of the computer program "Stability. Stress0strain state" developed in VSUACE.

K e y w o r d s: lateral pressure coefficient, stress state, stability margin coefficient, finite elements method, calculation formula and diagrams, comparison of the results of calculation.

В работе [1] показано, что величина коэффициента бокового давления грунта ξ_o в предельном состоянии является функцией его напряженного состояния и угла внутреннего трения φ, в зависимости от численного значения которого, может быть определена по графикам, приведенным на рис. 1.

В той же работе отмечается, что численные значения ξ_o, вычисленные на основе известной формулы В. А. Флорина [2]

$$\xi_o = \mathrm{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right), \qquad (1)$$

практически не отличаются от соответствующих значений, определяемых упомянутыми выше графическими зависимостями.

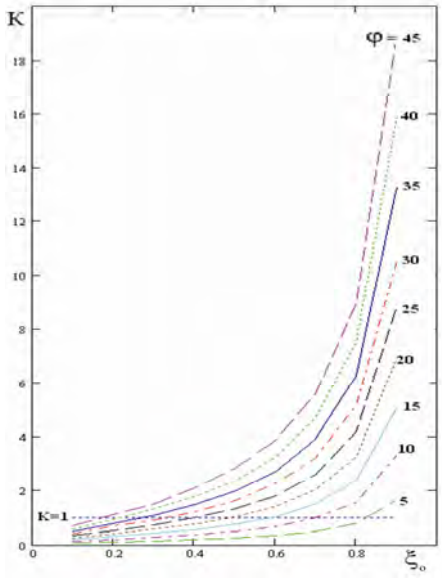


Рис. 1. Графические зависимости вида $K = f(\xi_o)$ для бесконечно толстого слоя грунта в предельном состоянии

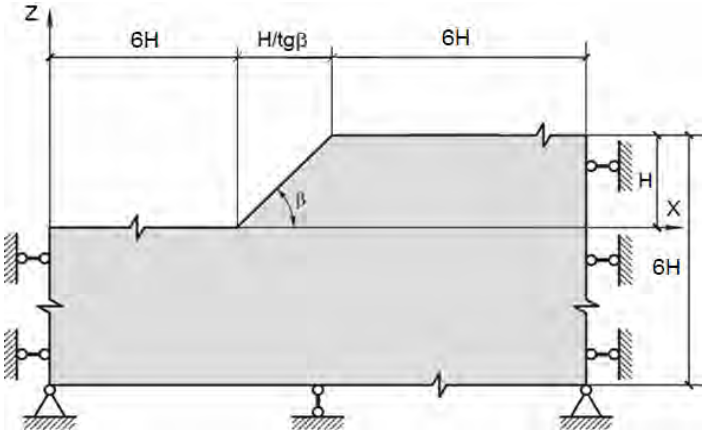
Следовательно, можно сделать вывод о том, что при расчете устойчивости грунтовых массивов и откосов, в частности, необходимо рассматривать весь диапазон изменения величины ξ_o, которая для связных грунтов при $\varphi \in [5...35°]$ может принимать значения, расположенные в интервале $0{,}27 \le \xi_o \le 0{,}82$ [1], что согласуется с данными других ученых, например, С. С. Вялова [3].

Для изучения влияния величины коэффициента бокового давления грунта на устойчивость однородных откосов использована разработанная в Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете компьютерная программа «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние» [4], в которой для вычисления напряжений в точках грунтового массива, построения наиболее вероятной линии скольжения и вычисления величины коэффициента запаса устойчивости откоса формализованы метод конечных элементов (МКЭ) и методика построение наиболее вероятной (опасной) линии скольжения, описанная в работах [5, 6].

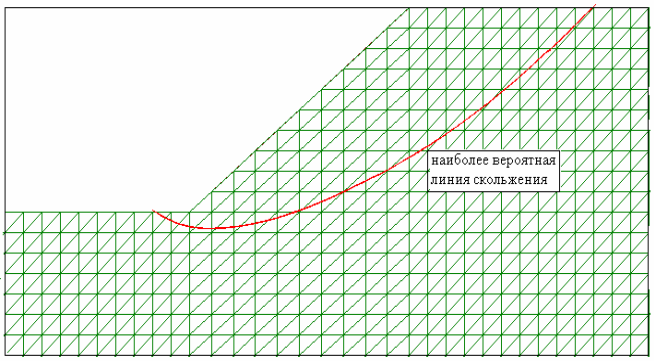
На рис. 2, *а* приведены геометрические размеры расчетной модели однородного откоса. Ее горизонтальный размер принят равным $L = H(12 + \mathrm{ctg}\beta)$, а вертикальный — $7H$, что обеспечивает практически полное отсутствие влияния граничных условий на результаты вычислений напряжений [7].

Расчетная схема МКЭ при $\beta = 45°$, фрагмент которой в качестве примера приведен на рис. 2, *б*, состоит из 16 900 треугольных элементов, сопряженных в 8646 узлах, при этом ширина матрицы жесткости системы равна 146. На нее наложены следующие граничные условия: в точках расчетной схемы, лежащих на ее вертикальных границах, горизонтальные перемещения равны нулю, а вертикальные не ограничены. А в ее точках, расположенных на нижней горизонтальной границе, отсутствуют вертикальные перемещения; край-

ние точки нижней границы неподвижны, на перемещения точек, расположенных внутри расчетной схемы, ограничения не наложены.



а

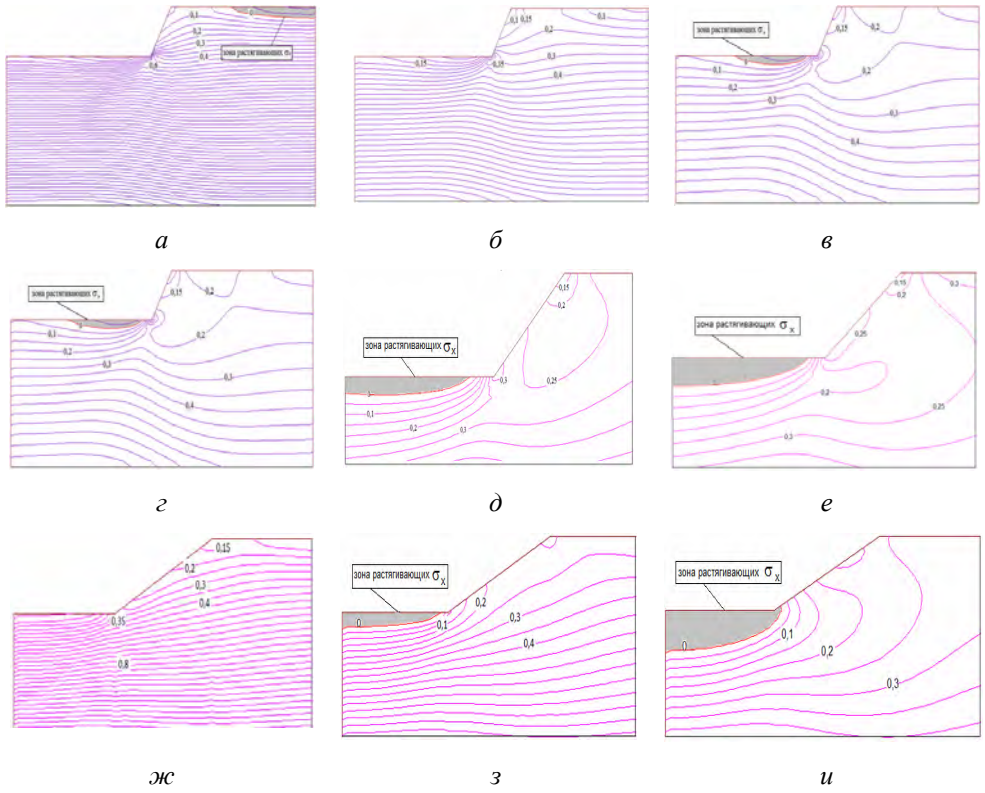


б

Рис. 2. Геометрические размеры расчетной модели (*а*) и фрагмент расчетной схемы при β = 45° (*б*)

Переменными расчетными параметрами при решении задачи о влиянии коэффициента бокового давления грунта на устойчивость однородного откоса являются: объемный вес γ, коэффициент бокового давления ξ_o, удельное сцепление *c* и угол внутреннего трения грунта φ, высота *H* и угол заложения откоса β. Их расчетные значения принимаем, согласуя их величины с данными, приводимыми в нормативной литературе, и с опубликованными результатами лабораторных исследований.

В результате анализа влияния величины ξ_o на напряженное состояние однородного откоса установлено, что она не оказывает влияния на распределение вертикальных σ_z и касательных τ_{zx} напряжений, однако существенным образом трансформирует поле горизонтальных σ_x напряжений, что наглядно иллюстрируется картинами напряжений, приведенными на рис. 3.



а *б* *в*

г *д* *е*

ж *з* *и*

Рис. 3. Изолинии безразмерных (в долях γH) горизонтальных напряжений σ_x в однородных откосах с углами $\beta = 60°$ (*а*, *б*, *в*); $\beta = 45°$ (*г*, *д*, *е*) и $\beta = 25°$ (*ж*, *з*, *и*) при $\xi_o = 0{,}75$; 0,4; 0,2

Также сильно изменяется и картина ориентации площадок наиболее вероятного сдвига в точках приоткосной области, а также положение и форма наиболее вероятной линии скольжения (НВЛС), что показано на рис. 4.

Анализ изображений, приведенных на рис. 3 и 4, показывает, что при всех рассмотренных значениях угла заложения откоса уменьшение величины коэффициента бокового давления ξ_o от 0,75 до 0,3, при всех прочих равных условиях, делает поле напряжений более неоднородным, а в подошве откосов возникают области растягивающих горизонтальных напряжений. При этом происходит изменение положения и формы наиболее вероятной линии скольжения: она приближается к контуру откоса, кривизна ее уменьшается и, например, при $\beta = 20°$ и $\xi_o = 0{,}3$ НВЛС практически вырождается в прямую линию.

Эти факторы изменяют численные значения удерживающих и сдвигающих сил, действующих по наиболее вероятным площадкам сдвига в точках приоткосной области, которые соответственно равны числителю и знаменателю (2), по которой вычисляют соответствующие значения коэффициента запаса устойчивости $K_т$ [5, 6]

$$K_т = \frac{\left[0{,}5(\sigma_z - \sigma_x)\cos 2\alpha + 0{,}5(\sigma_x + \sigma_z) + \tau_{xz}\sin 2\alpha + \sigma_{св}\right]\mathrm{tg}\varphi}{0{,}5(\sigma_x - \sigma_z)\sin 2\alpha + \tau_{xz}\cos 2\alpha}. \qquad (2)$$

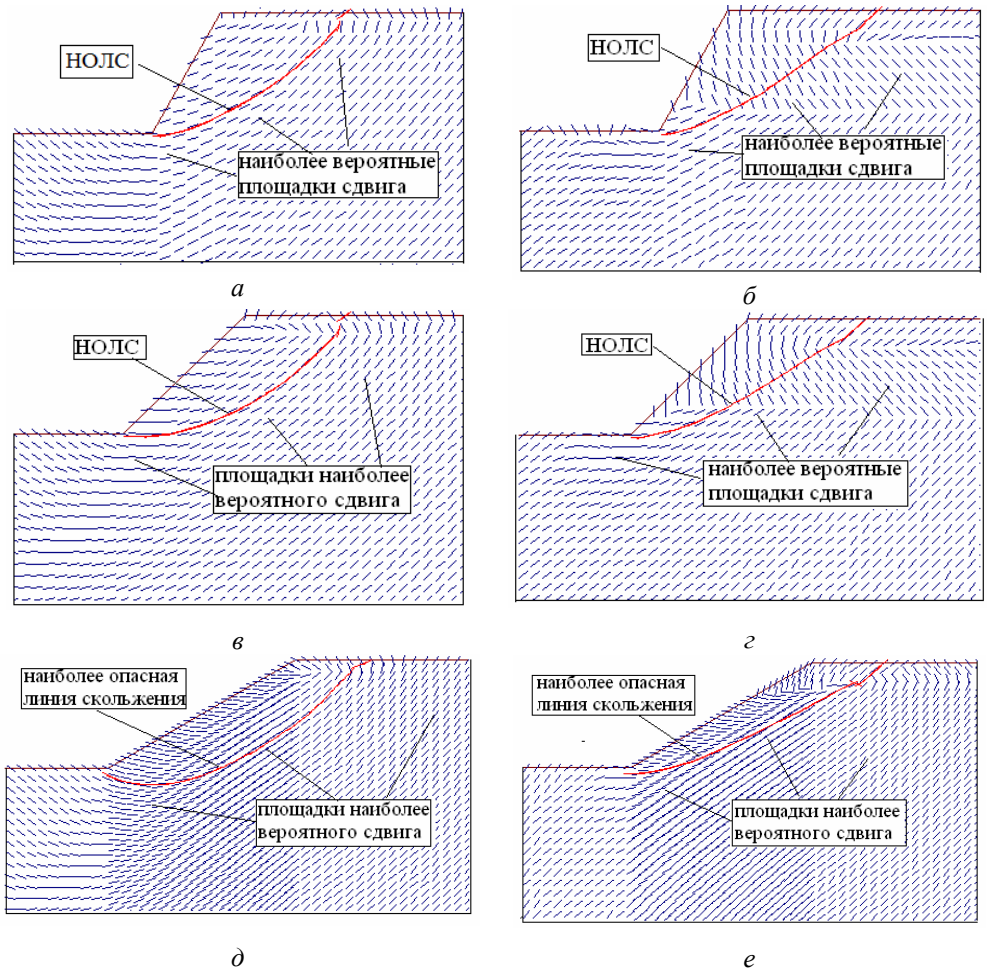


Рис. 4. Наиболее вероятные линии скольжения и площадки наиболее вероятного сдвига в точках однородных откосов с углами β = 60° (*а*, *б*); β = 45° (*в*, *г*) и β = 25° (*д*, *е*) при ξ_o = 0,75; 0,4

Из (2) следует, что при изменении ξ_o, будет изменяться и величина коэффициента запаса устойчивости откоса в целом — величина глобального коэффициента запаса устойчивости K, определяемая выражением

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

где σ_z; σ_x; τ_{xz} и α — соответственно безразмерные (деленные на γH) напряжения и угол наклона наиболее вероятной площадки сдвига в рассматриваемой точке грунтового массива; $\sigma_{св} = C(\gamma H \mathrm{tg}\varphi)^{-1}$ — приведенное давление связности (C; φ; γ и H — соответственно удельное сцепление, угол внутреннего трения, удельный вес грунта и высота откоса); $F_{уд}$ и $F_{сд}$ — удерживающие и сдвигающие силы в точках НВЛС, определяемые соответственно числителем и знаменателем (2); S — дуговая координата точки НВЛС.

Причем эти изменения величины *K* могут составлять 5…30 %.

В результате проведения вычислений построены графические зависимости вида $lqK=f(\xi_o)$ для однородных откосов с углом заложения β = 25; 45; 60° при φ∈[5...35°], а величина приведенного давления связности принимала значения $\sigma_{св}$ = 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0. Оказалось, что все эти кривые могут быть аппроксимированы прямыми линиями, а погрешность аппроксимации при этом не превышает 12 %.

На рис. 5 в качестве примера приведены результаты аппроксимации для откоса с углом β = 25° при φ = 25°.

Уравнения этих прямых линий имеют вид

$$lqK = a\xi_o + b, \tag{4}$$

где *a* и *b* — безразмерные коэффициенты.

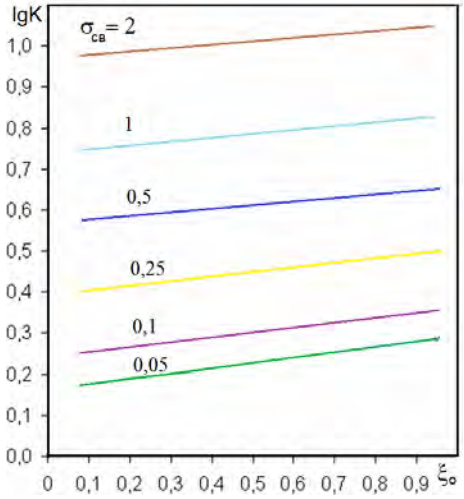


Рис. 5. Графические зависимости вида $lqK = f(\xi_o)$, при β = 25° и φ = 25°

На основе анализа результатов графических построений и аппроксимаций полученных кривых установлено, что коэффициент *a* не зависит от угла заложения откоса β и угла внутреннего трения грунта φ, а является лишь функцией $\sigma_{св}$. Коэффициент *b*, напротив, зависит от всех этих величин.

Численные значения коэффициентов *a* и *b* могут быть определены по графикам, приведенным на рис. 6.

Для проверки адекватности численных значений коэффициентов *a* и *b* проведено сопоставление величин коэффициентов запаса устойчивости откосов, полученных с использованием предлагаемых формул и графиков и при помощи компьютерной программы [4].

В частности, расчеты, выполненные для двух откосов: первый — с углом заложения β = 40° и физико-механическими свойствами φ = 27,5°; $\sigma_{св}$ = 1,25 и второй — β = 50°; φ = 22,5° и $\sigma_{св}$ = 0,15 показали, что числовые значения соответствующих коэффициентов запаса устойчивости при значениях коэффициента бокового давления грунта равных ξ_o = 0,4;0,6;0,75, отличаются друг от друга на 4,60…7,96 %.

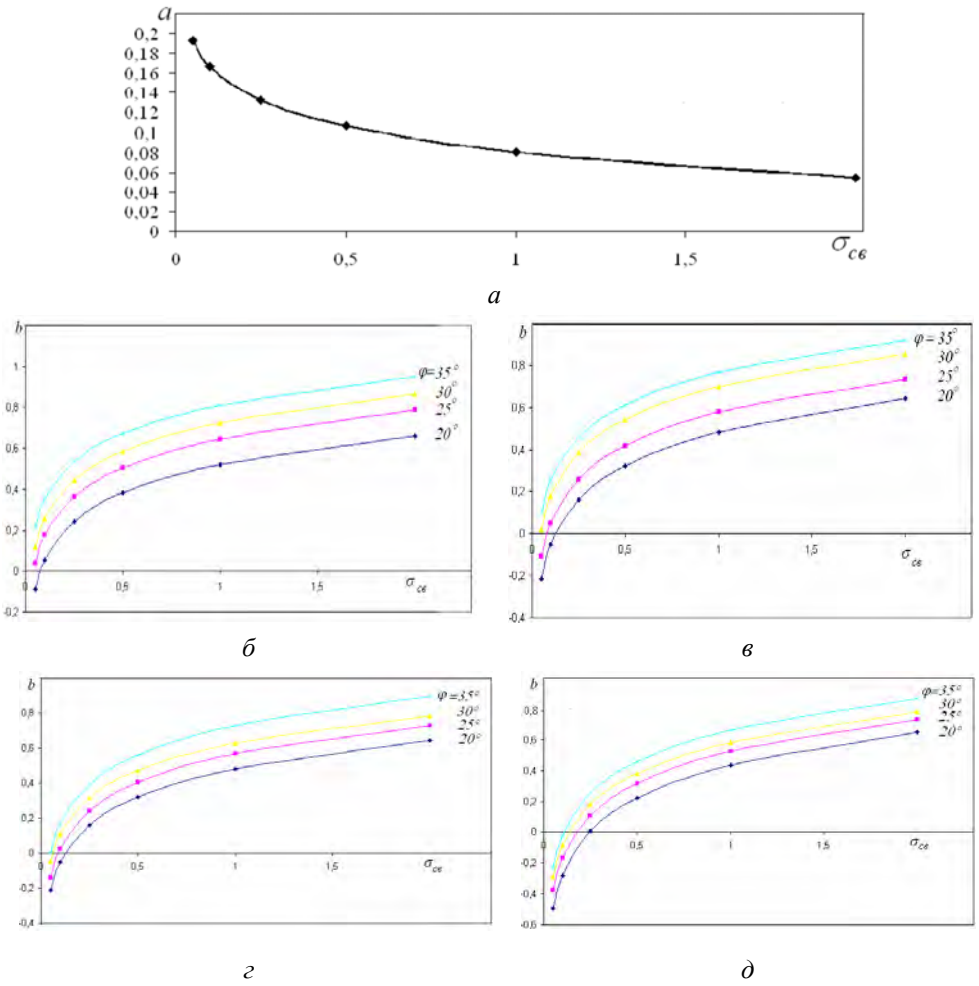


Рис. 6. Графики для определения коэффициентов a (*а*) и b при β = 25° (*б*); β = 35° (*в*); β = 45° (*г*) и β = 65° (*д*)

Проведем теперь сопоставление численных значений коэффициентов запаса устойчивости реальных оползневых склонов, полученных различными методами [8], с соответствующими значениями, найденными при использовании компьютерной программы [4]. При проведении вычислений величина коэффициента бокового давления для глинистых грунтов принята равной ξ_o = 0,75 [3]. Для удобства сопоставления результатов они сведены в табл.

Анализ результатов показывает, что наименьшую разницу имеют численные значения коэффициентов запаса устойчивости, полученные по предлагаемому методу и методу Р. Р. Чугаева. Она, за редким исключением, не превышает 8 %. Наибольшую разницу, по сравнению с этими значениями, дают величины коэффициентов запаса устойчивости, найденных по методу «$F_р$», которая составляет, порой, 400 %. Такое большое отличие может быть объяснено тем, что, по словам проф. Н. Н. Маслова, «расчеты по методу «$F_р$» оценивают не столько степень устойчивости склона или откоса, сколько их прочность в наиболее слабых зонах».

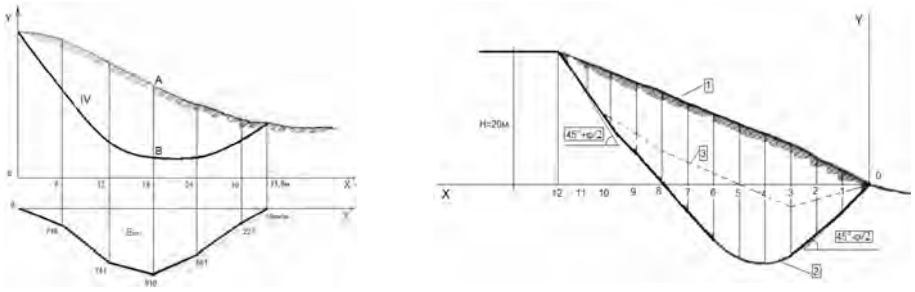
Сопоставление результатов расчетов различными методами

Рассматриваемый склон, литологическая характеристика, местонахождение	Метод Иванова	Метод Тейлора	Метод Федорова	Метод Терцаги	Метод Чугаева	Метод Крея	Метод Соколовского	Метод Маслова «F_p»	Используемый метод (ξ_o=0,75)
Склон в неокамских глинах г.Ульяновска	3,12	3,2	3,13	3,12	3,18	3,1	2,1	1,02	3,31
Склон в майкопских глинах г. Волгограда	4,22	4,47	4,5	4,2	4,35	4,2	4,5	1,76	5,74
Склон в делювиальных суглинках г. Волгограда, р. Клыманка	2,64	2,75	2,66	2,59	2,73	2,62	2,3	1,03	2,92
То же	3,0	3,09	2,91	2,89	3,05	2,88	3,0	1.0	3,0
Склон в оксфордки-мериджских глинах г. Ульяновска	2,29	2,41	2,40	2,37	2,44	2,43	1,23	0,7	2,54
Склон в аптских глинах г. Ульяновска овраг	4,30	4,45	4,35	4,40	4,58	4,43	3,53	1,36	4,85
Склон в альбских глинах г. Ульяновска	2,94	2,98	2,95	2,9	3,12	2,87	1,9	0,91	3,41
Склон в хвалынских глинах г. Волгограда, с. Горный Балыклей	4,48	4,45	4,57	4,40	4,70	4,36	2,50	1,0	4,71
То же	3,17	3,35	3,24	3,13	3,21	3,15	1,90	0,92	3,53
Склон в баремских глинах г. Саратова, Маханный овраг	2,7	2,79	2,79	2,67	2,85	2,79	2,85	0,99	2,84

Нами проведен расчет устойчивости всех объектов, представленных в табл., при помощи компьютерной программы [4]. Оказалось, что любое из численных значений коэффициентов запаса устойчивости для любого из оползневых склонов, приведенных в табл., может быть получено как резуль-

тат расчета по программе [4], при определенном численном значении коэффициента бокового давления грунта ξ_o. Причем, его величина при этом будет находиться в интервале $0{,}19 \le \xi_o \le 0{,}73$.

Рассмотрим теперь реальные откосы, величина коэффициента запаса устойчивости которых, вычислена одним из вариационных методов расчета [9, 10].



а *б*

Рис. 7. Контур грунтового массива, наиболее опасная линия скольжения IV и эпюра оползневого давления [9] (*а*); расчетная схема откоса [10] (*б*)

В работе [9] рассмотрен однородный откос высотой $H = 12{,}5$м, с углом заложения $\beta = 24°$, физико-механические свойства грунта имеют значения: $C = 20$ кН/м; $\varphi = 10°$; $\gamma = 18$ кН/м^3; динамический коэффициент $\mu = 0{,}05$ (рис. 7, *а*). Данные о величине коэффициента бокового давления ξ_o отсутствуют. Однако, судя по значениям ФМСГ, откос сложен глинистым грунтам, для которого коэффициент бокового давления имеет среднее значение $\xi_o = 0{,}75$ [3].

Авторами работы [9] установлено, что наиболее опасной является линия скольжения IV, которой соответствует величина коэффициента запаса устойчивости $K = 0{,}98$. Наши расчеты, выполненные для этого объекта при помощи программы [4], дают значение коэффициента запаса устойчивости $K_{0{,}75} = 1{,}36$. Если постепенно уменьшать расчетное значение ξ_o и проводить расчет устойчивости, то при $\xi_o = 0{,}013$ получим $K_{0{,}013} = 0{,}98$. Как видно, величина $K_{0{,}013}$ точно совпадает с величиной коэффициента запаса устойчивости, приведенной рассматриваемой работе. Следует отметить, что при вычислении величины коэффициента запаса устойчивости методом, используемым в работе [9], величина горизонтального напряжения σ_x в точках грунтового массива не учитывается, учитывается только «вес отсеков», на которые разбивается призма скольжения. То есть, априори считается, что $\sigma_x = 0$.

В работе [11] рассмотрен однородный откос высотой $H = 20$ м с углом заложения $\beta = 20^o$, физико-механические свойства грунта имеют следующие значения: $\gamma = 1{,}8$ т/м^3; $\varphi = 10°$; $C = 0{,}02$ МПа при $\gamma_w = 1$т/м^3; $h_i \approx 0{,}5h_{cwi}$; коэффициент динамичности $\mu = 0$. Величина коэффициента запаса устойчивости определена равной $K = 1{,}05$.

Для наиболее вероятной линии скольжения 2, приведенной в работе [10] (см. рис. 7, б), при помощи компьютерной программы [4] определена величина коэффициента запаса устойчивости при $\xi_o = 0{,}75$, которая с учетом гидравлического напора оказалась равной $K = 1{,}261$. Если постепенно уменьшать расчетное значение коэффициента бокового давления грунта, то

при достижении значения $\xi_o = 0{,}27$ вычисленная величина коэффициента запаса устойчивости окажется равной $K = 0{,}997$, т. е. совпадает с его величиной, приведенной в [11].

Выводы:

1. Величина коэффициента запаса устойчивости ненагруженного однородного откоса K при всех прочих равных условиях существенным образом зависит от величины коэффициента бокового давления грунта, причем, разница значений K может составлять 10 % и более, в зависимости от физико-механических свойств грунта.

2. Предложены формула и графики, которые позволяют с достаточной для инженерной практики степенью точности определять численные значения коэффициентов запаса устойчивости однородных ненагруженных откосов для любого существующего в природе значения ξ_o. При этом численные значения K, найденные при их помощи, отличаются на 4,60…7,96 % от соответствующих значений, подсчитанных при помощи компьютерной программы [4].

3. Сопоставление численных значений коэффициентов запаса устойчивости реальных оползневых объектов, полученных различными расчетными методами, с результатами расчетов, выполненных при помощи компьютерной программы [4], говорит о том, что любое из этих значений соответствует некоторой определенной величине коэффициента бокового давления грунта ξ_o из ее природного диапазона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Богомолов А. Н., Шиян С. И., Вихарева О. А.* К вопросу о минимальных значениях коэффициента бокового давления грунтов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Естественные науки. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2007. Вып. 6 (23). С. 110—114.

2. *Флорин В. А.* Основы механики грунтов. — М. ; Л. : Госстройиздат, 1959. Т. I. — 357 с.

3. *Вялов С. С.* Реологические основы механики грунтов. — М. : Стройиздат, 1978. — 300 с.

4. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние) : свид. о госрег. программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г. / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков, С. И. Шиян

5. *Цветков В. К.* Расчет рациональных параметров горных выработок. — М. : Недра, 1993. — 251 с.

6. *Богомолов А. Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. — Пермь : ПГТУ, 1996. — 150 с.

7. *Tsvetkov V. K., Bogomolov A. N.* Open pit mining: stability of multilevel terrace of inhomogeneous rock Journal of Mining Science. 1996. Т. 32. № 3. P. 192—196.

8. *Маслов Н. Н.* Механика грунтов в практике строительства (Оползни и борьба с ними). — М. : Стройиздат, 1977. — 320 с.

9. *Гинзбург Л. К., Раздольский А. Г.* Определение максимального оползневого давления // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1992. № 5. С. 11—14.

10. *Гинзбург Л. К.* Противооползневые удерживающие конструкции. — М. : Стройиздат, 1979. — 80 с.

11. Сопоставление результатов расчета устойчивости откосов, выполненных различными методами для реальных объектов / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, Б. С. Бабаханов, С. А. Калиновский, А. Н. Ушаков, А. В. Прокопенко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2012. Вып. 29 (48). С. 43—54.

1. *Bogomolov A. N., Shiyan S. I., Vikhareva O. A.* K voprosu o minimal'nykh znacheniyakh koeffitsienta bokovogo davleniya gruntov // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Estestvennye nauki. — Volgograd : Izd-vo VolgGASU, 2007. Vyp. 6 (23). S. 110—114.

2. *Florin V. A.* Osnovy mekhaniki gruntov. — M. ; L. : Gosstroyizdat, 1959. T. I. — 357 s.

3. *Vyalov S. S.* Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov. — M. : Stroyizdat, 1978. — 300 s.

4. Ustoychivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) : svid. o gosreg. programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g. / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, M. Yu. Nestratov, N. N. Potapova, M. M. Stepanov, A. N. Ushakov, S. I. Shiyan.

5. *Tsvetkov V. K.* Raschet ratsional'nykh parametrov gornykh vyrabotok. — M. : Nedra, 1993. — 251 s.

6. *Bogomolov A. N.* Raschet nesushchey sposobnosti osnovaniy sooruzheniy i ustoychivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoy postanovke. — Perm' : PGTU, 1996. – 150 s.

7. *Tsvetkov V. K.*, *Bogomolov A. N.* Open pit mining: stability of multilevel terrace of inhomogeneous rock Journal of Mining Science. 1996. T. 32. № 3. P. 192—196.

8. *Maslov N. N.* Mekhanika gruntov v praktike stroitel'stva (Opolzni i bor'ba s nimi). — M. : Stroyizdat, 1977. — 320 s.

9. *Ginzburg L. K.*, *Razdol'skiy A. G.* Opredelenie maksimal'nogo opolznevogo davleniya // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1992. № 5. S. 11—14.

10. *Ginzburg L. K.* Protivoopolznevye uderzhivayushchie konstruktsii. — M. : Stroyizdat, 1979. — 80 s.

11. Sopostavlenie rezul'tatov rascheta ustoychivosti otkosov, vypolnennykh razlichnymi metodami dlya real'nykh ob"ektov / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, B. S. Babakhanov, S. A. Kalinovskiy, A. N. Ushakov, A. V. Prokopenko // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkhit. — Volgograd : Izd-vo VolgGASU, 2012. Vyp. 29 (48). S. 43—54.

© Богомолова О. А., Бабаханов Б. С., Калашников С. Ю., Калиновский С. А., Прокопенко А. В., Иванов А. А., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Влияние коэффициента бокового давления грунта на степень устойчивости однородного откоса / О. А. Богомолова, Б. С. Бабаханов, С. Ю. Калашников, С. А. Калиновский, А. В. Прокопенко, А. А. Иванов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 39—49.

УДК 624.131

О. А. Богомолова, А. Н. Богомолов, И. Л. Бартоломей, Я. В. Качурин, И. В. Якименко

К ВОПРОСУ О ВЗАИМНОМ ВЛИЯНИИ БЛИЗКО РАСПОЛОЖЕННЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ НЕЗАГЛУБЛЕННЫХ ЛЕНТОЧНЫХ (ПЛИТНЫХ) ФУНДАМЕНТОВ НА СВЯЗНОМ ОСНОВАНИИ

Приведены качественные и количественные результаты решения некоторых задач о взаимном влиянии системы незаглубленных параллельных ленточных (плитных) фундаментов на связном основании.

К л ю ч е в ы е с л о в а: взаимное влияние системы ленточных (плитных) фундаментов на связном основании, эквивалентная ширина фундамента, условие непродавливания, расчетное сопротивление, предельно допустимая нагрузка, экспериментальные исследования осадок системы параллельных фундаментов на моделях.

Qualitative and quantitative results of the solution of some tasks concerning mutual influence of the system of unburied parallel strip (raft) foundations on cohesive basement are presented in the article.

K e y w o r d s: mutual influence of the system of strip (raft) foundation on cohesive basement, equivalent width of the foundation, non-pushing condition, design resistance, maximum permissible loading, pilot studies of deposit of the system of parallel foundations on models.

Введение. Интерес к составным фундаментам со стороны представителей строительной науки начал проявляться достаточно давно. Так, в работах Е. А. Сорочана [1; 2] показано, что площадь прерывистого фундамента, эквивалентного по величине осадки ленточному фундаменту, меньше площади последнего, а давление по подошве больше. Увеличение давления по подошве прерывистого фундамента может привести к появлению пластических зон в контактном слое и к нелинейным деформациям, кроме того, оно отражается на работе плиты.

В результате проведенных Е. А. Сорочаном экспериментов установлена линейная зависимость приведенной осадки от расстояния между плитами прерывистых фундаментов. Испытания фундаментов с различными типами плит позволили выявить их рациональную форму. Оказалось, что наименьшая приведенная осадка будет у прерывистого фундамента, собранного из плит вытянутой формы.

М. И. Фидаровым [3] сделана попытка разработать теорию, которая объясняет работу системы близрасположенных (прерывистых) фундаментов на основе арочного эффекта. Основные его предложения заключаются в следующем: под действием предельной нагрузки под каждым фундаментом, из входящих в систему прерывистых фундаментов, в нескальных грунтах образуются уплотненные грунтовые ядра, а в промежутках между ними возникают несущие грунтовые своды (проявляется арочный эффект), обращенные выпуклостью вниз. Принимается, что предельное сопротивление грунтов сдвигу под одиночным и составным (прерывистым) фундаментами примерно одинаково. При этом разрушение несущего грунтового свода возможно в результате нарушения условия предельного равновесия, а в предельно напряженном основании внутри уплотненного (упругого) ядра перемещение частиц грунта не происходит.

При этом для построения областей предельного равновесия в основании используется приближенная методика В. Г. Березанцева [4], а разгружающих грунтовых сводов — теория М. М. Протодьяконова [5].

В последнее время появились публикации, в которых рассматриваются вопросы определения напряженного состояния и устойчивости оснований, находящихся под действием системы параллельных незаглубленных ленточных фундаментов (штампов).

Так, в работе М. Л. Холмянского [6] приводится решение так называемой периодической задачи, когда на основание действуют «большое число одинаковых конструкций (ленточные фундаменты при действии вертикальных нагрузок, сваи при горизонтальных нагрузках и т. д.)». Автор подчеркивает, что получение аналитического решения вызвано необходимостью контроля правильности конечноэлементных программ, путем сопоставления результатов численного решения с результатами решения аналитического. Он делает ударение на том, что имеются значительные затруднения при использовании численных методов, а имеющиеся аналитические решения немногочисленны и не всегда применимы для верификации.

Таким образом, автором ставится периодическая задача о действии равномерно распределенного давления p на участках $nd - 1 < x < nd + 1$ границы полуплоскости $ImY < 0$ (в обозначениях автора [6]).

Формулы для определения компонент напряжения получены методом комплексных потенциалов Колосова — Мусхелишвили [7]. Однако автору пришлось провести коррекцию полученного решения, так как полученный им результат соответствовал величине коэффициента бокового давления грунта $\xi_o = 1$, т. е. гидростатическому закону распределения напряжений от собственного веса грунта.

До опубликования проанализированного выше решения задача о действии периодических нагрузок решена С. С. Давыдовым [8] на основе использования рядов Фурье, но не для полуплоскости, а для слоя конечной толщины. «Причем само решение представлено в виде суммы бесконечного тригонометрического ряда (откуда и следует периодичность)» [8].

Позже [9; 10] для получения решения использовался метод комплексных потенциалов Колосова — Мусхелишвилии [7]. Однако в этом случае конечные формулы получены лишь для сосредоточенных сил.

С помощью интегральных уравнений решалась также периодическая контактная задача [9], однако определены были лишь контактные напряжения.

Кроме решений так называемой периодической задачи, известен ряд решений для нагрузки равномерно распределенной по полосе как в плоской, так и в пространственной постановке [10; 11]. Не требует доказательств утверждение о том, что каждое из этих решений может быть использовано для определения напряжений в основании системы «периодически расположенных» ленточных фундаментов на основе принципа суперпозиции, который действует в рамках линейной теории упругости, если количество фундаментов n выражается конечным числом.

В работе В. Г. Федоровского [12] рассмотрена задача теории предельного равновесия о давлении бесконечного периодического ряда ленточных штампов на невесомое идеально связное основание ($\varphi = 0$). Предложены формулы для определения предельного давления и минимального расстояния между штампами, при котором невозможно продавливание грунта между ними.

В работе К. В. Королева [13] сделана попытка получить строгие решения задач теории предельного равновесия для определения предельного давления на грунтовое основание двух, трех и произвольного количества штампов (фундаментов). В качестве величины, характеризующей положение штампов друг относительно друга, принята «относительное расстояние $\eta = a/l$, где l — длина призмы выпирания одиночного штампа шириной b, принимаемая из известного решения задачи Прандтля, данного М. В. Малышевым [14] и Ю. И. Соловьевым [15] для общего случая весомого сыпучего основания», a — расстояние между штампами.

Мы в своих исследованиях также уделяем внимание изучению взаимного влияния системы параллельных периодически расположенных ленточных фундаментов, но делаем это на основе аналитического решения первой основной граничной задачи теории упругости для односвязной области [16].

Определение напряжений в основании фундаментов. Использование методов теории функций комплексного переменного [7] позволяет отыскать решение первой основной задачи теории упругости, если имеется функция $z = \omega(\zeta)$, осуществляющая конформное отображение круга $|\zeta| < 1$ или полуплоскости $ImZ < 0$ на исследуемую область. Наиболее просто решение строится, когда эта функция является полиномом.

А. Н. Богомоловым [17;18] предложена функция

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

где $z = x + iy$; $\zeta = \xi + i\eta$; C_0; C; C_{2k+1} — любые, в том числе и комплексные, коэффициенты; a и b — действительные числа, $b > 0$, которая совершает конформное отображение нижней полуплоскости $ImZ < 0$ на полуплоскость с криволинейной границей, имитирующей контуры различных геотехнических объектов.

Функции, входящие в известные соотношения [7] и определяющие численные значения напряжений в точках исследуемой области, получены А. Н. Богомоловым [17; 18] в виде

$$\Phi(\zeta) = -\frac{1}{\left[C + \sum_{k=0}^{n} \frac{(2k+1)C_{2k+1}}{(\zeta + a - bi)^{2k+1}}\right]} \left\{ J_1 + \sum_{k=0}^{m} \frac{C_{2k+1}}{(2k)!} \times \rightarrow \right. \qquad (2)$$

$$\left. \rightarrow \times \left[\sum_{s=0}^{m=2k+1} \frac{A_m^s \overline{\Phi(-a-bi)^{(m-s)}}}{(\zeta + a - bi)^{s+1}} - \sum_{s=0}^{m=2k} \frac{A_m^s \overline{\Phi'(-a-bi)^{(m-s)}}}{(\zeta + a - bi)^{s+1}} \right] \right\};$$

$$\Psi(\zeta) = -\frac{1}{\left[C + \sum_{k=0}^{n} \frac{(2k+1)C_{2k+1}}{(\zeta + a - bi)^{2k+2}}\right]} \times \rightarrow$$

$$\rightarrow \times \left\{ J_2 + \left[C + \sum_{k=0}^{n} \frac{(2k+1)C_{2k+1}}{(\zeta + a + bi)^{2k+1}} \right] \Phi(\zeta) + \right.$$

$$+\left[C_0 + C\zeta - \sum_{k=0}^{n} \frac{C_{2k+1}}{(\zeta + a + bi)^{2k+1}}\right] + \Phi'(\zeta) -$$

$$-\sum_{k=0}^{n} \frac{C_{2k+1}}{(2k)!}\left[\sum_{s=0}^{m=2k+1} \frac{A_m^s \Phi^{(m-s)}(-a-bi)}{(\zeta + a + bi)^{s+1}} -\right.$$

$$\left. -\sum_{s=0}^{m=2k} \frac{A_m^s \Phi^{(m+1-s)}(-a-bi)}{(\zeta + a + bi)^{s+1}}\right]\Bigg\}. \qquad (3)$$

Если в (1) положить значения коэффициентов C_{2k+1}, равными нулю, то отображающая функция (1) будет совершать конформное отображение нижней полуплоскости $ImZ < 0$ на саму себя.

Наделив материал полуплоскости объемным весом γ, внутренним трением φ, удельным сцеплением C и коэффициентом бокового давления ξ_o, будем рассматривать ее как упругое, весомое и связное грунтовое основание бесконечной толщины.

Разработанный в Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете пакет компьютерных программ ASV32 [19], включающий в себя программы [20—23], позволяет определить поле напряжений в основании, находящемся под действием нескольких параллельных незаглубленных ленточных фундаментов, определять положение и форму областей пластических деформаций, проводить построение наиболее вероятной поверхности выпора грунта.

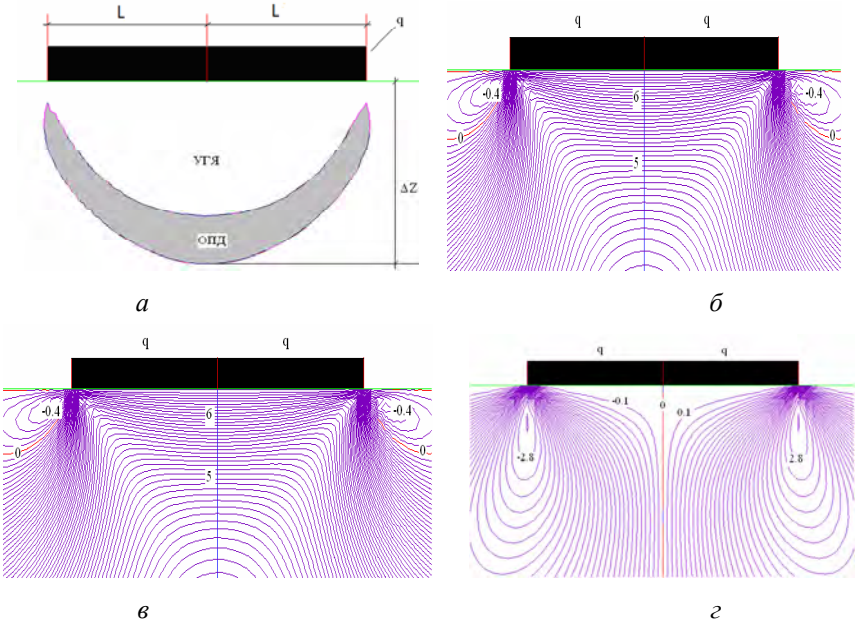
Ниже приводятся некоторые результаты наших исследований напряженного состояния и несущей способности оснований систем ленточных (плитных) фундаментов, более подробное изложение которых, приведено в наших работах [24—33].

Несущая способность основания системы двух параллельных фундаментов. Рассмотрим два незаглубленных ленточных фундамента шириной L = 2 м, возведенных вплотную друг к другу на однородном связном основании, сложенным грунтом со следующими физико-механическими характеристиками: объемный вес грунта γ = 2 т/м^3; удельное сцепление С = 0,052 МПа; угол внутреннего трения φ = 15°; коэффициент бокового давления ξ_o = 0,75.

На рис. 1 приведены соответственно расчетная схема с областью пластических деформаций и картины изолиний безразмерных (в долях γL) компонент вертикальных σ_z, горизонтальных σ_x и касательных τ_{zx} напряжений в грунтовом основании, нарисованные при помощи компьютерной программы [20] при условии, что расстояние между фундаментами d = 0 и они воспринимают равномерно распределенную нагрузку интенсивности $q/\gamma L$ = 5.

На рис. 2 изображено все то же, но с той лишь разницей, что фундаменты расположены не вплотную, а отстоят друг от друга на расстоянии d = 0,1м.

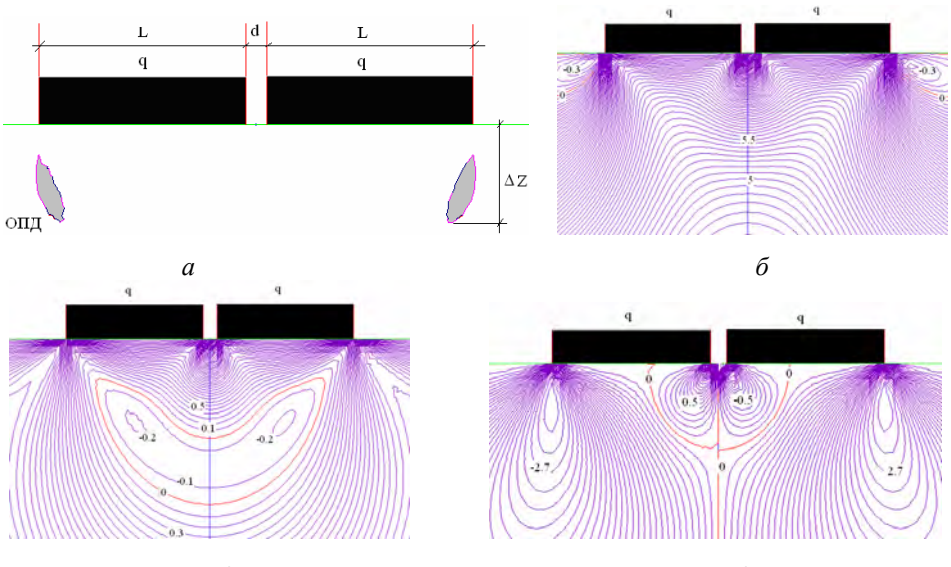
Сравнивая эти рисунки, приходим к выводу, что распределение напряжений в грунтовом основании претерпело существенные изменения, что сказалось на размерах и форме областей пластических деформаций (ОПД): вместо одной области появилось две, но в несколько раз меньшего размера, а глубина их развития уменьшилась почти в два раза.



а *б*

в *г*

Рис. 1. Расчетная схема МТФКП для незаглубленного ленточного фундамента и области пластических деформаций в его основании (*а*); картины изолиний безразмерных (в долях γL) напряжений σ_z (*б*); σ_x (*в*) и τ_{xz} (*г*)



а *б*

в *г*

Рис. 2. Расчетная схема МТФКП для двух незаглубленных ленточных фундаментов и области пластических деформаций в их основании (*а*); картины изолиний безразмерных (в долях γL) напряжений σ_z (*б*); σ_x (*в*) и τ_{xz} (*г*)

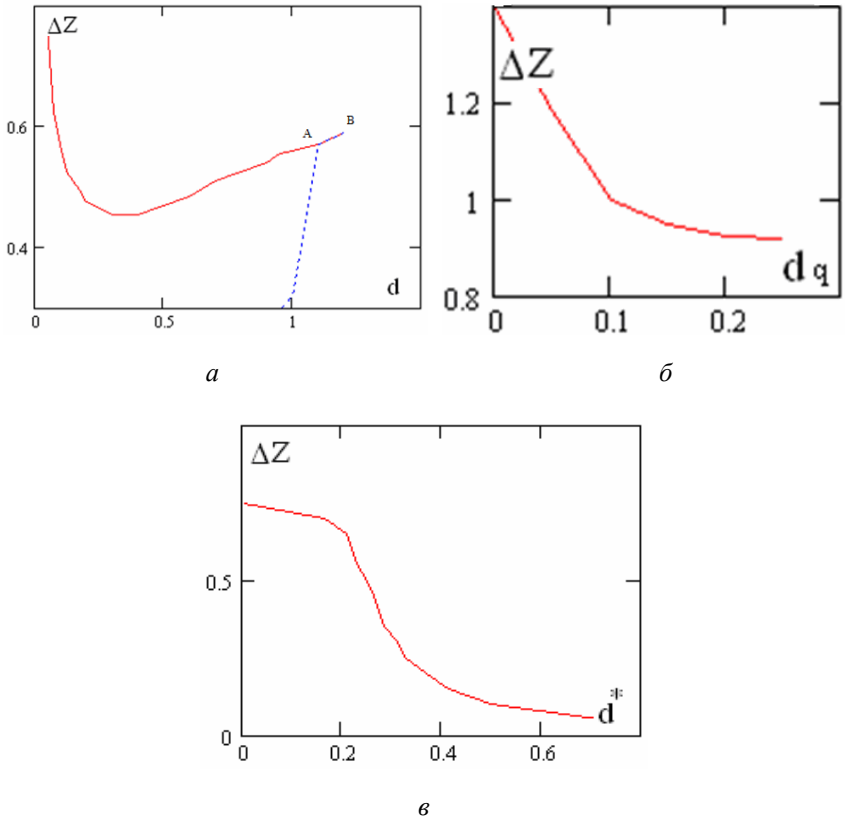
Проследим, как будет меняться глубина развития областей пластических деформаций, если:

1) постепенно увеличивать расстояние между фундаментами, не изменяя величины внешней нагрузки;

2) не изменяя положения центров фундаментов на основании и величины интенсивности нагрузки, постепенно увеличивать расстояние между ними за счет симметричного уменьшения ширины плит, что повлечет за собой уменьшение главного вектора нагрузки;

3) уменьшать ширину фундаментов, как описано в п. 2, и одновременно увеличивать интенсивность внешней нагрузки так, чтобы ее главный вектор оставался неизменным.

Графические интерпретации результатов соответствующих вычислений приведены на рис. 3.



а *б*

в

Рис. 3. Графические зависимости вида $\Delta Z = f(d)$ при $q = \text{const}$ (*а*); $\Delta Z = f(d^*)$ (*б*) и $\Delta Z = f(d_q)$ (*в*)

Из рис. 3, *а* видно, если постепенно увеличивать расстояние между фундаментами, то глубина развития областей пластических деформаций под их внешними краями сначала резко уменьшается и, достигнув некоторого минимума, начинает постепенно возрастать.

Процесс развития ОПД начинается при таком расстоянии между фундаментами, когда их взаимное влияние начинает ослабевать (сплошная линия). При величине $d \approx L$ происходит резкое развитие «внутренних» пластических областей (пунктир) и их смыкание с «внешними» ОПД (см. отрезок *AB* на рис. 3, *а* и рис. 4, *а*).

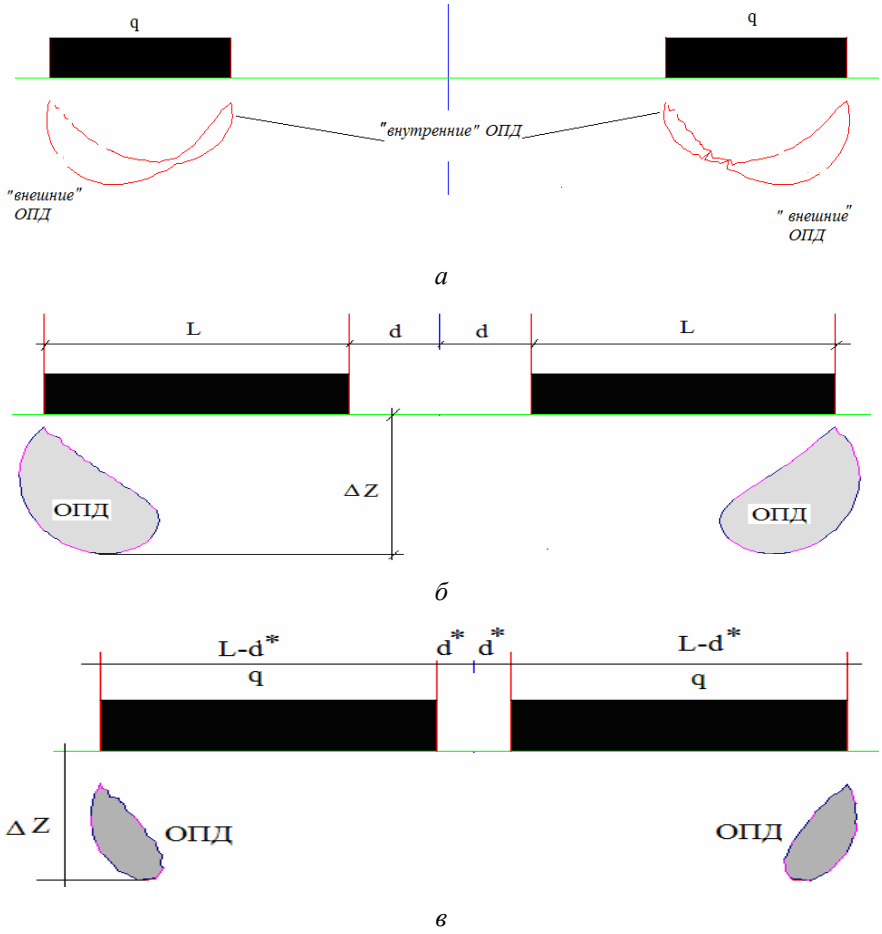


Рис. 4. Слияние «внешних» и «внутренних» областей пластических деформаций при ослаблении взаимного влияния фундаментов (*а*); области пластических деформаций в основании двух близрасположенных фундаментов при их максимальном взаимном влиянии (*б*); расчетная схема, соответствующая п. 2 (*в*)

Из графика (см. рис. 3, *а*) видно, что при d = 0,3 м глубина развития областей пластических деформаций составляет $\Delta Z = \Delta Z_{min}$. При этом эквивалентная ширина фундамента $L_{экв} = 2L + 2d = 2{,}6$ м. Проведя расчеты, установили, если величину интенсивности равномерно распределенной нагрузки увеличить на 10 %, то для ситуации, изображенной на рис. 3, *б*, величина $\Delta Z = 0{,}65$ м $= 0{,}25L_{экв}$. Таким образом, величина интенсивности равномерно распределенной нагрузки $q = 5{,}5\gamma L$ соответствует величине расчетного сопротивления. Однако если $d = 0$ (см. рис. 1), то $\Delta Z = 1{,}162$ м $> 0{,}5$ м $= 0{,}25L_{экв}$ при $q = 5\gamma L$. Следовательно, в этом случае величина равномерно распределенной нагрузки существенно превышает интенсивность нагрузки, которая эквивалентна расчетному сопротивлению.

На графике (рис. 3, *б*) изображена зависимость вида $\Delta Z = f(d^*)$. В этом случае, как говорилось ранее, образование зазора между фундаментами d^* происходит за счет уменьшения ширины самих фундаментов, причем ширина эквивалентного фундамента остается постоянной равной $2L$, а главный век-

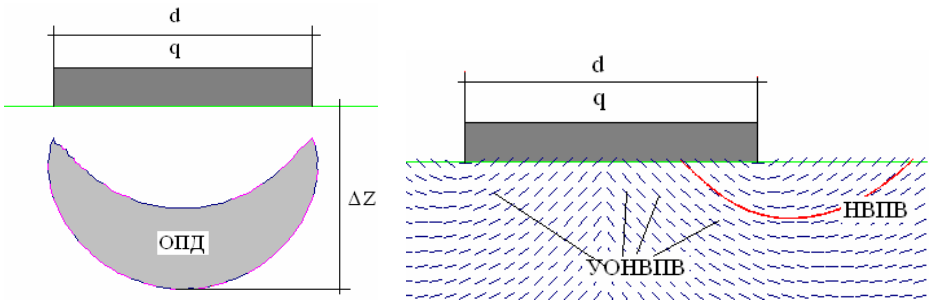
тор нагрузки уменьшается прямо пропорционально уменьшению величины $L - d^*$ (см. рис. 3, *в*). Понятно, что в рассмотренном случае при условии $d^* \to L$ будет выполняться условие $\Delta Z \to 0$, так как предыдущее условие соответствует отсутствию фундамента.

В третьем рассмотренном нами варианте условие сохранения величины главного вектора нагрузки приводит к тому, что, в конце концов, бесконечно малый по ширине фундамент должен воспринимать нагрузку бесконечно большой интенсивности, что соответствует неограниченному развитию ОПД (см. рис. 3, *в*).

Изменение несущей способности существующего фундамента при сооружении в близи от него фундамента-близнеца. Рассмотрим ленточный (плитный) фундамент шириной d = 2 м, загруженный равномерно распределенной нагрузкой $q_p = q/\gamma d = 5$, основание которого сложено связным грунтом, объемный вес, удельное сцепление и угол внутреннего трения которого соответственно равны γ = 1,9 т/м^3; C = 0,049 МПа; $\varphi = 20°$, при условии, что в непосредственной близости от него возникнет абсолютно такой же параллельный фундамент.

Выше нами отмечено, что сооружение еще одного фундамента вблизи уже существующего влечет за собой трансформацию полей напряжений в основании последнего, изменение его несущей способности и коэффициента запаса устойчивости. Кроме того, очевидно, произойдет изменение осадок существующего фундамента.

На рис. 5 изображена расчетная схема одиночного фундамента и основания с перечисленными выше параметрами. Отметим, что глубина развития области пластических деформаций $\Delta Z = 0{,}717d$, а величина коэффициента запаса устойчивости основания K = 1,77. (Это парадокс. Несущая способность основания исчерпана, а коэффициент запаса устойчивости гораздо больше 1).

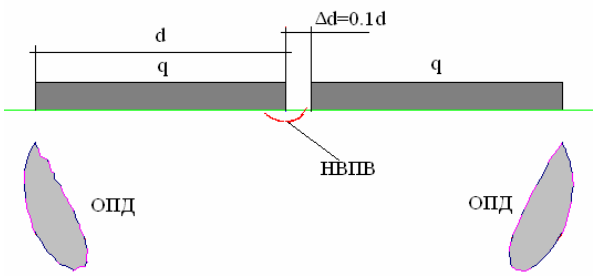


а *б*

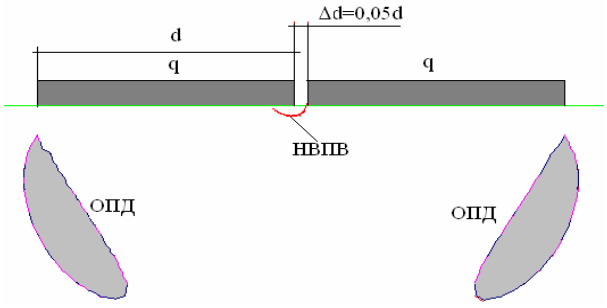
Рис. 5. Область пластических деформаций (*а*) и наиболее вероятная поверхность выпора (*б*) в основании одиночного фундамента

Расположив вновь возводимый фундамент на расстоянии $\Delta d = 9d$ параллельно уже существующему, поочередно проводим вычисления величин K и ΔZ при каждом уменьшении величины Δd.

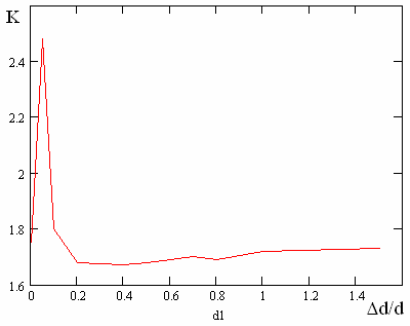
На рис. 6 в качестве примера изображены области пластических деформаций и следы наиболее вероятных поверхностей выпора, построенные в основании при $\Delta d = 0{,}1d$ и $0{,}05d$.



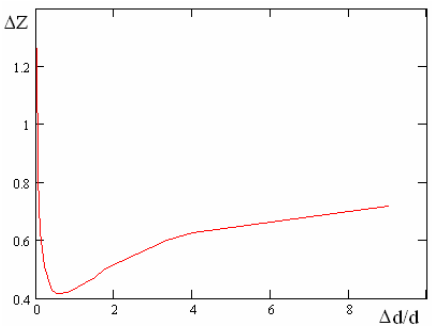
а



б



в



г

Рис. 6. Области пластических деформаций в основании двух близрасположенных фундаментов при $\Delta d = 0{,}1d$ (*а*) и $0{,}05d$ (*б*), графические зависимости $K = f(\Delta d/d)$ (*в*) и $\Delta Z = f(\Delta d/d)$ (*д*), построенные по результатам вычислений

По результатам вычислений построены для оговоренных выше условий графики зависимости величины коэффициента запаса устойчивости основания K и глубины развития областей пластических деформаций ΔZ от величины Δd, которые приведены на рис. 6 *в*, *г*.

Анализ этих графиков показывает, что глубина развития областей пластических деформаций является более чувствительной по отношению к Δd величиной, чем численное значение коэффициента запаса устойчивости, так как влияние соседнего фундамента на ΔZ ощущается на расстояниях, превышающих 10-кратную его ширину.

Как отмечалось нами ранее [4; 5], при определенных расстояниях между близко расположенными фундаментами (они зависят от ширины фундамента, величины внешней нагрузки и физико-механических свойств грунта основания) последние начинают работать как единое целое.

При выполнении условия $\Delta d = 0$ (см. рис. 6, *г*), области пластических деформаций, развивающиеся под внешними краями фундаментов, смыкаются, глубина их развития резко возрастает, что и объясняет резкое стремление вверх кривой $\Delta Z = f(\Delta d/d)$ при $\Delta d \to 0$, которое наблюдается на рис. 6, *г*.

Коэффициент запаса устойчивости основания, напротив, существенно уменьшается при увеличении ширины фундамента и сохранении неизменными других расчетных параметров. Это обстоятельство и отражает резкий скачек значений K на рис. 6, *в* при $\Delta d \to 0$.

Некоторые особенности развития областей пластических деформаций в основании системы пяти параллельных ленточных (плитных) фундаментов. Пусть имеем систему из пяти параллельных ленточных (плитных) фундаментов, расстояние между кромками которых равно $L = 1{,}5b$ (b — ширина фундамента).

Пусть физико-механические свойства грунта основания имеют следующие значения: объемный вес $\gamma = 2$ т/м^3, угол внутреннего трения $\varphi = 15°$, удельное сцепление $C = 0{,}063$ МПа. Тогда величина приведенного давления связности $\sigma_{св} = C\left(\gamma b \operatorname{tg}\varphi\right)^{-1} = 6$. Интенсивность внешней нагрузки принята равной $q = 3\gamma b$.

На рис. 7 изображены картины изолиний вертикальных σ_z, горизонтальных σ_x и касательных τ_{zx} безразмерных напряжений в основании пяти рядом расположенных незаглубленных ленточных фундаментов при $L = 1{,}5d$ и $L = 0{,}25d$.

Оценивая приведенные изображения, можно сказать, что взаимное влияние близрасположенных фундаментов по многим показателям весьма существенно. Чем ближе находятся фундаменты друг к другу, тем больше напряженное состояние основания составного фундамента напоминает напряженное состояние основания одиночного фундамента. Тот же вывод можно перефразировать и по отношению областей пластических деформаций, которые приведены на рис. 8.

Анализируя рис. 8, можно сделать вывод о том, что при постепенном уменьшении расстояния между кромками фундаментов при всех прочих равных условиях происходит уменьшение размеров, а затем и полное исчезновение областей пластических деформаций грунта под краями внутренних рядов фундаментов.

Области пластических деформаций, расположенные под внешними краями первого и последнего рядов фундаментов, напротив, постепенно растут. При достижении величиной L некоторого предельного минимального значения система параллельных ленточных (плитных) фундаментов начинает оказывать на грунтовое основание действие, эквивалентное действию ленточного (плитного) фундамента с эквивалентной шириной $L_{эк} = 5L + 4b$ — под ним образуется единое, упругое уплотненное грунтовое ядро, обеспечивающее эффект «непродавливания».

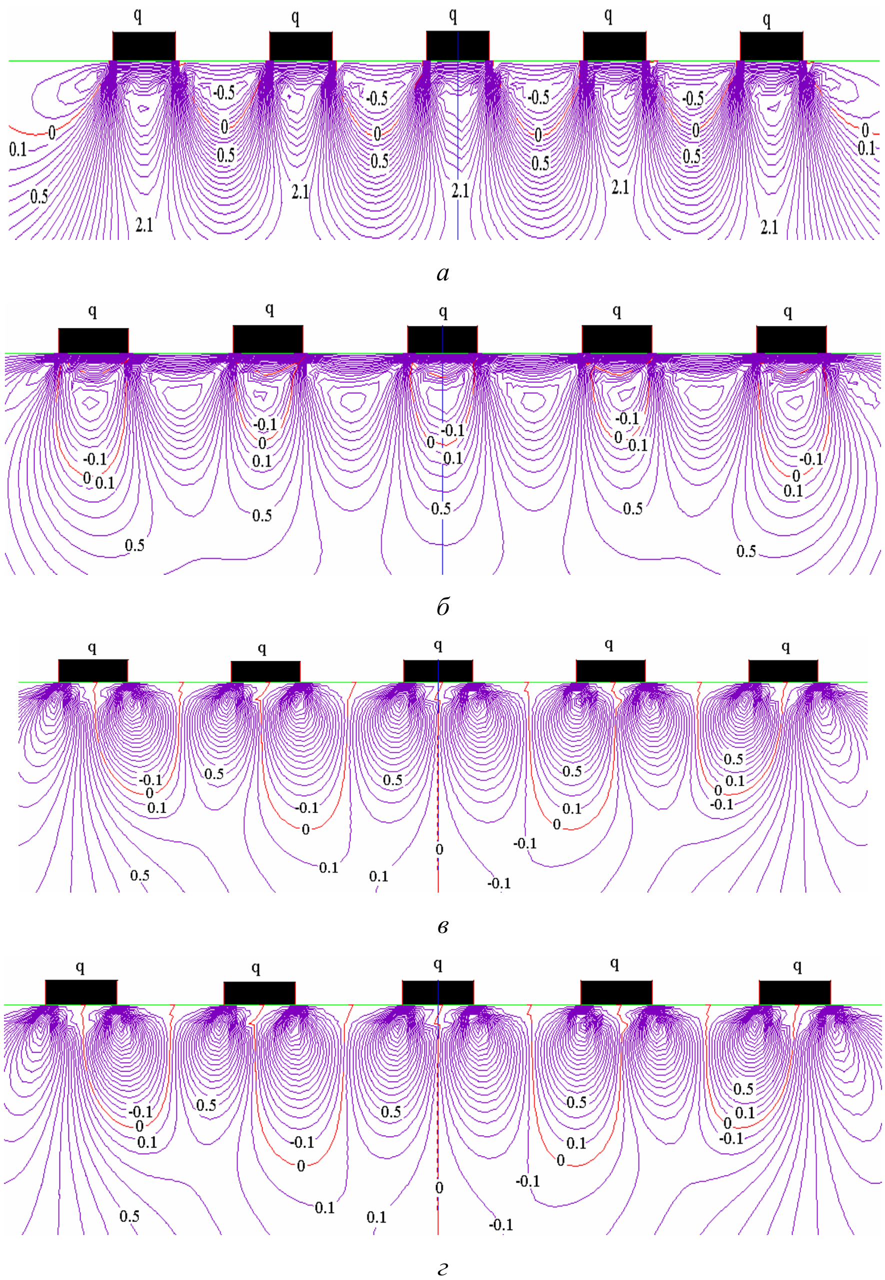
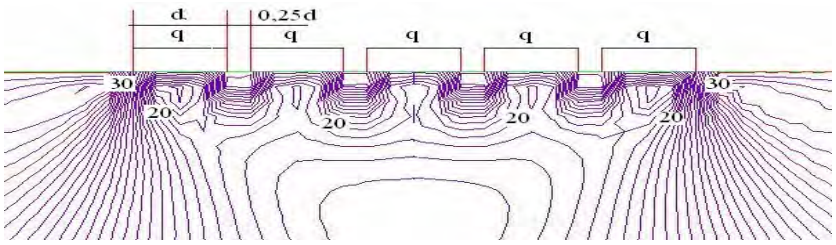
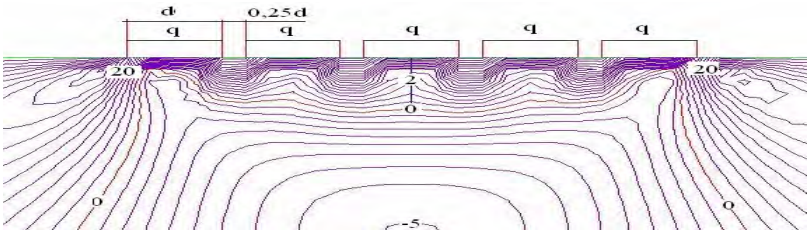


Рис. 7 (начало)

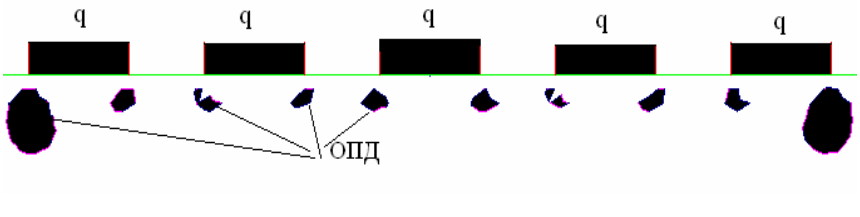


д

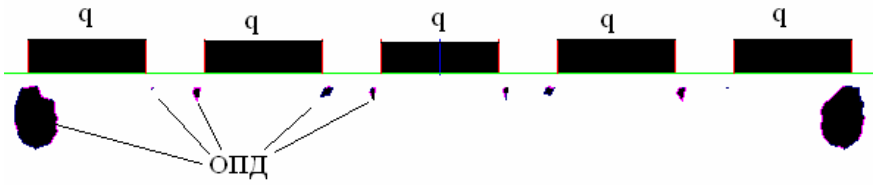


е

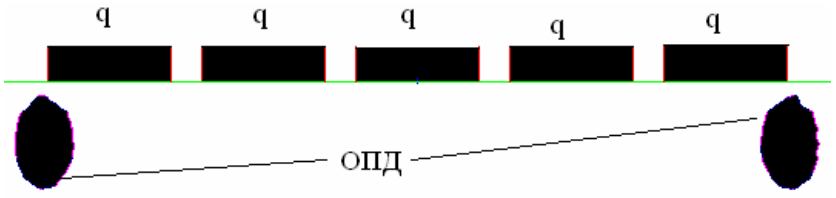
Рис. 7 (окончание). Картины изолиний вертикальных σ_z (*а*), горизонтальных σ_x (*б*), касательных τ_{zx} (*в*) безразмерных (в долях $b\gamma$) напряжений в основании системы пяти параллельных незаглубленных ленточных фундаментов при расстоянии между ними $L = 1{,}5d$; (*г*—*е*) — то же при $L = 0{,}25d$



а



б



в

Рис. 8. ОПД в основании системы пяти параллельных фундаментов при постоянной интенсивности внешней нагрузки и расстояниями между фундаментами равными $b = 0{,}8; 0{,}5; 0{,}3d$

Следует отметить, что уменьшение расстояния между фундаментами влечет за собой и переориентацию площадок наиболее вероятного сдвига в грунте основания, что делает невозможным выпор грунта из-под фундаментов в просвет между ними (рис. 9).

Добавим, что аналогичные результаты получены В. Г. Федоровским на основе использования аппарата теории предельного равновесия [12].

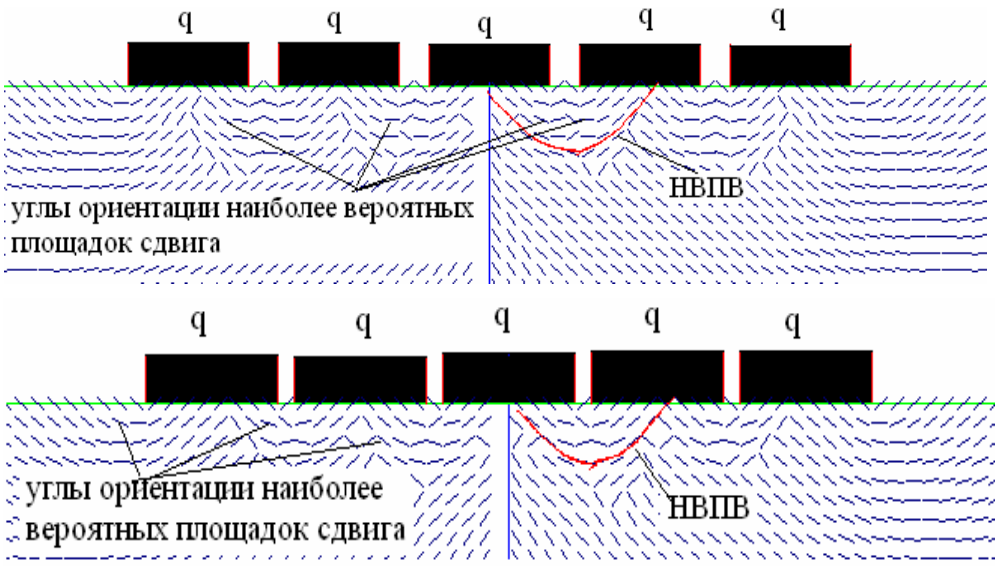


Рис. 9. Переориентация площадок наиболее вероятного сдвига при уменьшении расстояния между фундаментами

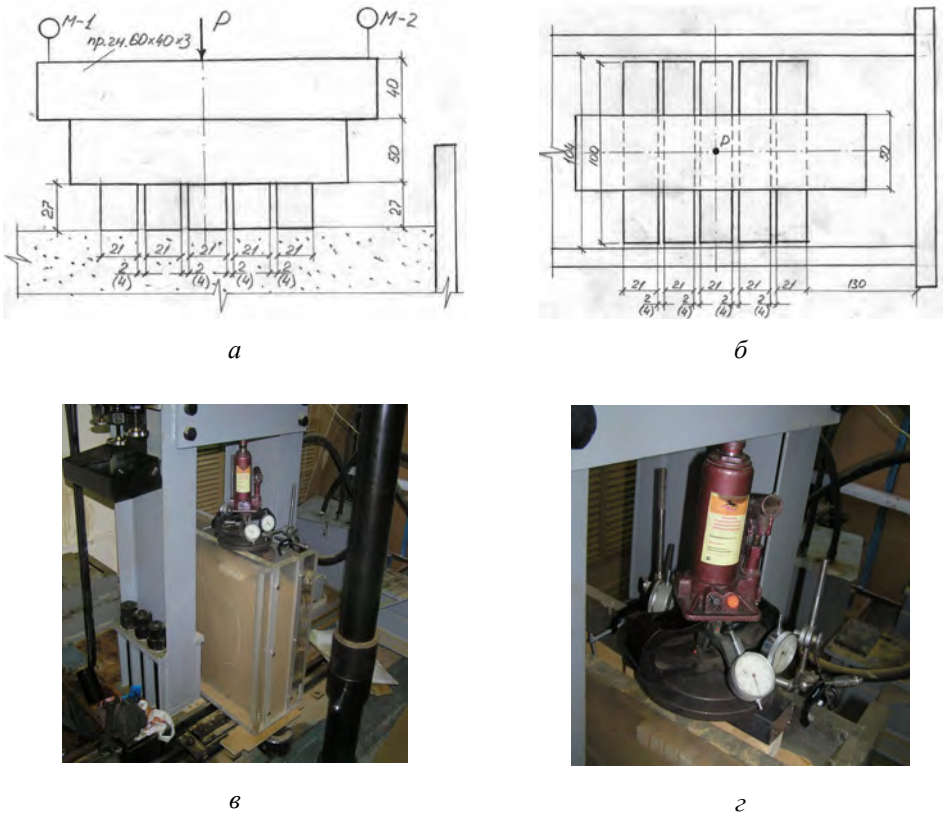
Экспериментальные исследования несущей способности основания системы пяти параллельных незаглубленных фундаментов. Для проведения экспериментальных исследований использован прямоугольный лоток, стенки которого толщиной 30 мм выполнены из прозрачного органического стекла. Размеры лотка 100 × 800 × 600 мм ($b \times l \times h$).

В качестве материала модели грунтового основания использован среднезернистый воздушно-сухой песок плотного сложения. Плотность грунта — $\rho = 17{,}5$ кН/м^3; плотность частиц грунта — $\rho_s = 22{,}6$ кН/м^3; пористость — $e = 0{,}530$; естественная влажность — $W = 0{,}16\ldots0{,}22$; удельное сцепление — $C = 0$; угол внутреннего трения — $\varphi = 43°$.

Испытания проведены для модели системы пяти параллельных незаглубленных фундаментов. Модель отдельного фундамента представляет собой деревянный брус сечением 20 × 27 мм и длиной $L = 100$ мм. Брусья укладывались параллельно друг другу на подготовленное горизонтальное основание, а поверх них укладывалась распределительная балка сечением 50 × 50 мм. Расстояние между соседними моделями фундаментов принималось соответственно равным $\Delta d_1 = 2$ мм и $\Delta d_2 = 4$ мм, т. е. $0{,}1d$ и $0{,}2d$.

Нагрузка на модели системы пяти параллельных фундаментов создается гидравлическим домкратом. Измерение ее величины проведено при помощи тарированного образцового динамометра сжатия. В качестве силовой рамы используются элементы поперечной рамы испытательной машины МФ-1.

Измерение деформаций грунтового основания производится прогибомерами — мессурами М-1 и М-2. Принципиальная схема, ее геометрические размеры и общий вид испытательной установки показан на рис. 10.



а *б*

в *г*

Рис. 10. Принципиальная схема экспериментальной установки и геометрические размеры: *а* — вертикальная проекция; *б* — горизонтальная проекция; *в* — общий вид испытательной установки: нагружение проводится гидравлическим домкратом, измерение усилия — динамометром ДС-5, измерение деформаций — индикаторами часового типа; *г* — схема расположения измерительных приборов и нагружающего устройства на экспериментальной установке

Эксперименты проводились в следующей последовательности. Сначала испытательный лоток заполняется песком с послойным уплотнением его до величины плотности $\rho = 1{,}75$ г/см^3, контроль которой производится иглой-плотномером. Затем проводится установка моделей на поверхность песчаного основания; установка подкладок, динамометра и нагрузочного устройства (гидравлического домкрата); установка приборов для измерения деформаций песчаного основания (индикаторов часового типа — мессур М-1 и М-2).

Затем проводится нагружение моделей статической нагрузкой, с величиной шага нагружения 100 кг, снятие показаний по приборам проводятся при окончании каждого десятого шага нагружения, причем за начало отсчета принято показание измерительных приборов при величине нагрузки равной 0.

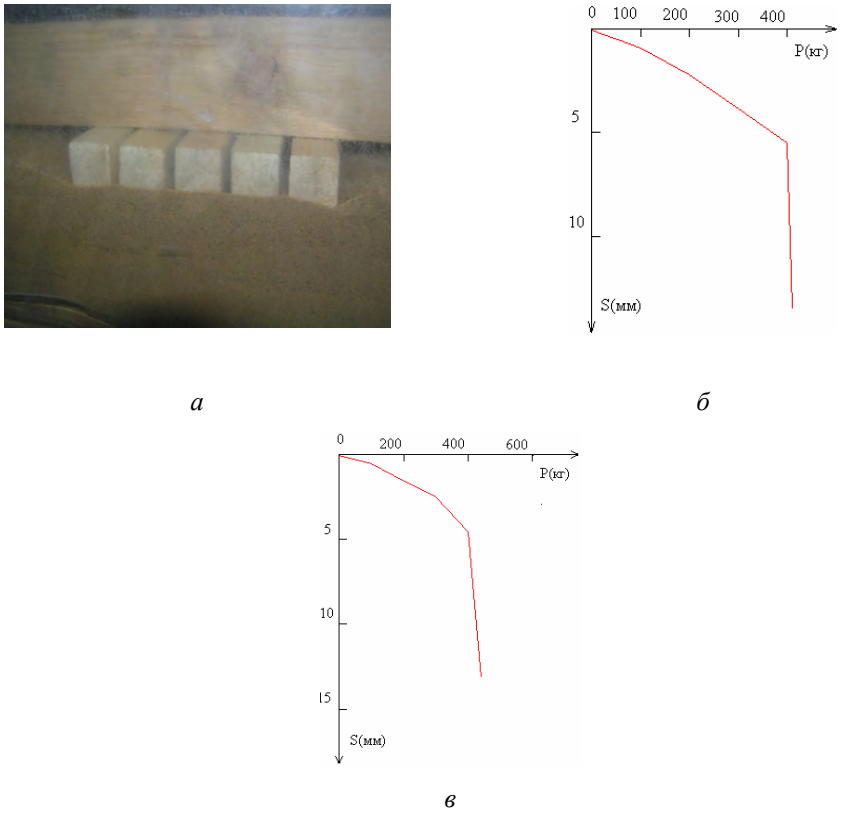
Нагружение моделей проводится до наступления неустойчивого состояния и полного исчерпания несущей способности грунта, при котором происходит выпор грунта по краям модели. Нагрузка, при которой наступает предельное состояние грунта, фиксируется по динамометру.

На каждой ступени нагружения проводится фотографирование моделей и наблюдения за деформациями песчаного основания через прозрачные стенки лотка.

После проведения испытаний проводится зарисовка эскизов, фотографирование моделей и построение графических зависимостей вида «нагрузка — осадка».

На рис. 11, *а* приведена фотография модели системы фундаментов при условии, что $\Delta d_2 = 4$ мм, в момент потери устойчивости основанием.

Этот момент характеризуется резким увеличением осадки и появлением характерного для момента выпора выступающим выше уровня основания грунтового гребня.

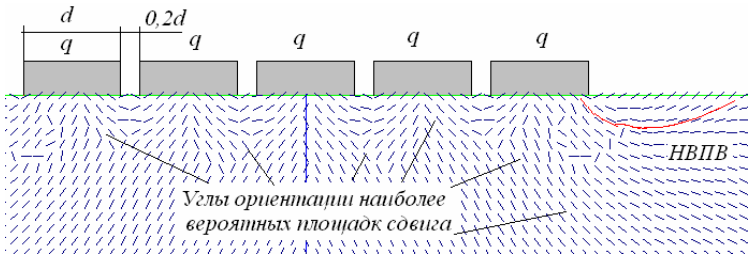


а *б* *в*

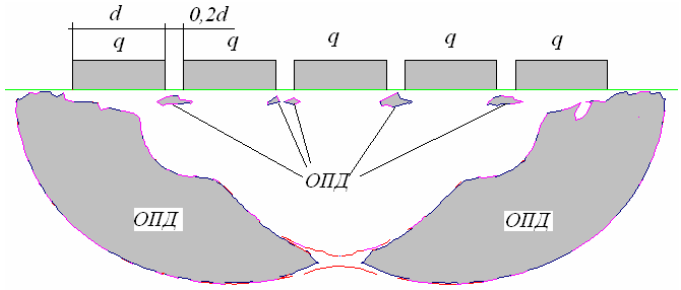
Рис. 11. Фотография модели системы фундаментов при $\Delta d_2 = 4$ мм в момент потери устойчивости основанием (*а*) и графические зависимости вида $S = f(P)$ для системы пяти параллельных ленточных фундаментов при $\Delta d_1 = 2$ мм (*б*) и $\Delta d_2 = 4$ мм (*в*)

На рис. 11, *б, в* приведены графические зависимости осадки системы фундаментов от величины прикладываемого усилия для случаев $\Delta d_1 = 2$ мм и $\Delta d_2 = 4$ мм, которые построены в результате обработки данных, полученных при проведении серии из восьми испытаний для каждой из величин Δd.

На рис. 12 и в табл. приведены результаты расчета величины коэффициента запаса устойчивости K и глубины развития областей пластических деформаций в основании модели системы пяти параллельных незаглубленных ленточных фундаментов, выполненных по программам [1].



а



б

Рис. 12. Расчетная схема МТФКП модели системы пяти параллельных незаглубленных фундаментов, углы ориентации наиболее вероятных площадок сдвига и наиболее вероятная поверхность выпора (K = 1,09) при $\Delta d = 0{,}2d$ (*а*) и области пластических деформаций в момент потери основанием устойчивости (P = 440 кг) при $\Delta d = 0{,}2d$ (*б*)

Результат вычисления величины коэффициента запаса устойчивости модели основания

№	x	z	α	F удер	F сдвиг	σ_x	σ_z	τ_{xz}
1	1,740	-0,030	28,672	0,040	0,003	0,046	0,040	-0,002
2	1,710	-0,046	26,090	0,061	0,007	0,073	0,060	-0,004
3	1,680	-0,061	23,945	0,080	0,013	0,098	0,077	-0,007
4	1,650	-0,074	21,890	0,097	0,020	0,124	0,091	-0,012
5	1,620	-0,086	19,800	0,111	0,028	0,148	0,103	-0,017
6	1,590	-0,097	17,613	0,123	0,038	0,173	0,112	-0,025
7	1,560	-0,107	15,273	0,133	0,048	0,197	0,120	-0,033
8	1,530	-0,115	12,749	0,139	0,060	0,221	0,125	-0,044
9	1,500	-0,122	9,984	0,141	0,073	0,245	0,128	-0,057
10	1,470	-0,127	6,918	0,138	0,086	0,267	0,129	-0,072
11	1,440	-0,131	3,464	0,130	0,098	0,288	0,128	-0,089
12	1,410	-0,133	-0,517	0,115	0,107	0,308	0,125	-0,109
13	1,380	-0,132	-5,287	0,092	0,111	0,325	0,121	-0,132
14	1,350	-0,129	-11,581	0,057	0,100	0,339	0,114	-0,157
15	1,320	-0,123	-11,589	0,039	0,121	0,349	0,105	-0,184
16	1,290	-0,117	-0,767	0,089	0,217	0,358	0,101	-0,221
17	1,260	-0,117	-24,125	0,000	0,096	0,366	0,124	-0,279
18	1,230	-0,103	-31,391	0,000	0,051	0,354	0,133	-0,327
19	1,200	-0,085	-39,950	0,000	0,013	0,323	0,162	-0,380
20	1,170	-0,060	-49,703	0,000	0,070	0,248	0,246	-0,424
21	1,140	-0,025	-49,178	0,000	0,143	0,108	0,477	-0,270

Площадь эпюры удерживающих сил: 0,0469007
Площадь эпюры сдвигающих сил: 0,0429428
Коэффициент устойчивости: 1,0921685

Из приведенных данных видно, что в момент потери основанием устойчивости области пластических деформаций почти полностью сомкнуты, а величина коэффициента запаса устойчивости основания $K = 1{,}09$.

Следует отметить, что изображенные на рис. 12 картины соответствуют интенсивности распределенной нагрузки q, эквивалентной величине разрушающего усилия $P = 368$ кг, что составляет 83,5 % от зафиксированного в эксперименте.

Выводы

На основании вышеизложенного можно утверждать, что напряженное состояние основания нескольких параллельных близко расположенных незаглубленных ленточных фундаментов одинаковой ширины существенным образом отличается от напряженного состояния одиночного фундамента той же ширины. Чем ближе расположены друг относительно друга фундаменты, тем меньше, при всех прочих равных условиях, области пластических деформаций, образующиеся под их «внутренними» краями.

При некотором предельном значении величины расстояния между фундаментами области пластических деформаций образуются только под внешними краями первого и последнего фундамента. Поэтому существует возможность увеличить полезную нагрузку на «внутренние» фундаменты на некоторую величину, определяемую расчетом.

Дальнейшее уменьшение зазора между фундаментами создает ситуацию, когда система ленточных фундаментов начинает оказывать на грунтовое основание действие, эквивалентное действию ленточного фундамента эквивалентной ширины. Это обусловлено тем, что при этом в промежутках между «луковицами» сжимающих вертикальных напряжений σ_z, расположенных непосредственно под фундаментами, исчезают зоны растягивающих напряжений σ_z, которые изначально существовали. Под фундаментом эквивалентной ширины образуется упругое уплотненное грунтовое ядро, обеспечивающее эффект «непродавливания» грунта в просветы между фундаментами, составляющими систему. При этом глубина развития единой области пластических деформаций резко увеличивается.

Использование системы параллельных ленточных фундаментов позволяет повысить полезные нагрузки на основание по сравнению со сплошной фундаментной плитой. Разница в нагрузках будет зависеть от геометрических параметров фундаментов и физико-механических свойств грунтов основания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сорочан Е. А.* Сборные фундаменты промышленных и жилых зданий. — М. : Госстройиздат, 1962. — 127 с.

2. *Сорочан Е. А.* Фундаменты промышленных зданий. — М. : Стройиздат, 1986. — 303 с.

3. *Фидаров М. И.* Проектирование и возведение прерывистых фундаментов. — М. : Стройиздат, 1986. — 156 с.

4. *Березанцев В. Г.* Расчет оснований сооружений. — Л. : Стройиздат, 1970. — 207 с.

5. *Протодьяконов М. М.* Давление горных пород и рудничное крепление. — М. ; Л. : ОГИЗ, 1931. — 186 с.

6. *Холмянский М. Л.* Напряженное состояние грунта при действии периодической системы полосовых нагрузок // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2005. № 5. С. 2—6.

7. *Мусхелишвили Н. И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости. — М. : Наука, 1966. — 707 с.

8. *Давыдов С. С.* Расчет и проектирование подземных конструкций. — М. : Строийиздат, 1950. — 376 с.

9. *Греков М. А.* Функции Грина для периодических задач упругой полуплоскости // Известия РАН. Механика твердого тела. 1998. № 3. С. 173—178.

10. *Даль Ю. М., Пронина Ю. Г.* О сосредоточенных силах и моментах в упругой полуплоскости // Известия РАН. Механика твердого тела. 1998. № 5. С. 78—87.

11. *Штаерман И. Я.* Контактная задача теории упругости. — М. : Гостехтеориздат, 1949. — 270 с.

12. *Федоровский В. Г.* Предельное давление на ряд ленточных штампов и эффект «непродавливания» // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. № 3. С. 9—13.

13. *Королев К. В.* Предельное давление на сыпучее основание бесконечного ряда штампов // Сборник трудов молодых ученых НГАСУ № 1. — Новосибирск, 1998. — С. 15—18.

14. *Малышев М. В.* Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений. — М. : Стройиздат, 1994. — 228 с.

15. *Соловьев Ю. И.* Несущая способность предельно напряженного основания под ленточным фундаментом // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1979. № 4. С. 21—23.

16. О взаимном влиянии параллельных незаглубленных ленточных фундаментов / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, Я. В. Качурин, И. В. Якименко // Малоэтажное строительство : материалы международной научно-практической конференции. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. — С. 131—136.

17. *Богомолов А. Н.* Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. — Пермь : ПГТУ, 1996. — 150 с.

18. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Шиян С. И.* Решение основных граничных задач для полуплоскости методами теории функций комплексного переменного. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2009. — 133 с.

19. *Богомолов А. Н., Вихарева О. А., Редин А. В.* Пакет прикладных компьютерных программ ASV32 для исследования устойчивости грунтовых массивов // Материалы международной научно-практической конференции «Город, экология, строительство». — Каир, 1999. — С. 33—34.

20. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние) : свид. о госрег. программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г. / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Н. Н. Потапова, М. М. Степанов, А. Н. Ушаков, С. И. Шиян.

21. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Редин А. В.* Программа «Stress-Plast» для ПЭВМ // Информационный листок о научно-техническом достижении № 313-96, Волгоград, ЦНТИ, 1996. 4 с.

22. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Редин А. В.* Программа «Несущая способность для ПЭВМ» // Информационный листок о научно-техническом достижении № 312-96. Волгоград, ЦНТИ, 1996. 4 с.

23. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н., Редин А. В.* Программа «Устойчивость» для ПЭВМ // Информационный листок о научно-техническом достижении № 311-96. Волгоград, ЦНТИ, 1996. 4 с.

24. Исследование несущей способности и осадок основания системы пяти параллельных незаглубленных фундаментов на мелкоразмерных моделях / А. Н. Богомолов, Я. В. Качурин, О. А. Богомолова, И. В. Якименко, А. В. Соловьев // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2010. № 20(39). С. 21—27.

25. *Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Якименко И. В.* О напряженном состоянии и несущей способности связного основания системы близрасположенных параллельных незаглубленных ленточных фундаментов. Актуальные проблемы фундаментостроения на юге России : материалы Рос. науч.-практ. конф., посвящ. памяти проф. Ю. Н. Мурзенко и А. П. Пшеничкина. 14—15 июля 2010 г. г. Новочеркасск. — Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2010. — С. 73—79.

26. *Богомолов А. Н., Якименко И. В., Богомолова О. А.* Инженерный метод определения расчетного сопротивления и предельно допустимой нагрузки на основание системы параллельных ленточных фундаментов. Городские агломерации на оползневых территориях : материалы V Междунар. конф. по геотехнике. 22—24 сентября 2010 г. Волгоград. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2010. — С. 335—342.

27. *Богомолов А. Н., Качурин Я. В., Богомолова О. А.* Оценка взаимного влияния близрасположенных ленточных фундаментов. Наука и образование: архитектура, градостроительство

и строительство : материалы Международной конференции, посвященной 80-летию строительного образования и 40-летию архитектурного образования Волгоградской области. 6—10 сентября 2010 г. Волгоград. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2010. — С. 256—260.

28. *Богомолов А. Н., Качурин Я. В., Богомолов О. А.* Оценка дополнительных осадок ленточных фундаментов, вызываемых перегрузкой основания вновь возводимыми сооружениями. Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство : материалы Междунар. конф., посвящ. 80-летию строит. образования и 40-летию архит. образования Волгогр. обл. 6—10 сентября 2010 г. Волгоград. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2010. — С. 261—265.

29. Экспериментальные исследования несущей способности основания системы пяти параллельных незаглубленных фундаментов. Городские агломерации на оползневых территориях : материалы V Междунар. конф. по геотехнике. 22—24 сентября 2010 г. / А. Н. Богомолов, И. В. Якименко, Я. В. Качурин, А. В. Соловьев, О. А. Богомолова. Волгоград. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2010. — С. 343—349.

30. Вычисление дополнительных осадок средней линии ленточного фундамента, вызываемых влиянием вновь возводимого параллельного сооружения / А. Н. Богомолов, Я. В. Качурин, О. А. Богомолова, А. В. Соловьев // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. № 21(40). С. 13—18.

31. Оценка относительных осадок незаглубленных ленточных фундаментов, вызываемых новой застройкой / А. Н. Богомолов, Я. В. Качурин, О. А. Богомолова, А. В. Соловьев // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. № 22(41). С. 5—14.

32. *Богомолов А. Н., Евтушенко С. И., Пихур В. Н.* Изучение предельной несущей способности двух близко расположенных столбчатых фундаментов // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. № 24(43). С. 29—32.

33. Обеспечение равномерной осадки основания составного плитного фундамента / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, И. Л. Бартоломей, А. В. Соловьев // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2011. № 24(43). С. 29—32.

1. *Sorochan E. A.* Sbornye fundamenty promyshlennykh i zhilykh zdaniy. — M. : Gosstroyizdat, 1962. — 127 s.

2. *Sorochan E. A.* Fundamenty promyshlennykh zdaniy. — M. : Stroyizdat, 1986. — 303 s.

3. *Fidarov M. I.* Proektirovanie i vozvedenie preryvistykh fundamentov. — M. : Stroyizdat, 1986. — 156 s.

4. *Berezantsev V. G.* Raschet osnovaniy sooruzheniy. — L. : Stroyizdat, 1970. — 207 s.

5. *Protod'yakonov M. M.* Davlenie gornykh porod i rudnichnoe kreplenie. — M. ; L. : OGIZ, 1931. — 186 s.

6. *Kholmyanskiy M. L.* Napryazhennoe sostoyanie grunta pri deystvii periodicheskoy sistemy polosovykh nagruzok // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2005. № 5. S. 2—6.

7. *Muskhelishvili N. I.* Nekotorye osnovnye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti. — M. : Nauka, 1966. — 707 s.

8. *Davydov S. S.* Raschet i proektirovanie podzemnykh konstruktsiy. — M. : Stroiyizdat, 1950. — 376 s.

9. *Grekov M. A.* Funktsii Grina dlya periodicheskikh zadach uprugoy poluploskosti // Izvestiya RAN. Mekhanika tverdogo tela. 1998. № 3. S. 173—178.

10. *Dal' Yu. M., Pronina Yu. G.* O sosredotochennykh silakh i momentakh v uprugoy poluploskosti // Izvestiya RAN. Mekhanika tverdogo tela. 1998. № 5. S. 78—87.

11. *Shtaerman I. Ya.* Kontaktnaya zadacha teorii uprugosti. — M. : Gostekhteorizdat, 1949. — 270 s.

12. *Fedorovskiy V. G.* Predel'noe davlenie na ryad lentochnykh shtampov i effekt «neprodavlivaniya» // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2006. № 3. S. 9—13.

13. *Korolev K. V.* Predel'noe davlenie na sypuchee osnovanie beskonechnogo ryada shtampov // Sbornik trudov molodykh uchenykh NGASU № 1. — Novosibirsk, 1998. — S. 15—18.

14. *Malyshev M. V.* Prochnost' gruntov i ustoychivost' osnovaniy sooruzheniy. — M. : Stroyizdat, 1994. — 228 s.

15. *Solov'ev Yu. I.* Nesushchaya sposobnost' predel'no napryazhennogo osnovaniya pod lentochnym fundamentom // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1979. № 4. S. 21—23.

16. O vzaimnom vliyanii parallel'nykh nezaglublennykh lentochnykh fundamentov / A. N. Bogomolov, Ya. V. Kachurin, I. V. Yakimenko // Maloetazhnoe stroitel'stvo : materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. — Volgograd : VolgGASU, 2009. — S. 131—136.

17. *Bogomolov A. N.* Raschet nesushchey sposobnosti osnovaniy sooruzheniy i ustoychivosti gruntovykh massivov v uprugoplasticheskoy postanovke. — Perm' : PGTU, 1996. — 150 s.

18. *Bogomolov A. N., Ushakov A. N.,* Shiyan S. I. Reshenie osnovnykh granichnykh zadach dlya poluploskosti metodami teorii funktsiy kompleksnogo peremennogo. — Volgograd : Izd-vo VolgGASU, 2009. — 133 s.

19. *Bogomolov A. N., Vikhareva O. A., Redin A. V.* Paket prikladnykh komp'yuternykh programm ASV32 dlya issledovaniya ustoychivosti gruntovykh massivov // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Gorod, ekologiya, stroitel'stvo». — Kair, 1999. — S. 33—34.

20. Ustoychivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie) : svid. o gosreg. programmy dlya EVM № 2009613499 ot 30 iyunya 2009 g. / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, M. Yu. Nestratov, N. N. Potapova, M. M. Stepanov, A. N. Ushakov, S. I. Shien.

21. *Bogomolov A. N., Ushakov A. N., Redin A. V.* Programma «Stress-Plast» dlya PEVM // Informatsionnyy listok o nauchno-tekhnicheskom dostizhenii № 313-96, Volgograd, TsNTI, 1996. 4 s.

22. *Bogomolov A. N., Ushakov A. N., Redin A. V.* Programma «Nesushchaya sposobnost' dlya PEVM» // Informatsionnyy listok o nauchno-tekhnicheskom dostizhenii № 312-96. Volgograd, TsNTI, 1996. 4 s.

23. *Bogomolov A. N., Ushakov A. N., Redin A. V.* Programma «Ustoychivost'» dlya PEVM // Informatsionnyy listok o nauchno-tekhnicheskom dostizhenii № 311-96. Volgograd, TsNTI, 1996. 4 s.

24. Issledovanie nesushchey sposobnosti i osadok osnovaniya sistemy pyati parallel'nykh nezaglublennykh fundamentov na melkorazmernykh modelyakh / A. N. Bogomolov, Ya. V. Kachurin, O. A. Bogomolova, I. V. Yakimenko, A. V. Solov'ev // Vestnik VolgGASU. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2010. № 20(39). S. 21—27.

25. *Bogomolov A. N., Bogomolova O. A., Yakimenko I. V.* O napryazhennom sostoyanii i nesushchey sposobnosti svyaznogo osnovaniya sistemy blizraspolozhennykh parallel'nykh nezaglublennykh lentochnykh fundamentov. Aktual'nye problemy fundamentostroeniya na yuge Rossii : materialy Ros. nauch.-prakt. konf., posvyashch. pamyati prof. Yu. N. Murzenko i A. P. Pshenichkina. 14—15 iyulya 2010 g. g. Novocherkassk. — Novocherkassk : YuRGTU (NPI), 2010. — S. 73—79.

26. *Bogomolov A. N., Yakimenko I. V., Bogomolova O. A.* Inzhenernyy metod opredeleniya raschetnogo soprotivleniya i predel'no dopustimoy nagruzki na osnovanie sistemy parallel'nykh lentochnykh fundamentov. Gorodskie aglomeratsii na opolznevykh territoriyakh : materialy V Mezhdunar. konf. po geotekhnike. 22—24 sentyabrya 2010 g. Volgograd. — Volgograd : Izd-vo VolgGASU, 2010. — S. 335—342.

27. *Bogomolov A. N., Kachurin Ya. V., Bogomolova O. A.* Otsenka vzaimnogo vliyaniya blizraspolozhennykh lentochnykh fundamentov. Nauka i obrazovanie: arkhitektura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo : materialy Mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu stroitel'nogo obrazovaniya i 40-letiyu arkhitekturnogo obrazovaniya Volgogradskoy oblasti. 6—10 sentyabrya 2010 g. Volgograd. — Volgograd : Izd-vo VolgGASU, 2010. — S. 256—260.

28. *Bogomolov A. N., Kachurin Ya. V., Bogomolov O. A.* Otsenka dopolnitel'nykh osadok lentochnykh fundamentov, vyzyvaemykh peregruzkoy osnovaniya vnov' vozvodimymi sooruzheniyami. Nauka i obrazovanie: arkhitektura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo : materialy Mezhdunar. konf., posvyashch. 80-letiyu stroit. obrazovaniya i 40-letiyu arkhit. obrazovaniya Volgogr. obl. 6—10 sentyabrya 2010 g. Volgograd. — Volgograd : Izd-vo VolgGASU, 2010. — S. 261—265.

29. Eksperimental'nye issledovaniya nesushchey sposobnosti osnovaniya sistemy pyati parallel'nykh nezaglublennykh fundamentov. Gorodskie aglomeratsii na opolznevykh territoriyakh : materialy V Mezhdunar. konf. po geotekhnike. 22—24 sentyabrya 2010 g. / A. N. Bogomolov, I. V. Yakimenko, Ya. V. Kachurin, A. V. Solov'ev, O. A. Bogomolova. Volgograd. — Volgograd : Izd-vo VolgGASU, 2010. — S. 343—349.

30. Vychislenie dopolnitel'nykh osadok sredney linii lentochnogo fundamenta, vyzyvaemykh vliyaniem vnov' vozvodimogo parallel'nogo sooruzheniya / A. N. Bogomolov, Ya. V. Kachurin, O. A. Bogomolova, A. V. Solov'ev // Vestnik VolgGASU. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2011. № 21(40). S. 13—18.

31. Otsenka otnositel'nykh osadok nezaglublennykh lentochnykh fundamentov, vyzyvaemykh novoy zastroykoy / A. N. Bogomolov, Ya. V. Kachurin, O. A. Bogomolova, A. V. Solov'ev // Vestnik VolgGASU. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2011. № 22(41). S. 5—14.

32. *Bogomolov A. N., Evtushenko S. I., Pikhur V. N.* Izuchenie predel'noy nesushchey sposobnosti dvukh blizko raspolozhennykh stolbchatykh fundamentov // Vestnik VolgGASU. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2011. № 24(43). S. 29—32.

33. Obespechenie ravnomernoy osadki osnovaniya sostavnogo plitnogo fundamenta / A. N. Bogomolov, O. A. Bogomolova, I. L. Bartolomey, A. V. Solov'ev // Vestnik VolgGASU. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2011. № 24(43). S. 29—32.

© Богомолова О. А.,Богомолов А. Н., Бартоломей И. Л., Качурин Я. В., Якименко И. В., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

К вопросу о взаимном влиянии близко расположенных параллельных незаглубленных ленточных (плитных) фундаментов на связном основании / О. А. Богомолова, А. Н. Богомолов, И. Л. Бартоломей, Я. В. Качурин, И. В. Якименко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 50—70.

УДК 624.131.22: 631.432.33: 624.15

А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, С. И. Шиян, С. А. Чарыкова, И. Ю. Кузьменко

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕЗАСОЛЕННЫХ И ЗАСОЛЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ПРИ ДИФФУЗИОННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

На основе анализа экспериментальных данных по изменению состава и свойств при диффузионном выщелачивании морских незасоленных сарматских глин и опубликованных результатов исследований глин иной степени засоления, выявлены основные закономерности формирования их инженерно-геологических свойств при длительном взаимодействии с водой.

К л ю ч е в ы е с л о в а: глинистые породы, сарматские глины, диффузионное выщелачивание.

On the basis of the analysis of experimental data on change of structure and properties at diffusive desalinisation of the sea free-salined Sarmatian clays and published results of researches of clays of the other extent of salinization, the main regularities of formation of their engineering and geological properties at long-term interaction with water are revealed.

K e y w o r d s: clay rocks, Sarmatian clays, diffusive desalinisation.

Сарматские глины распространены в южной части Восточно-Европейской платформы и на прилегающих к ней более молодых геологических структурах и являются основанием для инженерных сооружений в Молдове, Украине, РФ. Являясь структурно-неустойчивыми грунтами, сарматские глины при увеличении влажности изменяют свои строительные свойства вследствие диффузионного выщелачивания содержащихся в них солей, увлажнения и разуплотнения. Морские глины «a priori» считаются засоленными породами, так как накапливались в условиях повышенной солености морской воды.

Изучением процессов выщелачивания и изменения инженерно-геологических свойств *засоленных* глин в нашей стране занимались различные исследователи в 60—90-х годах прошлого столетия. Благодаря их работам, было установлено, что при взаимодействии с пресной водой засоленные глины выщелачиваются, из них выносятся растворимые соли и происходят глубокие преобразования в ионно-солевом комплексе, сопровождаемые изменением прочностных свойств. Теоретические положения формирования состава и физико-механических свойств засоленных глин и их изменение при выщелачивании на основе раскрытия и установления роли физико-химических процессов в системе поровая вода — порода разрабатывались трудами многочисленных специалистов Москвы, Санкт-Петербурга, Ставрополя и других городов России. В настоящее время эти результаты представлены в работах Р. И. Злочевской, И. М. Горьковой, Н. П. Затенацкой, Л. И. Кульчицкого, А. М. Монюшко, С. И. Пахомова, Н. А. Окниной, И. А. Сафохиной и других исследователей.

Однако сарматские глины накапливались в условиях замкнутого морского бассейна при различной солености морской воды в его восточной и западной частях. На востоке образовались типично засоленные морские глины, а на западе в условиях пониженной солености морской воды накапливались морские незасоленные глины, содержащие менее 0,3 % водорастворимых солей [1].

Первые сведения о результатах изучения незасоленных глинистых пород в условиях их диффузионного выщелачивания появились в 1985 г. в монографии Н. П. Затенацкой. Изучив один образец незасоленной сарматской глины из г. Калараш (Молдова), она пришла к выводу, что «диффузионное выщелачивание незасоленного образца сарматской глины Молдовы… сопровождается дополнительным увлажнением, разупрочнением и разуплотнением, но в гораздо меньшей степени, чем засоленных разностей изученных глин» [2, с. 139 и табл. 1].

Образцы незасоленных сарматских глин отбирались на территории междуречья Прут—Днестр из сарматской толщи N_{1S_3}, N_{1S_2}, N_{1S_1}. Всего отобрано 100 образцов глин ненарушенного сложения из северной, центральной и южной частей региона, характеризующихся различными геологическими особенностями, условиями залегания и распространения сарматских глин, особенностями климата, гидрогеологии и геоморфологии. Опробовались преимущественно невыветрелые разности горных пород.

Лабораторные исследования состава и свойств глинистых пород проводились в Институте геофизики и геологии АН Молдовы (моделирование процессов диффузионного выщелачивания) и в СКФ ПНИИИСа (г. Ставрополь) [2—4]. Исследования выполнялись в строгом соответствии с методикой, используемой в 70—80-х гг. XX в. ПНИИИСом при изучении засоленных глинистых пород из южных регионов страны [2]. Последнее обстоятельство позволяет сравнить результаты исследований незасоленных сарматских глин Молдовы с результатами, полученными ПНИИИСом [2, 5] для глин иной степени засоления.

Анализ особенностей изменения состава и свойств незасоленных сарматских глин при диффузионном выщелачивании выполнен по следующим показателям: содержание дисперсной фракции, коэффициент ее агрегированности, содержание водорастворимых солей, содержание гипса, степень выщелоченности, содержание карбонатов, влажность, плотность «сухого» грунта, угол внутреннего трения, удельное сцепление. Отдельно анализировались образцы глин, имеющие в своем составе пирит, и образцы, не имеющие включения пирита.

Содержание дисперсной (менее 0,005 мм) фракции и коэффициент ее агрегированности. Незасоленные глины сармата с пластифицированно-коагуляционным типом структурных связей (коэффициент агрегированности в среднем около 2,0), не содержащие пирита, при выщелачивании диспергируются за счет выноса цементирующих солей и в первую очередь — гипса. При этом существенно повышается содержание дисперсной фракции (примерно на 30 %) и на столько же уменьшается ее коэффициент агрегированности. Глины с таким же типом структурных связей, содержащие пирит, при выщелачивании практически не изменяют содержания дисперсной фракции, оно может незначительно повышаться или понижаться. Соответственно и коэффициент агрегированности может колебаться незначительно в обе стороны. Содержание гипса в породе при этом может либо незначительно увеличиться, либо уменьшаться.

Содержание водорастворимых солей. На рис. 1 приведены графики выщелачивания образцов незасоленных сарматских глин, не имеющих в своем составе пирита обр. 1, 221, 306 и образцов с пиритом обр. 104, 115, 236, 247.

При выщелачивании всех без исключения образцов глин засоленность их уменьшается. Минимальное по абсолютной величине снижение содержания солей имеет место для образцов, не содержащих пирит, в среднем на 20 % от исходного содержания на конец испытаний, что соответствует степени выщелоченности в среднем 0,43. Максимальное снижение содержания водорастворимых солей наблюдается у образцов, содержащих пирит, в среднем на 40 %, однако степень их выщелоченности, как правило, несколько меньше и не превышает значения 0,40.

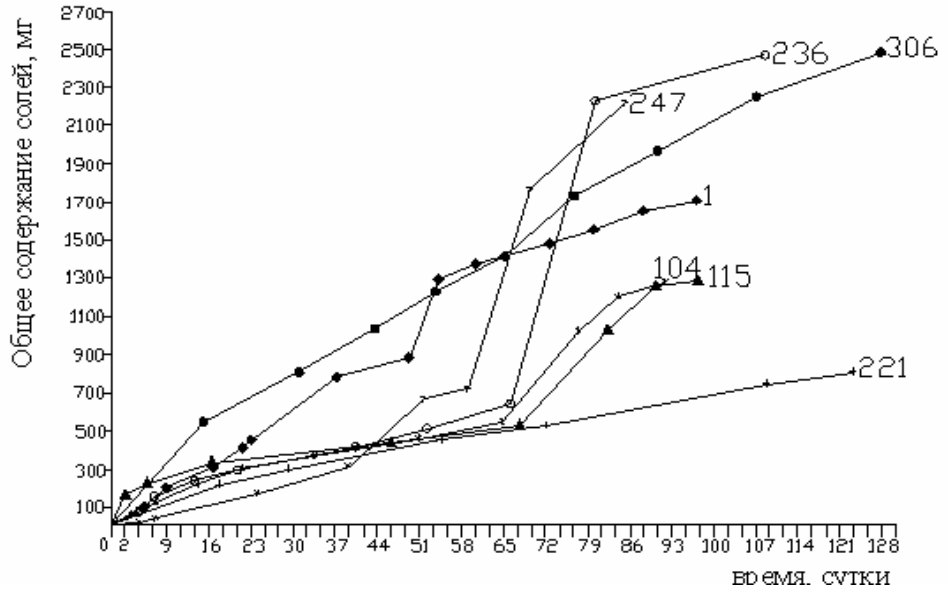


Рис. 1. Кривые выщелачивания незасоленных сарматских глин, вынос водорастворимых солей. Цифры — лабораторные номера образцов глин

Таблица 1

Изменение показателей состава и свойств незасоленных сарматских глин при диффузионном выщелачивании

Показатели состава и свойств	Образцы, не содержащие пирит, $N = 20$	Характер изменения	Образцы, содержащие пирит, $N = 10$	Характер изменения
1	2	3	4	5
Микроагрегатный состав, %				
песок (>0,05 мм)	$\frac{12,1}{10,2}$	–1,9	$\frac{7,6}{8,6}$	+1,0
пыль (0,05…0,005 мм)	$\frac{57,2}{43,4}$	–13,8	$\frac{56,4}{56,2}$	–0,2
глина (<0,005 мм)	$\frac{30,8}{46,4}$	+15,6	$\frac{36,1}{35,2}$	–0,9

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Коэффициент агрегированности дисперсной фракции	$\frac{1,97}{1,32}$	–0,65	$\frac{1,93}{1,95}$	+0,02
Минерализация (по сухому остатку), г/100 г сух. пор.	$\frac{0,17}{0,13}$	–0,04	$\frac{0,19}{0,11}$	–0,08
Катионы, г/100 г сух. пор.				
$K^+ + Na^+$	$\frac{0,040}{0,009}$	–0,031	$\frac{0,029}{0,014}$	–0,15
Ca^{+2}	$\frac{0,015}{0,014}$	–0,001	$\frac{0,016}{0,015}$	–0,01
Mg^{+2}	$\frac{0,009}{0,008}$	–0,001	$\frac{0,008}{0,006}$	–0,002
Анионы, г/100 г сух. пор.				
Cl^-	$\frac{0,013}{0,009}$	–0,004	$\frac{0,010}{0,006}$	–0,004
SO_4^{-2}	$\frac{0,076}{0,026}$	–0,050	$\frac{0,090}{0,028}$	–0,062
HCO_3^-	$\frac{0,054}{0,052}$	–0,002	$\frac{0,056}{0,065}$	+0,009
Содержание гипса, %	$\frac{0,15}{0,11}$	–0,04	$\frac{0,13}{0,41}$	+0,28
Карбонатность, %	$\frac{9,54}{8,47}$	–1,07	$\frac{14,11}{15,60}$	+1,49
Аморфный кремнезем, %	$\frac{0,68}{0,61}$	–0,07	$\frac{0,49}{0,68}$	+0,19
Содержание обменных катионов, мг-экв /100 г сух. пор.				
K^+	$\frac{0,34}{0,41}$	+0,07	$\frac{0,46}{0,50}$	+0,04
Na^+	$\frac{1,29}{0,38}$	–0,81	$\frac{1,31}{0,75}$	–0,56
Ca^{+2}	$\frac{8,25}{10,41}$	+2,16	$\frac{9,22}{11,23}$	+2,01

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Mg^{+2}	$\frac{8,64}{8,14}$	–0,05	$\frac{7,75}{6,99}$	–0,76
Природная влажность W	$\frac{0,23}{0,44}$	+0,21	$\frac{0,31}{0,52}$	+0,21
Влажность предела текучести W_L	$\frac{0,49}{0,52}$	+0,03	$\frac{0,58}{0,58}$	0
Влажность предела раскатывания W_p	$\frac{0,24}{0,25}$	+0,01	$\frac{0,28}{0,30}$	+0,02
Число пластичности J_p	$\frac{0,25}{0,27}$	+0,02	$\frac{0,29}{0,29}$	0
Пористость n, %	$\frac{39,4}{53,6}$	+14,2	$\frac{45,2}{58,4}$	+13,2
Коэффициент пористости e	$\frac{0,65}{1,19}$	+0,54	$\frac{0,89}{1,43}$	+0,54
Плотность $\rho, \frac{г}{см^3}$	$\frac{2,04}{1,80}$	–0,24	$\frac{1,94}{1,68}$	–0,26
Плотность «сухого» грунта $\rho_d, \frac{г}{см^3}$	$\frac{1,67}{1,26}$	–0,41	$\frac{1,50}{1,11}$	–0,39
Показатель текучести J_L	$\frac{0,10}{0,73}$	+0,63	$\frac{0,18}{0,83}$	+0,65
Коэффициент естественной уплотненности K_d	$\frac{1,03}{0,31}$	–0,72	$\frac{0,91}{0,47}$	–0,44
Свободное набухание ε_{sw}	$\frac{0,13}{0,14}$	+0,01	$\frac{0,13}{0,12}$	–0,01
Удельное сцепление, $c \times 10^5$ Па	$\frac{1,32}{0,39}$	–0,93	$\frac{1,08}{0,47}$	–0,61
Угол внутреннего трения φ, град	$\frac{16,6}{15,0}$	–1,6	$\frac{13,0}{12,7}$	–0,3
Удельное сопротивление пенетрации, $P_m \times 10^5$ Па	$\frac{5,27}{0,20}$	–5,07	$\frac{4,62}{0,28}$	–4,34
Срезающее усилие, $\tau_{0,1} \times 10^5$ Па	$\frac{1,31}{0,67}$	–0,64	$\frac{1,29}{0,66}$	–0,63

Примечание: в числителе — среднее значение до диффузионного выщелачивания, в знаменателе — после выщелачивания; «+» — значение показателя увеличилось на указанную величину, «–» — уменьшилось, «0» — осталось без изменений.

Содержание гипса. Количество гипса в морских глинистых породах обусловлено: первичного — наличием его в морской воде при седиментации; вторичного — окислением пирита при выветривании (выщелачивании) в постседиментационный период. До выщелачивания сарматских глин содержание гипса у них было примерно одинаковое 0,12…0,15 %. В выщелоченных образцах его содержание уменьшилось на одну треть только у глин, не содержащих пирита, у других его содержание увеличилось в несколько раз за счет образования и накопления в породе вторичного гипса.

Содержание карбонатов. Изменение содержания карбонатов подчиняется зависимости, выявленной для гипса: у образцов глин, не содержащих в исходном состоянии пирита, их количество уменьшается на 10…20 %, у образцов, имеющих в своем составе пирит, количество карбонатов увеличивается на 10…30 %.

Влажность. При выщелачивании образцов сарматских глин влажность увеличивается в 1,2…2 раза: несколько больше у образцов, не имеющих в своем составе пирита, и несколько меньше для образцов, содержащих пирит. Такое изменение влажности обуславливается большей предрасположенностью первых к набуханию.

Плотность «сухого» грунта при выщелачивании всех образцов уменьшилось на 10…30 %, что является следствием их разуплотнения и набухания. В целом плотность «сухого» грунта у образцов, имеющих пирит, после выщелачивания оказалось несколько меньше (1,05…1,25 г/см^3), чем у других глин (1,20…1,30 г/см^3), что является следствием более активного разуплотнения глины, при химических реакциях связанных с образованием новых солей, в том числе гипса и карбонатов за счет окисления пирита.

Прочность. В целом прочность всех изученных образцов глин уменьшилась: до 2° по углу внутреннего трения и от 2 до 5 раз по удельному сцеплению. Для оценки степени влияния обводнения на прочностные характеристики глинистых пород А. М. Монюшко было предложено использовать понятие «коэффициент устойчивости» к обводнению как отношение значения показателя прочности выщелоченного образца к показателю прочности образца природной влажности [5]. Значение этого показателя для сарматских глин, не имеющих пирита составляет: 0,32 — по удельному сцеплению и 0,61 — по углу внутреннего трения; а для образцов, имеющих включения пирита, 0,51 и 0,74 соответственно (по средним значениям).

На рис. 2 приведены корреляционные зависимости коэффициентов устойчивости к обводнению сарматских глин в зависимости от показателей их состава и свойств для глин, не имеющих включения пирита, и для глин с пиритом. Приведенные данные свидетельствуют о том, что незасоленные образцы сарматских глин, содержащие пирит, более устойчивые к обводнению, чем другие образцы сарматских глин. Данный факт вполне объясним, так как прочность глинистых пород при прочих равных условиях (влажности и плотности) в значительной степени зависит от характера структурных связей между грунтовыми частицами и степени агрегированности грунта. У образцов, не содержащих пирит, при выщелачивании происходит диспергация грунта и уменьшается его агрегированность. А у образцов, имеющих пирит, при выщелачивании образуются новые химические соединения: гипс, аморфный кремнезем, окислы железа и другие, способствующие вторичной агрегации грунтовых частиц.

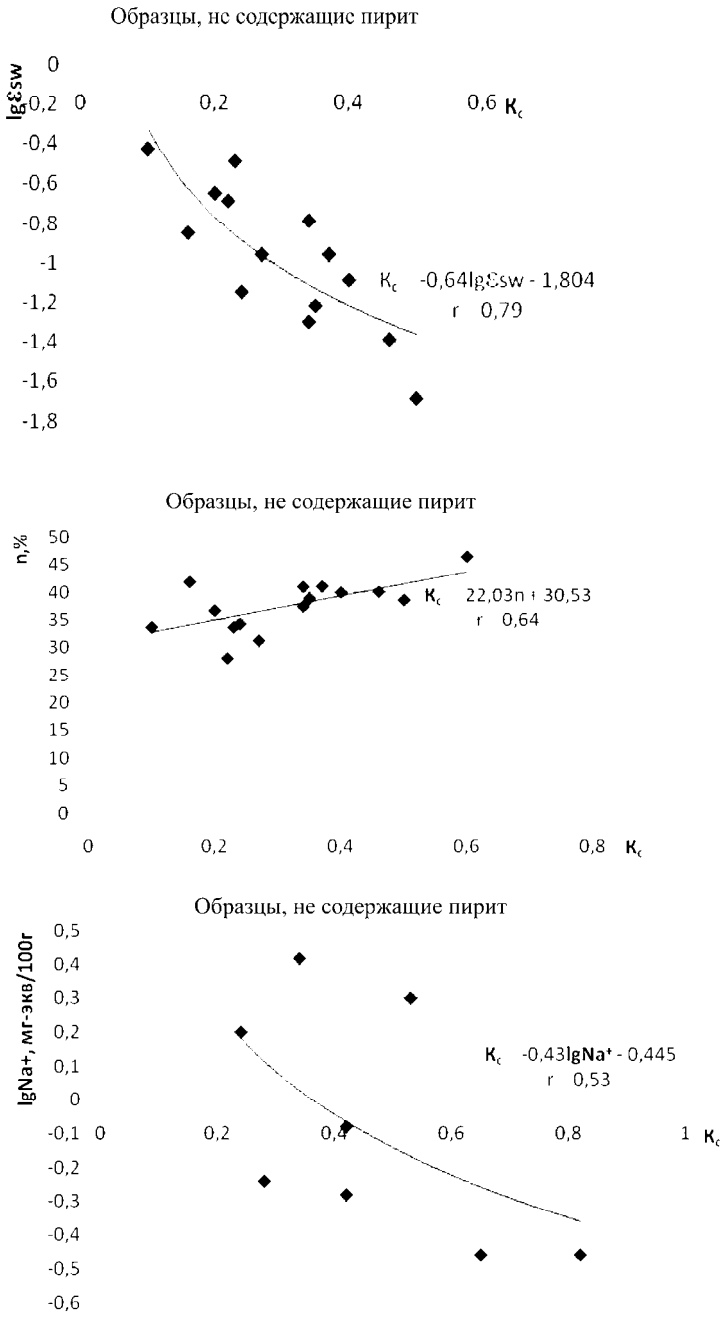


Рис. 2. Графики зависимости коэффициентов устойчивости незасоленных сарматских глин к обводнению K_c и K_φ от показателей состава и свойств *n*, ε*sw*, Na+

В табл. 2 приведены данные, характеризующие особенности изменения состава и свойств *незасоленных* сарматских глин и глинистых пород иной степени засоления (по публикациям других авторов). Анализ особенностей изменения состава и свойств *незасоленных* и *засоленных* глинистых пород при диффузионном выщелачивании показывает, что незасоленные сарматские глины, не имеющие

в своем составе пирита, по характеру химических преобразований и количественному изменению показателей состава и свойств при диффузионном выщелачивании близки к засоленным четвертичным глинистым породам различного генезиса, а не засоленные сарматские глины, содержащие пирит, по аналогичным показателям близки к засоленным морским глинам различного возраста, одинаковой степенью дисперсности и агрегированности глинистой фракции. В целом, первые являются менее устойчивые (более чувствительные) к обводнению, за счет большего их увлажнения, более существенного изменения степени дисперсности и значительного уменьшения агрегированности дисперсной фракции. Изменение показателей прочности для них составляет до 2 раз — по углу внутреннего трения и до 4…5 раз — по удельному сцеплению, для вторых эти показатели равны 1,5 раза и до 2…3 раз соответственно.

Таким образом, выводы Н. П. Затенацкой об особенностях выщелачивания незасоленных сарматских глин относительно засоленных пород, являются преждевременными и не достаточно обоснованными, что подтверждается вышеприведенными результатами исследований.

Таблица 2

Основные особенности изменения состава и свойств глинистых пород различного возраста, генезиса и степени засоления при диффузионном выщелачивании

Показатели состава и свойств	Незасоленные сарматские глины		Неогеновые морские засоленные глины [2, 5]	Четвертичные полигенетические засоленные глинистые породы [2, 5]
	не содержащие пирит	содержащие пирит		
Содержание дисперсной (менее 0,005 мм фракции), % (микроагрегатный анализ)	Увеличивается в среднем в 1,5 раза	Незначительно изменяется в обе стороны	Незначительно увеличивается	Незначительно увеличивается
Коэффициент агрегированности дисперсной (менее 0,005 мм) фракции	Значительно уменьшается, достигая значения K = 1,3…1,4	Незначительно изменяется в обе стороны, оставаясь на уровне K = 2	Незначительно уменьшается, достигая минимума K = 1,05	Значительно уменьшается, достигая значения K = 4,0…6,0
Содержание водорастворимых солей, %	Уменьшается в среднем на 20 %	Уменьшается в среднем на 40 %	Уменьшается в среднем в 3 раза	Уменьшается в среднем в 2,5 раза
Степень выщелоченности на конец опыта (средняя)	Более 0,40	Менее 0,40	Более 0,40	Более 0,40
Содержание гипса, %	Уменьшается в среднем в 1,5 раза	Увеличивается в несколько раз	Увеличивается в среднем в 2,0 раза	Уменьшается в среднем в 1,5 раза
Содержание карбонатов, %	Уменьшается на 10…20 %	Увеличивается на 10…30%	Увеличивается на 20…30%	Уменьшается в 1,5…2,0 раза
Влажность	Увеличивается в 1,5…2,0 раза	Увеличивается в 1,2…1,5 раза	Незначительно изменяется в обе стороны	Увеличивается в среднем в 1,5 раза

Окончание табл. 2

Показатели состава и свойств	Незасоленные сарматские глины		Неогеновые морские засоленные глины [2, 5]	
	не содержащие пирит	содержащие пирит		
Плотность «сухого» грунта, г/см^3	Уменьшается на 10…20 % до значений p_d = 1,20…1,30	Уменьшается на 20-30% до значений p_d = 1,05…1,25	Уменьшается в среднем на 25 % до значений p_d=1,20…1,40	Уменьшается в среднем на 10 % до значений p_d = 1,40…1,50
Угол внутреннего трения, град	Уменьшается на 1…2 °	Уменьшается незначительно	Уменьшается в среднем в 1,5 раза	Уменьшается в 1,5…2,0 раза
Удельное сцепление, МПа	Уменьшается в 4…5 раз	Уменьшается в 2…3 раза	Уменьшается в 1,5…2 раза	Уменьшается в 4…5 раз

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Богомолов А. Н., Олянский Ю. И.* Инженерно-геологические особенности сарматских глин южной окраины Русской платформы. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. — 162 с.

2. *Затенацкая Н. П.* Закономерности формирования свойств засоленных глин. М. : Наука, 1985. 145 с.

3. *Монюшко А. М., Олянский Ю. И.* Инженерно-геологические особенности сармат-меотических глин Молдовы. Кишинев : Штиинца, 1991. 172 с.

4. Оценка устойчивости сармат-меотических глин к длительному обводнению / Ю. И. Олянский и др. // Геоэкология. 2009. № 1. С. 62—68.

5. *Пахомов С. И., Монюшко А. Н.* Инженерно-геологические аспекты изменения свойств глин. — М. : Наука, 1988. — 119 с.

1. *Bogomolov A. N., Olyanskiy Yu. I.* Inzhenerno-geologicheskie osobennosti sarmatskikh glin yuzhnoy okrainy Russkoy platformy. — Volgograd : VolgGASU, 2011. 162 s.

2. *Zatenatskaya N. P.* Zakonomernosti formirovaniya svoystv zasolennykh glin. M. : Nauka, 1985. 145 s.

3. *Monyushko A. M., Olyanskiy Yu. I.* Inzhenerno-geologicheskie osobennosti sarmat-meoticheskikh glin Moldovy. Kishinev : Shtiintsa, 1991. 172 s.

4. Otsenka ustoychivosti sarmat-meoticheskikh glin k dlitel'nomu obvodneniyu / Yu. I. Olyanskiy i dr. // Geoekologiya. 2009. № 1. S. 62—68.

5. *Pakhomov S. I., Monyushko A. N.* Inzhenerno-geologicheskie aspekty izmeneniya svoystv glin. — M. : Nauka, 1988. — 119 s.

© Богомолов А. Н., Олянский Ю. И., Шиян С. И., Чарыкова С. А., Кузьменко И. Ю., 2013

Поступила *в редакцию*
в ноябре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Особенности изменения состава и физико-механических свойств незасоленных и засоленных глинистых пород при диффузионном выщелачивании / А. Н. Богомолов, Ю. И. Олянский, С. И. Шиян, С. А. Чарыкова, И. Ю. Кузьменко // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 71—79.

УДК 624.15: 69.059.32

А. В. Савинов

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВДАВЛИВАЕМЫХ СВАЙ ПО ПРЕДЕЛЬНОМУ УСИЛИЮ ПОГРУЖЕНИЯ

Выполнен анализ нормативной и научной литературы, содержащей рекомендации по оценке несущей способности вдавливаемых свай F_d по величине предельного усилия погружения F_{Pr}. Рассмотрены геотехнические факторы, вызывающие низкую точность предложенных зависимостей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: свайное усиление фундамента, свайный ростверк, вдавливаемая (домкратом) свая, несущая способность сваи, предельная несущая способность сваи, трубчатая сталебетонная свая, коэффициент внутреннего трения, «отдых» свай, «отказ» сваи, грунт водонасыщенный.

The analysis of standard and scientific literature containing recommendations on estimation of bearing capacity of jack piles Fd in size of limit effort of penetration Fpr is carried put. The geotechnical factors causing low accuracy of offered dependences are considered.

K e y w o r d s: pile strengthening of the foundation, pile grid, jack pile, pile load capacity, limit bearing capacity of a pile, tubular steel-concrete pile, internal friction coefficient, «rest» of piles, pile «refusal», water-saturated soil.

Изучением работы в грунте на вертикальную нагрузку свай, погружаемых вдавливанием, занимались многие специалисты, однако единое мнение по вопросу влияния вдавливания свай на их несущую способность не сложилось и публикуемые результаты достаточно противоречивы. На сегодняшний день нормами допускается определение расчетных нагрузок на вдавливаемые сваи по табл. СНиП 2.02.03—85, СП 50-102—2003 и т. д. только для предварительных расчетов и предписывается итоговое статическое испытание контрольных свай [1, 2, 3] или предпроектное испытание статической нагрузкой эталонных и натурных свай [4, 5], что свидетельствует о необходимости уточнения расчетных величин.

Предельное усилие вдавливания F_{Pr} определяется по несущей способности F_d [1] и обладает той же степенью достоверности.

Статические испытания погруженных вдавливанием свай на нескольких площадках г. Саратова показали низкую сходимость экспериментальных значений несущей способности таких свай с расчетными величинами, полученными по методике СНиП 2.02.03—85. Наибольшие расхождения отмечены для коротких свай малого поперечного сечения, выполненных с полным вытеснением грунта в их объеме.

Наиболее простым и надежным способом представляется оценка несущей способности F_d по величине предельного усилия вдавливания F_{Pr}, регистрируемого при опытном или производственном погружении свай. Однако и здесь данные о соотношении величин F_{Pr}/F_d достаточно противоречивы. Сведем имеющуюся в технических и нормативных источниках информацию для оснований, сложенных глинистыми грунтами, в единую табл. [6].

Из табл. видно, что диапазон изменения соотношения F_{Pr}/F_d слишком велик и требует дальнейшего уточнения. Остановимся на некоторых причинах, которые могли привести к столь значительному (0,65…2,0) разбросу значений соотношения F_{Pr}/F_d .

Соотношение параметров предельного усилия погружения F_{Pr} и несущей способности F_d вдавливаемых свай

Нормативный документ или фамилия исследователя	Источник информации	Соотношение параметров F_{Pr} / F_d	Особые условия применения
Английские нормы	[7]	1,5	Для железобетонных свай «Мега»
Венгерские нормы	[8]	до 2,0	
Финские нормы	[12]	1,8	
Французские нормы	[7]	1,30…1,35	
Методические рекомендации по технологии погружения свай вдавливанием	[5]	1,0	При $I_L \geq 0{,}30$
РТМ 36.44.12.2—90	[2]	1,40…1 / ($k_t k_v$)	Для железобетонных многосекционных свай
СП 50-102—2003	[1]	1,2 при $k_v \leq 3$ м/мин	При достижении проектной отметки
ТСН 50-302—2004	[4]	1,10 0,80 0,60 0,55	При $I_L = 0{,}2$; При $I_L = 0{,}2…0{,}3$; При $I_L = 0{,}3…0{,}5$; При $I_L = 0{,}6…0{,}8$;
Э. М. Гендель	[11]	1,15…1,20	Для стальных трубчатых свай
Б. В. Гончаров	[9]	0,85 0,80 0,65	При $I_L = 0{,}15…0{,}2$; При $I_L = 0{,}2…0{,}3$; При $I_L = 0{,}5…0{,}6$
П. А. Коновалов	[7], [12]	1,5	—
Е. В. Светинский	[10]	1,0	—

Рассмотрим некоторые факторы, влияющие на достоверность оценки предельного усилия вдавливания F_{Pr} и несущей способности F_d свай.

Влияние конструкции и материала вдавливаемой сваи на величину усилия погружения. В статье [13] выполнен анализ влияния на величину сопротивления по боковой поверхности свай при погружении только одного параметра, называемого обычно коэффициентом трения материала сваи по грунту tgψ. При рассмотрении не учитывались различные конструктивные и технологические факторы, существенно влияющие на интегральную величину tgψ: конструкция стыков многосекционных свай; наличие предварительно изготовленного ростверка или силовой плиты; форма, угол заострения, соотношение диаметров ствола и нижнего конца сваи и пр.

Обзор источников показал, что по экспериментальным данным различных авторов коэффициенты трения «бетона по глинистому грунту» могут изменяться в очень широком диапазоне значений в зависимости от типа

фундамента, генезиса, влажности и консистенции грунтов: от $tg\psi = 0,25$ и $tg\psi = 0,20$ соответственно для неуплотненных суглинков и глин в пластичном ($I_L \geq 0,25$) состоянии при гладкой бетонной поверхности подошвы фундамента [14] до $tg\psi = 0,67$ для жесткой бетонной смеси на мелком щебне при сдвиге по поверхности глинистой пасты различной консистенции [15].

Не меньший разброс величин коэффициента $tg\psi$ отмечается и для стальных свай: от высоких значений коэффициента «грунт по грунту», формирующихся за счет угла внутреннего трения полутвердых глин $tg\psi = tg\varphi_I$, до минимальных значений $tg\psi = 0,15…0,17$ ($\psi = 8,53…9,65^o$) для суглинков легких и пылеватых при $w = 0,21…0,23$, связанных с появлением на поверхности контакта свободной воды, служащей смазкой для трущихся поверхностей [16].

Таким образом, в глинистых отложениях коэффициент трения по боковой поверхности вдавливаемых свай изменяется в широком диапазоне и определяется наименьшим из значений, обусловленных углом внутреннего трения грунта нарушенной структуры φ_0 или углом трения материала сваи по грунту ψ, в том числе с учетом водяной «рубашки» [13]. Соответственно в столь же широком диапазоне может изменяться и предельное усилие погружения F_{Pr}.

Наличие «ложных отказов». При фиксации предельного усилия вдавливания F_{Pr}, регистрируемого при погружении свай, следует учитывать возможность проявления «ложных отказов». По нашему мнению, «отказом» при погружении методом вдавливания может считаться регламентируемая величина погружения сваи, мм, при приложении расчетной вдавливающей нагрузки F_{Pr}, кН, за некоторый контрольный промежуток времени, мин (минимальная скорость погружения в мм/мин), или полное прекращение погружения сваи при достижении максимального усилия, развиваемого сваевдавливающей установкой. Вместе с тем при погружении нижнего конца свай в вертикально трещиноватые водонасыщенные плотные альбские глины с прочными цементационными связями между частицами скелета грунта и очень низкими коэффициентами горизонтальной фильтрации нами многократно отмечалось наличие «ложных отказов». После прекращения погружения сваи при достижении максимального усилия установки («отказ» сваи) оборудование использовалось для погружения следующих свай (с достижением аналогичных «отказов») и возвращалось на опытную сваю через промежуток времени от 8 часов до 3 суток. При приложении нагрузки, меньшей достигнутой ранее при «отказе», происходил «срыв» и допогружение сваи на величину до нескольких десятков сантиметров с последующим достижением нового «отказа». Такое «додавливание» сваи могло проводиться неоднократно, каждый раз на достаточно значительную, постепенно уменьшающуюся величину. Мы объяснили это специфическими, хотя и широко распространенными в центральной части г. Саратова, особенностями геологического строения площадки. Уплотнение околосвайного массива такого грунта вокруг острия сваи происходит, в основном, за счет ликвидации вертикальной трещиноватости породы. Это приводит к резкому снижению скорости фильтрации вытесняемой из-под острия сваи свободной поровой воды по трещинам породы и вызывает упругий отпор, для преодоления которого не хватает усилия погружения установки. Вместе с тем фильтрация воды из зоны с высоким

гидравлическим градиентом продолжается и через некоторое время поровое давление под нижним концом уменьшается, что позволяет дополнительно погрузить сваю [17]. Таким образом, при ложном «отказе» фиксируется завышенное значение усилия F_{Pr}, а несущая способность F_d оказывается заниженной, так как сваю не удалось погрузить до проектной отметки.

Влияние предварительно изготовленного ростверка или силовой плиты. В условиях реконструкции для обеспечения возможности погружения свай усиления из подвалов зданий часто приходится использовать дополнительные силовые элементы в виде предварительно изготовленных железобетонных балок с последующей заливкой бетонных полов после погружения свай (вариант 1) или в виде сплошной монолитной плиты (вариант 2). Через технологические отверстия в балках или плите производится вдавливание необходимого по несущей способности количества идентичных свай. Экспериментальные исследования показали, что при близких показателях по стоимости и трудозатратам на устройство вспомогательных конструкций по указанным вариантам ростверк в виде сплошной железобетонной плиты препятствует выпору грунта на поверхность при погружении свай, исключает возникающие за счет выпора потери расчетного сопротивления основания по их боковой поверхности (после «отдыха») и в результате позволяет сэкономить каждую 4…6 сваю [18]. Конструкция ростверков не учитывается, как правило, при оценке анализируемых параметров F_{Pr} и F_d.

«Отдых» сваи. После окончания вдавливания сваи в окружающем грунте начинают развиваться два противоположных процесса. С одной стороны, происходит восстановление нарушенных водно-коллоидных связей («засасывание» сваи), с другой — релаксация горизонтальных напряжений вокруг погруженной сваи. Только при завершении в околосвайном массиве фильтрационных, релаксационных, консолидационных, тиксотропных и других процессов «отдых» считается законченным и может быть получена «истинная» несущая способность сваи по грунту по результатам статических испытаний.

Экспериментально установлено, что увеличение несущей способности забивных свай, погруженных в супеси, практически заканчивается спустя восемь суток, в суглинках — через 15…20 суток, а в глинах этот процесс может продолжаться 30 и более суток. При этом в мягкопластичных глинистых грунтах несущая способность свай длиной 6…12 м при времени «отдыха» в 45 суток в 2,5 раза выше первоначальной и в 1,4…1,5 раза выше той, которая была при рекомендуемом ГОСТ 5686—94 «отдыхе» в шесть суток [19]. Сходные закономерности характерны и для вдавливаемых свай при несколько меньших сроках «отдыха».

Следовательно, статические испытания аналогичных свай в идентичных грунтовых условиях могут показать различную несущую способность F_d при отличающихся сроках «отдыха», что вряд ли учитывалось разработчиками рекомендаций.

Методика включения свай в работу в составе усиливаемого фундамента. При использовании многосекционных свай для усиления реконструируемых и аварийных фундаментов часто возникает необходимость включения свай в работу сразу после погружения либо после «отдыха», но с передачей полной расчетной нагрузки, исключив стадию постепенного восприятия нагрузок при дополнительных осадках здания. Как отмечает П. А. Коновалов [12], нет

единой точки зрения на значение усилия, которое требуется передать на сваю перед включением ее в совместную работу с сооружением.

По финским ТУ [12] сваи «Мега» погружают до усилия F_{Pr}, в 1,8 раза превышающего расчетную нагрузку, и фиксируют под этой нагрузкой. Перед омоноличиванием узла сваю обжимают расчетной нагрузкой. Суммарная осадка сваи за пять обжатий не должна превышать 10 мм.

Э. М. Генделем [11] указывается, что «когда свая упрется в плотный грунт и давление на нее превысит расчетное на 10 %, ее разгружают и определяют упругую отдачу. При повторных нагружениях добиваются того, чтобы упругая отдача от расчетной нагрузки соответствовала размеру осадки, определяя по графику место, где образуется резкий перегиб осадки. Эта точка показывает на нормативное сопротивление сваи. Если свая упирается в плотный грунт, то при осадке, равной упругой отдаче, выдержка нагрузки по времени не обязательна».

В нормативной и научной литературе встречаются и другие рекомендации по технологии включения в работу свай усиления и величине передаваемой на них расчетной нагрузки. Многообразие методик объясняется большими различиями в конструкции свай (бетонные или металлические с податливыми или жесткими стыками), головных элементов и условий передачи реактивных усилий (погружение из-под подошвы фундамента, с упором в распределительную железобетонную плиту и др.), степенью аварийности реконструируемого здания и допустимой величиной дополнительной осадки после усиления, характером распределения несущей способности между боковой поверхностью и нижним концом сваи (длинная висячая или короткая, опертая на прочные малосжимаемые грунты) и т. д.

При таком обилии конструктивных особенностей и возможных условий применения не может быть единых рекомендаций по порядку и способу включения в работу свай усиления. Поэтому разработчики различных нормативных документов могут существенно завышать усилие погружения или занижать несущую способность сваи, чтобы учесть соответствующую специфику включения ее в состав конструкции усиления.

Приведенные примеры показывают, что значения предельного усилия вдавливания F_{Pr} и несущей способности F_d свай зависят от многих факторов. Только детальное изучение процессов, происходящих в конкретных грунтах при вдавливании свай различных конструкций из разных материалов, с использованием вспомогательных силовых элементов, при различных сроках «отдыха» под нагрузкой и без нее, специфических условиях включения в работу в составе конструкций усиления фундаментов позволит специалистам принять грамотное инженерное решение по назначению несущей способности свай по грунту F_d , в том числе и по величине усилия вдавливания F_{Pr}.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 50-102—2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов : свод правил по проектир. и стр-ву. — М. : Госстрой России, 2003. — 82 с.

2. РТМ 36.44.12.2—90. Проектирование и устройство фундаментов из свай, погружаемых способом вдавливания. — СПб. : ВНИИГС Минстроя РФ, 1992. — 46 с.

3. ВСН 16—84. Инструкция по усилению фундаментов аварийных и реконструированных зданий многосекционными сваями. — М. : Минпромстрой СССР, 1984. — 34 с.

4. ТСН 50-302—2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге : территориальные строительные нормы. — СПб., 2004.

5. Методические рекомендации по технологии погружения свай вдавливанием : одобр. Уч. советом НИИСП Госстроя УССР ; протокол № 11 от 24.11.87. — Киев : НИИСК Госстроя УССР, 1988. — 51 с.

6. *Савинов А. В.* Применение свай, погружаемых вдавливанием, для усиления и устройства фундаментов в условиях реконструкции исторической застройки г. Саратова. — Саратов : СГТУ, 2000. — 124 с.

7. Свайные фундаменты и заглубленные сооружения при реконструкции действующих предприятий / Е. М. Перлей, В. Ф. Раюк, В. В. Беленькая, А. Н. Алмазов. — Л. : Стройиздат, 1989. — 176 с.

8. *Ганичев И. А.* Устройство искусственных оснований и фундаментов. — М. : Стройиздат, 1981. — 543 с.

9. *Дударов В. К., Козлов Л. А.* Новый способ погружения свай // Новые конструкт. и технолог. решения по основаниям и фундаментам : сб. тр. Урал. политехнического ин-та. 1978. № 173. С. 78—86.

10. *Светинский Е. В.* Установка для вдавливания свай в грунт // Тр. ин-та НИИОСП. — М., 1975. Вып. 65. — С. 198—209.

11. *Гендель Э. М.* Инженерные работы при реставрации памятников архитектуры. — М. : Стройиздат, 1980. — 199 с.

12. *Коновалов П. А.* Основания и фундаменты реконструируемых зданий. — 4-е изд. — М. : ВНИИНТПИ, 2000. — 318 с.

13. *Савинов А. В.* Определение коэффициента трения материала на боковой поверхности вдавливаемых свай // Тр. междунар. науч. конф. «Фундаменты глубокого заложения и проблемы освоения подземного пространства». — Пермь : ПГТУ, 2011. — С. 181—189.

14. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01—83). — М. : Стройиздат, 1986. — 415 с.

15. *Лапшин Ф. К.* Расчет свай по предельным состояниям. — Саратов : Изд-во СГУ, 1979. — 152 с.

16. *Грязнов Т. А.* Оценка показателей свойств пород полевыми методами. — М. : Недра, 1984. — 197 с.

17. *Савинов А. В.* Анализ причин ложных «отказов» свай, погружаемых методом вдавливания // Актуальные проблемы проектирования и устройства оснований и фундаментов зданий и сооружений : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. — Пенза : ПензГУАиС, 2004. — С. 195—197.

18. *Савинов А. В.* Применение рациональных конструкций ростверков для повышения несущей способности свай малых сечений при усилении фундаментов реконструируемых зданий // Вестн. УГТУ-УПИ. Сер.: Строительство и образовании : сб. научн. тр. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. № 12 (83). — С. 129—131.

19. *Бартоломей А. А., Омельчак И. М., Юшков Б. С.* Прогноз осадок свайных фундаментов. — М. : Стройиздат, 1994. — 384 с.

1. SP 50-102—2003. Proektirovanie i ustroystvo svaynykh fundamentov : svod pravil po proektir. i str-vu. — M. : Gosstroy Rossii, 2003. — 82 s.

2. RTM 36.44.12.2—90. Proektirovanie i ustroystvo fundamentov iz svay, pogruzhaemykh sposobom vdavlivaniya. — SPb. : VNIIGS Minstroya RF, 1992. — 46 s.

3. VSN 16—84. Instruktsiya po usileniyu fundamentov avariynykh i rekonstruirovannykh zdaniy mnogosektsionnymi svayami. — M. : Minpromstroy SSSR, 1984. — 34 s.

4. TSN 50-302—2004. Proektirovanie fundamentov zdaniy i sooruzheniy v Sankt-Peterburge : territorial'nye stroitel'nye normy. — SPb., 2004.

5. Metodicheskie rekomendatsii po tekhnologii pogruzheniya svay vdavlivaniem : odobr. Uch. sovetom NIISP Gosstroya USSR ; protokol № 11 ot 24.11.87. — Kiev : NIISK Gosstroya USSR, 1988. — 51 s.

6. *Savinov A. V.* Primenenie svay, pogruzhaemykh vdavlivaniem, dlya usileniya i ustroystva fundamentov v usloviyakh rekonstruktsii istoricheskoy zastroyki g. Saratova. — Saratov : SGTU, 2000. — 124 s.

7. Svaynye fundamenty i zaglublennye sooruzheniya pri rekonstruktsii deystvuyushchikh predpriyatiy / E. M. Perley, V. F. Rayuk, V. V. Belen'kaya, A. N. Almazov. — L. : Stroyizdat, 1989. — 176 s.

8. *Ganichev I. A.* Ustroystvo iskusstvennykh osnovaniy i fundamentov. — M. : Stroyizdat, 1981. — 543 s.

9. *Dudarov V. K., Kozlov L. A.* Novyy sposob pogruzheniya svay // Novye konstrukt. i tekhnolog. resheniya po osnovaniyam i fundamentam : sb. tr. Ural. politekhnicheskogo in-ta. 1978. № 173. S. 78 — 86.

10. *Svetinskiy E. V.* Ustanovka dlya vdavlivaniya svay v grunt // Tr. in-ta NIIOSP. — M., 1975. Vyp. 65. — S.198—209.

11. *Gendel' E. M.* Inzhenernye raboty pri restavratsii pamyatnikov arkhitektury. — M. : Stroyizdat, 1980. — 199 s.

12. *Konovalov P. A.* Osnovaniya i fundamenty rekonstruiruemykh zdaniy. — 4-e izd. — M. : VNIINTPI, 2000. — 318 s.

13. *Savinov A. V.* Opredelenie koeffitsienta treniya materiala na bokovoy poverkhnosti vdavlivaemykh svay // Tr. mezhdunar. nauch. konf. «Fundamenty glubokogo zalozheniya i problemy osvoeniya podzemnogo prostranstva». — Perm' : PGTU, 2011. — S. 181—189.

14. Posobie po proektirovaniyu osnovaniy zdaniy i sooruzheniy (k SNiP 2.02.01—83). — M. : Stroyizdat, 1986. — 415 s.

15. *Lapshin F. K.* Raschet svay po predel'nym sostoyaniyam. — Saratov : Izd-vo SGU, 1979. — 152 s.

16. *Gryaznov T. A.* Otsenka pokazateley svoystv porod polevymi metodami. — M. : Nedra, 1984. — 197 s.

17. *Savinov A. V.* Analiz prichin lozhnykh «otkazov» svay, pogruzhaemykh metodom vdavlivaniya // Aktual'nye problemy proektirovaniya i ustroystva osnovaniy i fundamentov zdaniy i sooruzheniy : sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. — Penza : PenzGUAiS, 2004. — S. 195—197.

18. *Savinov A. V.* Primenenie ratsional'nykh konstruktsiy rostverkov dlya povysheniya nesushchey sposobnosti svay malykh secheniy pri usilenii fundamentov rekonstruiruemykh zdaniy // Vestn. UGTU-UPI. Ser.: Stroitel'stvo i obrazovanii : sb. nauchn. tr. — Ekaterinburg : GOU VPO UGTU-UPI, 2006. № 12 (83). — S. 129—131.

19. *Bartolomey A. A., Omel'chak I. M., Yushkov B. S.* Prognoz osadok svaynykh fundamentov. — M. : Stroyizdat, 1994. — 384 s.

© Савинов А. В., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Савинов А. В. Современные методы оценки несущей способности вдавливаемых свай по предельному усилию погружения // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 80—86.

УДК 539.3

Ю. В. Клочков, А. П. Николаев, Н. А. Гуреева

РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СМЕШАННОЙ ФОРМУЛИРОВКЕ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Излагается метод расчета грунтового основания с учетом физической нелинейности на основе метода конечных элементов (МКЭ) с реализацией шаговой процедуры нагружения. В качестве элемента дискретизации выбирается восьмиузловой шестигранник, узловыми варьируемыми параметрами которого являются компоненты шагового вектора перемещения и приращения напряжений на (j + 1)-м шаге нагружения. Применение смешанной формулировки МКЭ позволяет получать численные значения напряжений непосредственно в результате решения полученной системы линейных алгебраических уравнений без привлечения дополнительного программного модуля вычисления напряжений, необходимого, например, при использовании МКЭ в форме метода перемещений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: грунтовое основание, фундамент, метод конечных элементов, смешанная формулировка, шестигранный восьмиузловой конечный элемент, пластическое деформирование.

The method of calculation of the soil foundation taking into account physical nonlinearity on the basis of finite elements method (FEM) with realization of step-by-step procedure of loading is presented in the article. As a sampling element the eight-node hexagon is chosen. Its node varied parameters are the components of step-by-step vector of displacement and voltage increment by (j + 1)-m loading step. Application of FEM mixed formulation allows receive numerical values of tension directly as the result of the solution of received system of linear algebraic equations without the attraction of additional program module of calculation of tension necessary, for example, when using FEM in the form of displacement method.

K e y w o r d s: soil foundation, basement, finite elements method, mixed formulation, six-sided eight-node final element, plastic strain.

Надежная и долговечная эксплуатация зданий и сооружений в решающей степени зависит от точности определения напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «фундамент — основание» [1]. Современное развитие компьютерной техники позволяет эффективно использовать для решения поставленной задачи численные методы решения, в частности метод конечных элементов (МКЭ).

В подавляющем большинстве грунтовые основания необходимо рассматривать как пластически деформирующую среду с широким диапазоном изменения прочностных характеристик.

В связи с этим актуальной остается задача совершенствования методик физически нелинейного расчета грунтовых оснований с применением современных вычислительных алгоритмов, скомпонованных на основе МКЭ в смешанной формулировке.

Основные соотношения механики грунтов. В произвольной точке грунтового основания в декартовой системе координат *oxyz* деформации определяются соотношениями Коши [2]

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x};\ \varepsilon_{yy} = \frac{\partial \nu}{\partial y};\varepsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z};$$

$$2\varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial \nu}{\partial x};\ 2\varepsilon_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}; \qquad (1)$$

$$2\varepsilon_{yz} = \frac{\partial \nu}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y},$$

где ε_{xx}, ε_{yy}, ε_{zz} — линейные деформации; ε_{xy}, ε_{xz}, ε_{yz} — деформации сдвига; u, ν, w — перемещения вдоль осей координат ox, oy, oz соответственно.

Соотношение (1) можно представить в матричном виде

$$\{\varepsilon\} = [L]\{u\}, \qquad (2)$$

где $\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_{xx}\varepsilon_{yy}\varepsilon_{zz}2\varepsilon_{xy}2\varepsilon_{xz}2\varepsilon_{yz}\}$; $\{u\}^T = \{u\nu w\}$; $[L]$ — матрица дифференциальных операторов.

Для выполнения расчета определяются опытные кривые зависимостей $\varepsilon_m = f(\sigma_m)$ и $\gamma_i = f(\tau_i;\sigma_m)$ (рис. 1, 2).

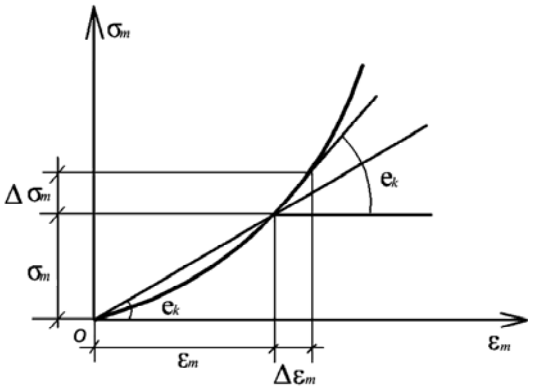


Рис. 1

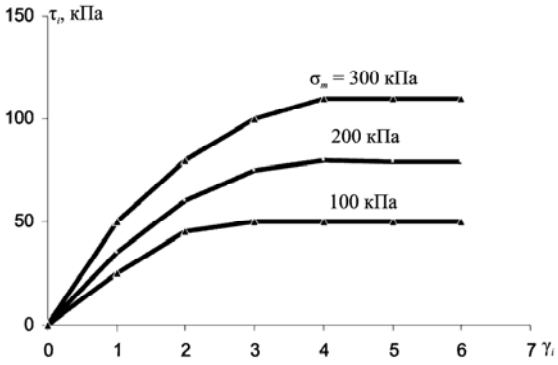


Рис. 2

Среднее напряжение σ_m, средняя деформация ε_m, интенсивность касательных напряжений τ_i и интенсивность деформации сдвига γ_i определяются по формулам [3]

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}}{3}; \ \varepsilon_m = \frac{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}}{3}; \tag{3}$$

$$\tau_i = \frac{1}{\sqrt{6}}\left[\left(\sigma_{zz} - \sigma_{yy}\right)^2 + \left(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}\right)^2 + \left(\sigma_{zz} - \sigma_{xx}\right)^2 + 6\left(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zz}^2\right)\right]^{1/2} = \sqrt{I_2\left(D_\sigma\right)}; \tag{4}$$

$$\gamma_i = \sqrt{\frac{2}{3}}\left[\left(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}\right)^2 + \left(\varepsilon_{yy} - \varepsilon_{zz}\right)^2 + \left(\varepsilon_{zz} - \varepsilon_{xx}\right)^2 + 6\left(\varepsilon_{xy}^2 + \varepsilon_{xz}^2 + \varepsilon_{yz}^2\right)\right]^{1/2} = \sqrt{4I_2\left(D_\varepsilon\right)}, \tag{5}$$

где $I_2(D_\sigma)$ — второй инвариант девиатора напряжений ; $I_2(D_\varepsilon)$ — второй инвариант девиатора деформаций.

Ввиду нелинейности соотношений между напряжениями и деформациями при реализации МКЭ используется шаговый метод нагружения. Напряжения и деформации произвольной точки грунтового основания рассматриваются в трех состояниях (рис. 3): в исходном (точка *O*); после *j* шагов нагружения (точка *A*); после (*j* + 1)-го шага нагружения (точка *B*).

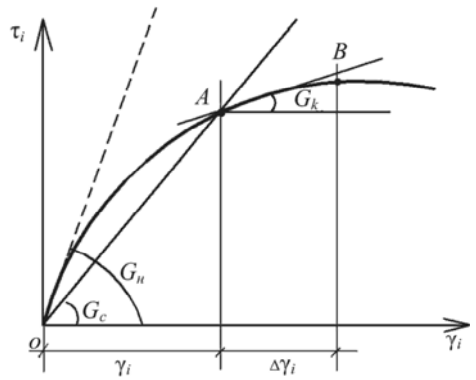


Рис. 3

Для получения зависимостей между деформациями и напряжениями используется гипотеза [2] о пропорциональности компонент девиатора деформаций компонентам девиатора напряжений

$$\varepsilon_{ij} - \delta_{ij}\varepsilon_m = \varphi\left(\sigma_{ij} - \delta_{ij}\sigma_m\right), \tag{6}$$

где δ_{ij} — символ Кронера.

Используя (4), (5), функцию φ можно определить выражением

$$\varphi = \frac{\gamma_i}{2\tau_i}. \tag{7}$$

Принимая гипотезу о пропорциональности компонент девиатора приращений деформации компонентом девиатора приращений напряжений, можно записать выражения

$$\Delta\varepsilon_{ij} - \delta_{ij}\Delta\varepsilon_m = \Psi\left(\Delta\sigma_{ij} - \delta_{ij}\Delta\sigma_m\right), \tag{8}$$

где $\Delta\varepsilon_{ij}$, $\Delta\sigma_{ij}$ — приращения деформаций и напряжений на (j + 1)-м шаге;

$$\Delta\varepsilon_m = \frac{\Delta\varepsilon_{xx} + \Delta\varepsilon_{yy} + \Delta\varepsilon_{zz}}{3};\ \Delta\sigma_m = \frac{\Delta\sigma_{xx} + \Delta\sigma_{yy} + \Delta\sigma_{zz}}{3};\ \psi = \frac{\Delta\gamma_i}{2\Delta\tau_i},$$

где $\Delta\tau_i = \sqrt{I_2\left(\Delta D_\sigma\right)}$; $I_2\left(\Delta D_\sigma\right)$ — второй инвариант девиатора приращений напряжений; $\Delta\gamma_i = \sqrt{4I_2\left(\Delta D_\varepsilon\right)}$; $I_2\left(D_\varepsilon\right)$ — второй инвариант девиатора приращений деформаций.

Используя (6) и (8), можно сформировать матричные соотношения, определяющие зависимости между деформациями и напряжениями после j шагов нагружения и зависимости между приращениями деформаций и приращениями напряжений на (j + 1)-м шаге нагружения.

$$\underset{6\times1}{\{\varepsilon\}} = \underset{6\times6}{\left[C^{\text{II}}\right]}\underset{6\times1}{\{\sigma\}}\quad \underset{6\times1}{\{\Delta\varepsilon\}} = \underset{6\times6}{\left[C^{\text{II}}_{\text{III}}\right]}\underset{6\times1}{\{\Delta\sigma\}}, \tag{9}$$

где $\{\sigma\}^T = \{\sigma_{xx}\sigma_{yy}\sigma_{zz}\sigma_{xy}\sigma_{xz}\sigma_{yz}\}$ — вектор-строка напряжений; $\left[C^{\text{II}}\right]$, $\left[C^{\text{II}}_{\text{III}}\right]$ — матрицы упруго-пластического деформирования; $\{\Delta\varepsilon\}^T = \{\Delta\varepsilon_{xx}\Delta\varepsilon_{yy}\Delta\varepsilon_{zz}2\Delta\varepsilon_{xy}2\Delta\varepsilon_{xz}2\Delta\varepsilon_{yz}\}$ — вектор-строка приращений деформаций; $\{\Delta\sigma\}^T = \{\Delta\sigma_{xx}\Delta\sigma_{yy}\Delta\sigma_{zz}2\Delta\sigma_{xy}2\Delta\sigma_{xz}2\Delta\sigma_{yz}\}$ — матрица-строка приращений напряжений.

Матрица деформирования шестигранного конечного элемента. В качестве дискретного элемента выбран объемный восьмиузловой элемент с узлами i, j, k, l, m, n, p, h (рис. 4). Узловыми неизвестными конечного элемента приняты приращения перемещений и приращения напряжений на (j + 1)-м шаге нагружения.

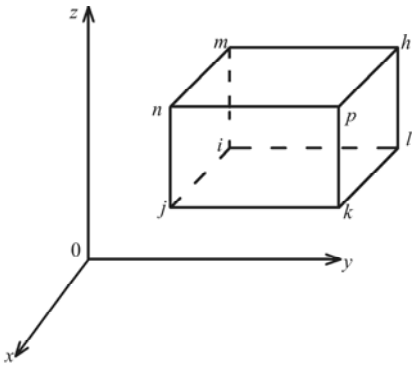


Рис. 4

Для выполнения численного интегрирования шестигранник отображается на куб (рис. 5), локальные координаты которого определяются неравенством $-1 \le \xi, \eta, \zeta \le 1$.

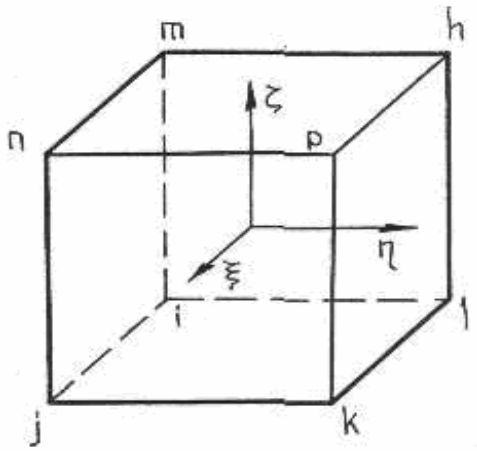


Рис. 5

Глобальные координаты x, y, z шестигранника аппроксимируются через локальные координаты трилинейными соотношениями

$$x = \{ f(\xi,\eta,\zeta)\}^T \{x_y\};\ y = \{ f(\xi,\eta,\zeta)\}^T \{y_y\};\ z = \{ f(\xi,\eta,\zeta)\}^T \{z_y\}, \qquad (10)$$

где $\{x_y\}^T = \{x^i x^j x^k x^l x^m x^n x^p x^h\};\ \{y_y\}^T = \{y^i y^j y^k y^l y^m y^n y^p y^h\};$

$\{z_y\}^T = \{z^i z^j z^k z^l z^m z^n z^p z^h\};\ f(\xi,\eta,\zeta)$ — матрица-строка функций формы.

Дифференцированием (10) определяются производные глобальных координат в локальной системе $x_{,\xi}, x_{,\eta}, x_{,\zeta}, y_{,\xi}, y_{,\eta}, y_{,\zeta}, z_{,\xi}, z_{,\eta}, z_{\zeta}$ и производные локальных координат в глобальной системе $\xi_{,x}, \xi_{,y}, \xi_{,z}, \eta_{,x}, \eta_{,y}, \eta_{,z}, \zeta_{,x}, \zeta_{,y}, \zeta_{,z}$.

Приращения перемещений и приращения напряжений внутренней точки конечного элемента аппроксимируются через их узловые значения также с помощью трилинейных функций формы [4] в матричном виде

$$\underset{3\times1}{\{\Delta U\}} = \underset{3\times24}{[A]} \underset{24\times1}{\{\Delta U_y\}};\ \underset{6\times1}{\{\Delta\sigma\}} = \underset{6\times48}{[S]} \underset{48\times1}{\{\Delta\sigma_y\}}, \qquad (11)$$

где $\{\Delta U_y\}^T = \{\Delta u^i \Delta u^j \Delta u^k \Delta u^l \Delta u^m \Delta u^n \Delta u^p \Delta u^h \Delta v^i \ldots \Delta v^n \Delta w^i \Delta w^h\};$

$$\{\Delta\sigma_y\}^T = \{\Delta\sigma^i_{xx}\ \Delta\sigma^j_{xx} \Delta\sigma^k_{xx} \Delta\sigma^l_{xx} \Delta\sigma^m_{xx} \Delta\sigma^n_{xx} \Delta\sigma^p_{xx} \Delta\sigma^h_{xx} \Delta\sigma^i_{yy} \ldots \Delta\sigma^n_{yy}\ \Delta\sigma^i_{yz} \ldots \Delta\sigma^h_{yz}\};$$

$$\underset{3\times24}{[A]} = \begin{bmatrix} \{f(\xi,\eta,\zeta)\}^T & \{0\}^T & \{0\}^T \\ \{0\}^T & \{f(\xi,\eta,\zeta)\}^T & \{0\}^T \\ \{0\}^T & \{0\}^T & \{f(\xi,\eta,\zeta)\}^T \end{bmatrix};$$

$$\{f\}^T \equiv \{f(\xi,\eta,\varsigma)\}^T;$$

$$\underset{6\times48}{[S]}=\begin{bmatrix} \{f\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T \\ \{o\}^T & \{f\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T \\ \{o\}^T & \{o\}^T & \{f\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T \\ \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{f\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T \\ \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{f\}^T & \{o\}^T \\ \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{o\}^T & \{f\}^T \end{bmatrix}.$$

С учетом (11) приращения деформаций выражаются через приращения узловых перемещений

$$\{\Delta\varepsilon\}=[L]\{u\}=[L][A]\{\Delta u_y\}=[B]\{\Delta u_y\}. \tag{12}$$

Для получения матрицы деформирования конечного элемента используется функционал, полученный на основе равенства на шаге нагружения возможных и действительных работ внешних и внутренних сил

$$\Pi_L \equiv \int_V \left[\{\sigma\}^T+\frac{1}{2}\{\Delta\sigma\}^T\right]\{\Delta\varepsilon\}\,dV-\int_V\{\Delta U\}^T\{F\}\,dV-$$

$$-\int_s\{\Delta U\}^T\left[\{p\}+\frac{1}{2}\{\Delta p\}\right]dS=0,$$

где V — объем деформируемого тела; S — площадь поверхности с заданной внешней нагрузкой; $\{p\}^T=\{p_1\ p_2\ p_3\}$, $\{\Delta p\}^T=\{\Delta p_1\ \Delta p_2\ \Delta p_3\}$ — векторы нагрузок после j-го и (j + 1)-го шагов нагружения; $\{F\}^T=\{F_1\ F_2\ F_3\}$ — массовые силы.

Заменим выражение действительной работы внутренних сил на шаге нагружения разностью их полной и дополнительной работ

$$\begin{aligned}&\frac{1}{2}\{\Delta\sigma\}^T\{\Delta\varepsilon\}=\{\Delta\sigma\}^T[L]\{\Delta U\}-\frac{1}{2}\varphi(\sigma)=\\&=\{\Delta\sigma\}^T[L]\{\Delta U\}-\frac{1}{2}\{\Delta\sigma\}^T\{C^{\Pi}\}\{\Delta U\}.\end{aligned} \tag{14}$$

С учетом (14) функционал (13) примет вид

$$\begin{aligned}&\Pi_L \equiv \int_s \underset{1\times6}{\{\Delta\sigma\}^T}\,L(\Delta U)\,dV-\frac{1}{2}\int_V \underset{1\times6}{\{\Delta\sigma\}^T}\underset{6\times6}{\{\Delta C_{\text{Ш}}^{\Pi}\}^T}\underset{6\times1}{\{\Delta\sigma\}}\,dV-\\&-\int_v \underset{1\times3}{\{\Delta U\}}\underset{3\times1}{\{F\}}\,dV-\int_s \underset{1\times3}{\{\Delta U\}^T}\underset{3\times1}{\{p\}}\,dS-\frac{1}{2}\int_s \underset{1\times3}{\{\Delta U\}}\underset{3\times1}{\{\Delta p\}}dS+\int_V \underset{1\times6}{\{\Delta\varepsilon\}^T}\underset{6\times1}{\{\sigma\}}dV=0.\end{aligned} \tag{15}$$

Функционал (15) с учетом (11 и 12) для отдельного конечного элемента на шаге нагружения принимает вид

$$\Pi_L \equiv \int_V \underset{1\times48}{\left\{\Delta\sigma_y\right\}^T} \int_V \underset{48\times6}{[S]^T} \underset{6\times24}{[B]} dV \underset{24\times1}{\left\{\Delta U_y\right\}} - \frac{1}{2}\int_V \underset{1\times48}{\left\{\Delta\sigma_y\right\}^T} \int_V \underset{48\times6}{[S]^T} \underset{6\times6}{\left[C_{\text{Ш}}^{\text{П}}\right]} \underset{6\times48}{[S]} dV \underset{48\times1}{\left\{\Delta\sigma_y\right\}} -$$
$$-\underset{1\times24}{\{\Delta u\}}\left(\int_V \underset{24\times3}{[A]^T} \underset{3\times1}{\{F\}} dV - \frac{1}{2}\int_s \underset{24\times3}{[A]} \underset{3\times1}{\{\Delta p\}} dS - \int_s \underset{24\times3}{[A]} \underset{3\times1}{\{p\}} dS\right) + \underset{1\times24}{\left\{\Delta U_y\right\}^T} \int_V \underset{24\times6}{[B]^T} \underset{6\times1}{\{\sigma\}} dV = 0. \quad (16)$$

Минимизируя функционал (16) по узловым неизвестным $\left\{\Delta\sigma_y\right\}^T$ и $\left\{\Delta U_y\right\}$, получим систему уравнений

$$\frac{\partial\Pi_L}{\partial\left\{\Delta\sigma_y\right\}^T} \equiv -\underset{48\times48}{[H]} \underset{48\times1}{\left\{\Delta\sigma_y\right\}} + \underset{48\times24}{[Q]} \underset{24\times1}{\left\{\Delta U_y\right\}} = 0; \quad (17)$$

$$\frac{\partial\Pi_L}{\partial\left\{\Delta U_y\right\}^T} \equiv \underset{24\times48}{[Q]} \underset{48\times1}{\left\{\Delta\sigma_y\right\}} + \underset{24\times1}{\{f\}} = 0,$$

где $\underset{48\times24}{[Q]} = \int_V \underset{48\times6}{[S]^T} \underset{6\times24}{[B]} dV$; $\underset{48\times48}{[H]} = \int_V \underset{48\times6}{[S]^T} \underset{6\times48}{[B]} \underset{48\times24}{[S]} dV$;

$$\underset{24\times1}{\{f\}} = \int_V \underset{24\times3}{[A]^T} \underset{3\times1}{\{F\}} dV - \frac{1}{2}\int_S \underset{24\times3}{[A]^T} \underset{3\times1}{\{\Delta p\}} dS - \int_S \underset{24\times3}{[A]^T} \underset{3\times1}{\{p\}} dS.$$

Систему (17) можно представить в традиционной конечно-элементной форме

$$\underset{72\times72}{[k]} \underset{72\times1}{\left\{Z_y\right\}} = \underset{72\times1}{\{R\}}, \quad (18)$$

где $[k] = \begin{bmatrix} \underset{48\times48}{-[H]} & \underset{48\times24}{[Q]} \\ \underset{24\times48}{[Q]^T} & \underset{24\times24}{[0]} \end{bmatrix}$ — матрица деформирования конечного элемента;

$\underset{1\times72}{\left\{Z_y\right\}^T} = \left\{\underset{1\times48}{\left\{\Delta\sigma_y\right\}^T} \underset{1\times24}{\left\{\Delta U_y\right\}^T}\right\}$ — вектор узловых неизвестных конечного элемента;

$\underset{1\times72}{\{R\}^T} = \left\{\underset{1\times48}{\{o\}^T} \underset{1\times24}{\{f\}^T}\right\}$ — вектор узловых усилий конечного элемента.

Для формирования матрицы деформирования всего грунтового основания используется традиционная процедура [5]. На основании изложенного алгоритма скомпонован пакет прикладных программ по расчету грунтового основания с учетом физической нелинейности подстилающих грунтов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Богомолов А. Н., Ушаков А. Н.* Задача о вычислении осадок ленточного фундамента // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 6. С. 2.

2. *Малинин Н. Н.* Прикладная теория пластичности и ползучести. — М. : Машиностроение, 1975. — 400 с.

3. Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский и др. — М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. — 528 с.

4. *Гуреева Н. А.*, *Клочков Ю. В.*, *Николаев А. П.* Расчет оболочек вращения на основе смешанного МКЭ при тензорной аппроксимации расчетных величин // Фундаментальные иследования. Часть 2. 2011. № 8. С. 356—362.

5. *Постнов В. А.*, *Хархурим И. Я.* Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. — Л. : Судостроение, 1974. — 344 с.

1. *Bogomolov A. N.*, *Ushakov A. N.* Zadacha o vychislenii osadok lentochnogo fundamenta // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2011. № 6. S. 2.

2. *Malinin N. N.* Prikladnaya teoriya plastichnosti i polzuchesti. — M. : Mashinostroenie, 1975. — 400 s.

3. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty / S. B. Ukhov, V. V. Semenov, V. V. Znamenskiy i dr. — M. : Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2005. — 528 s.

4. *Gureeva N. A.*, *Klochkov Yu. V.*, *Nikolaev A. P.* Raschet obolochek vrashcheniya na osnove smeshannogo MKE pri tenzornoy approksimatsii raschetnykh velichin // Fundamental'nye isledovaniya. Chast' 2. 2011. № 8. C. 356—362.

5. *Postnov V. A.*, *Kharkhurim I. Ya.* Metod konechnykh elementov v raschetakh sudovykh konstruktsiy. — L. : Cudostroenie, 1974. — 344 s.

© Клочков Ю. В., Николаев А. П., Гуреева Н. А., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Клочков Ю. В., Николаев А. П., Гуреева Н. А. Расчет оснований и фундаментов на основе метода конечных элементов в смешанной формулировке с учетом физической нелинейности // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 87—94.

УДК 624.15

Р. В. Цветков, И. Н. Шардаков, А. П. Шестаков

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДОК СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IP-КАМЕР

Дано описание практической реализации системы мониторинга неравномерных осадок сооружений на принципе гидростатического нивелирования с использованием ip-камер. Приведены некоторые результаты осадок несущих конструкций сооружения, полученные за полтора года работы системы мониторинга.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гидростатическое нивелирование, осадки, мониторинг.

The description of practical realization of monitoring system of differential settlement of constructions on the principle of hydrostatic leveling using ip-cameras is given. The authors provide some results of settlements of bearing constructions received a year and a half before the performance of monitoring system.

K e y w o r d s: hydrostatic leveling, settlements, monitoring.

Строительство и эксплуатация зданий и сооружений в сложных геологических условиях сопряжены с риском возникновения недопустимых деформаций грунта и, как следствие, разрушения фундамента и самого сооружения. Одним из самых эффективных способов, позволяющих своевременно зарегистрировать начало и активизацию деформационных процессов в элементах сооружений, является использование автоматизированных систем деформационного мониторинга.

Осадки фундаментов могут быть вызваны различными причинами, однако именно неоднородность осадки фундамента влияет на повреждение самого сооружения. Необходимо отметить, что нормативные документы [1] регламентируют предельные значения величины неоднородности осадок фундаментов для различных типов зданий.

В данной работе для организации непрерывной регистрации неоднородности осадок фундаментов был выбран метод гидронивелировки. Научным коллективом ранее была создана автоматизированная система мониторинга [2], в которой фиксация вертикальных смещений уровней жидкости производилась при помощи поплавка и датчика перемещения. В данной работе предлагается использовать принципиально иной способ фиксации уровня жидкости — ip-камера. Это позволяет существенно снизить цену системы мониторинга, повысить ее ремонтопригодность, а также обеспечить визуальный контроль за процессом измерений, что нередко вызывает проблемы при ином способе измерения.

Автоматизированная система мониторинга неравномерных осадок сооружения структурно состоит из программных и аппаратных средств. Аппаратными средствами автоматизированной системы мониторинга являются: датчики, коммутационное оборудование, компьютер с установленными программными средствами. Программными средствами системы мониторинга являются: база данных (БД), модуль управления, модуль распознавания изображений, http-сервер для представления результатов работы.

Датчик системы гидронивелирования (рис. 1) представляет собой кронштейн из алюминиевого сплава, на котором закреплена миллиметровая шкала, прозрачная (стеклянная) трубка с жидкостью и ip-камера (D-Link DCS-910/920). В качестве подсветки используются светодиоды. Ip-камера представляет собой автономное устройство, которое позволяет получать цифровое фотоизображение или видео интересующего объекта и передавать его по проводной сети Ethernet или Wi-Fi.

Система датчиков жестко закрепляется в точках, относительные вертикальные осадки которых следует измерять в процессе мониторинга. Система сообщающихся трубок заполняется жидкостью. Положение столба жидкости в каждом датчике определяется по линейной шкале с точностью шкалы (0,5 мм) в ручном режиме или с разрешением 1 пикселя (0,18 мм) в автоматическом режиме.

Рис. 1. Датчик системы гидронивелирования

Следует отметить, что на показания системы будут оказывать влияние внешние факторы, такие как температура и давление воздуха, отмеченные ранее в работе [2]. Располагая систему гидронивелиров в помещении (например, за фальшпотолком или в подвале, где колебания температуры не так значительны), можно минимизировать влияние внешних факторов.

Система сбора, хранения и обработки данных включает в себя сеть кабелей и коммутационного оборудования (Switch), с помощью которого осуществляется связь из центра сбора информации до всех ip-камер датчиков, а также компьютер, на котором с помощью программных средств хранится и обрабатывается информация. Использование стандартных компонентов для построения сетей Ethernet позволяет упростить монтаж оборудования, снизить себестоимость и повысить ремонтопригодность.

Программные средства представляют собой совокупность модулей и алгоритмов, обеспечивающих корректное функционирование всей системы сбора данных без участия оператора.

Основным программным средством автоматизированной системы мониторинга является модуль управления, который отвечает за организацию измерений с датчиков, обеспечивает работу с базой данных и модулем распознавания изображений.

С помощью программных средств производится последовательный опрос камер, в ходе которого фиксируются и заносятся в базу данных изображения с каждого датчика. Возможен автоматический и ручной режим работы. В ходе опроса при ручном режиме оператору требуется внести в программу числовые значения уровня жидкости в соответствующем датчике, которые в данный момент отображается на экране. Эта информация заносится в базу данных и при помощи web-технологий становится доступной для просмотра.

В автоматическом режиме программа производит последовательный опрос всех датчиков, в ходе которого сохраняются изображения с ip-камер для последующей обработки модулем распознавания изображений.

Модуль распознавания изображений позволяет фотоизображение с датчика перевести в конкретное число, характеризующее показание уровня жидкости. Пример изображения представлен на рис. 2. Распознанные уровни жидкости записываются в базу данных.

Рис. 2. Изображение, получаемое с датчика

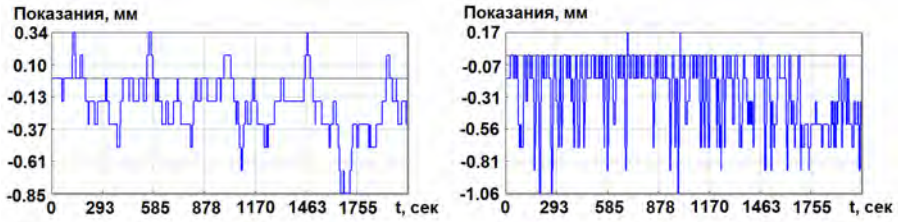
Для визуализации работы системы мониторинга неравномерных осадок применяются web-технологии, которые с помощью сети Интернет позволяют удаленно наблюдать за объектом. На web-странице отображается состояние датчиков системы мониторинга, которое возникает в процессе работы. Для представления результатов используются графики вертикальных смещений датчиков, относительно некоторой базовой точки, во времени. С помощью метода наименьших квадратов на заданном временном интервале оценивается скорость осадки конкретного датчика относительно базового. Для наглядного отображения результатов на web-страницу также выводится изображение поверхности, соответствующей изменению уровня конструкции. Реализована данная процедура при помощи библиотек Mathlab 7, что позволяет автоматически на основе данных текущих измерений получать изображение поверхности в виде, указанном на рис. 6.

Для проверки технических характеристик системы мониторинга, а также для выбора оптимальных параметров автоматического измерения были проведены тестовые испытания. Для реализации этих параметров был проведен ряд автоматических измерений с датчиков системы мониторинга. Часть испытаний была проведена на стенде в лаборатории, а другая — непосредственно на системе мониторинга, установленной на объекте.

Поскольку расстояние от камеры до центра или края линейки различно, это приводит к неоднородности размера пикселя на фотоизображении. Поэтому в лабораторных условиях были проведены испытания по измерению различного уровня жидкости в автоматическом режиме на одном датчике. Контроль осуществлялся визуально по изображению столба жидкости и количеству залитой жидкости в сосуд. В результате измерений было установлено, что измерение уровня жидкости в диапазоне 5…10 см (по шкале датчика) происходит с погрешностью не более 0,4 мм, что, на наш взгляд, риемлемо для таких систем мониторинга. Следует отметить, что в ходе лабораторных испытаний осуществлена проверка различных поплавков для использования в качестве маркера уровня жидкости, однако в итоге в качестве маркера была выбрана граница жидкость — воздух в виде мениска. Для единообразия за показания уровня жидкости берется нижний край мениска, соответствующий переходу от жидкости к темному кольцу мениска (см. рис. 2).

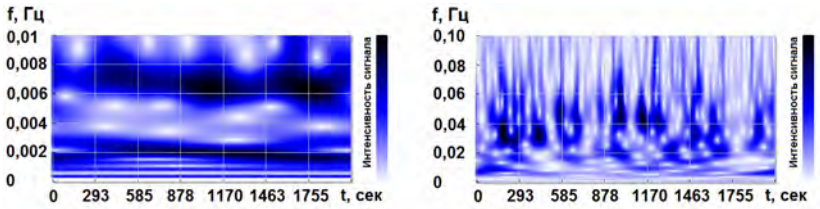
На следующем шаге были осуществлены испытания по измерению уровней жидкости на датчиках системы мониторинга, установленной на объекте. С максимально возможной частотой опроса производилась запись данных с датчиков системы мониторинга. В результате этого было установлено, что в разных гидронивелирах наблюдаются изменения показаний уровня жидкости (в пределах 1 мм) со временем. Вызваны эти изменения вибрациями от различных механизмов, которые приводят в движение жидкость в нивелире.

Идентификации характерных периодов и частот колебаний с помощью Фурье и вейвлет-анализа показала, что в одном из нивелиров характерны колебания жидкости с периодом около 500 с (0,002 Гц) и около 150 с (0,0065Гц); в другом нивелире характерны колебания жидкости с разными периодами из диапазона 20…50 с (0,02…0,05 Гц). Указанная информация представлена на рис. 3 и 4.



а *б*

Рис. 3. Изменение показаний датчиков в первом (*а*) и во втором нивелире (*б*) во время теста



а *б*

Рис. 4. Вейвлет-спектр изменения датчиков в первом (*а*) и во втором нивелире (*б*) во время теста

Таким образом, благодаря автоматизации процесса измерений и обработки данных, для каждой ветви нивелира можно выбрать необходимое время и число измерений, что позволяет сгладить отдельные выбросы и повысить точность измерений. Основываясь на результатах тестовых экспериментов, было принято решение проводить измерения на каждом датчике каждого нивелира сериями и записывать в базу данных среднее значение. Для единообразия одна серия состоит из 100 измерений, но с различными временами, характерными для каждого нивелира.

Система мониторинга неравномерных осадок сооружения была установлена для тестирования на одном из сооружений города, где функционирует по настоящее время. Основным несущим элементом данной конструкции являются колонны, и именно их подвижка по вертикали может привести к повреждению конструкции. В этой связи датчики системы мониторинга располагались на несущих колоннах конструкции и фиксировали их вертикальные смещения относительно друг друга.

В качестве недостатка данного метода можно отметить, что система не позволяет измерять жесткие смещения здания и его поворот относительно оси, направление которой совпадает с направлением поля тяжести. Но следует отметить, что эти жесткие трансляции и не изменяют напряженно-деформированное состояние конструкции.

На приведенных ниже графиках (рис. 5) показаны примеры графиков осадки нескольких колонн, полученных за время наблюдения. В левых частях графиков обозначены результаты *1*, полученные в ручном режиме, а в правой части отмечены результаты *2*, полученные в автоматическом режиме, обозначена прямая *3*, полученная методом наименьших квадратов, на основании которой можно оценить скорость осадки.

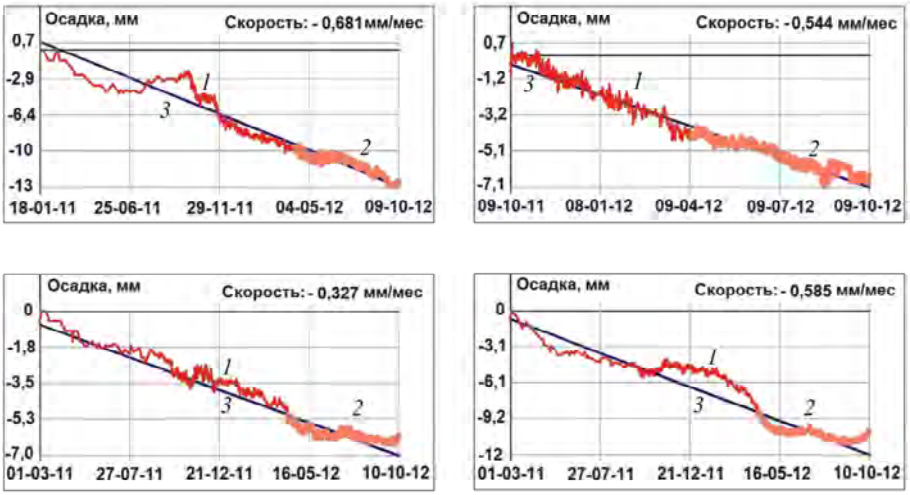


Рис. 5. Осадки на некоторых датчиках системы мониторинга

На рис. 6 приведено изображение поверхности, соответствующее изменению уровня несущих конструкций здания, получаемое системой мониторинга за время ее работы. Оси *x* и *y*, соответственно, отложены по длине и ширине здания. Как видно из рис. 6, за время работы системы мониторинга зафиксированы неравномерные осадки несущих элементов сооружения.

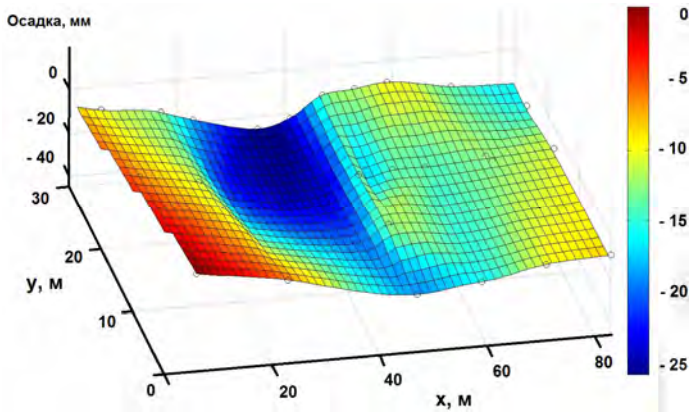


Рис. 6. Вид поверхности изменения уровня несущих конструкций сооружения

Выводы:

1. Разработана и создана автоматизированная система мониторинга неравномерных осадок сооружения с использованием ip-камер.

2. Проведены тестовые испытания системы мониторинга в автоматическом режиме. Осуществлен выбор оптимальных параметров опроса датчиков.

3. Работоспособность системы мониторинга подтверждена непрерывной работой в течение полутора лет.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-01-33042).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.02.01—83*. Основания зданий и сооружений. — М. : ЦИТП, 1995. — 64 с.

2. *Цветков Р. В., Шардаков И. Н.* Автоматизированная система измерения неравномерности осадок сооружения // Вестник Волгогр. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2008. Вып. 10(29). С. 128—134.

1. SNiP 2.02.01—83*. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. — M. : TsITP, 1995. — 64 s.

2. *Tsvetkov R. V., Shardakov I. N.* Avtomatizirovannaya sistema izmereniya neravnomernosti osadok sooruzheniya // Vestnik Volgogr. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkhit. 2008. Vyp. 10(29). S. 128—134.

© Цветков Р. В., Шардаков И. Н., Шестаков А. П., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Цветков Р. В., Шардаков И. Н., Шестаков А. П. Система мониторинга неравномерных осадок сооружений с использованием ip-камер // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 95—100.

УДК 624.138

А. Б. Пономарев, А. С. Кузнецова, В. Г. Офрихтер

ПРИМЕНЕНИЕ ФИБРОАРМИРОВАННОГО ПЕСКА В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Представлены результаты испытаний трехосного сжатия песчаных образцов, армированных дискретными волокнами полипропилена. Выполнен анализ влияния фибрового армирования и доказано его положительное влияние на основные характеристики грунта. Проведено численное моделирование поведения фибропеска в качестве основания здания.

К л ю ч е в ы е с л о в а: фибровое армирование, песчаный грунт, полипропилен, слабое основание.

The results of tests of triaxial compression of sandy samples reinforced by discrete polypropylene fibers are presented. The analysis of influence of fiber reinforcing is carried out and its positive influence on the main characteristics of soil is proved. Numerical modeling of behavior of fibrosand as a foundation of a building is done.

K e y w o r d s: fiber reinforcing, sandy soil, polypropylene, weak foundation.

Вследствие широкого распространения слабых грунтовых оснований и строительства на них зданий и сооружений, передающих на грунты высокие нагрузки, армирование грунтов различными природными и геосинтетическими материалами нашло значительное применение в геотехническом строительстве. Армирование используют для повышения несущей способности и устойчивости грунтов, снижения осадок и линейных деформаций. Армирующие элементы обладают высокой прочностью, хорошо работают на сжатие или растяжение, имеют высокое сцепление и трение с грунтом [1].

Наряду с традиционным армированием рулонными геосинтетическими материалами (геотекстилем, георешетками, геосетками), в последнее время интерес инженеров-геотехников вызывает применение так называемого фибрового армирования — внедренных в массив грунта равномерно распределенных дискретных волокон. Фиброармирование имитирует поведение корней растений и приводит к повышению прочностных и деформационных свойств грунта [2]. Помимо полимерных материалов (полипропилена, полиэтилена, базальта), в качестве фибрового армирования могут применяться природные материалы (кокосовое волокно, сизаль, джут), в особенности для строительства временных сооружений [3, 4].

Был проведен анализ зарубежных исследований (J. G. Zornberg, S. M. Hejazi, A. Diambra и др.), доказывающих эффективность дискретного армирования грунтов природными и синтетическими материалами, но, тем не менее, на практике фиброгрунт до сих пор не нашел широкого применения. Внедрению данного композитного материала в промышленных целях мешает отсутствие соответствующих рекомендаций, инструкций по расчету и применению тех или иных видов фиброармирования.

Целью настоящего исследования является анализ применения фиброгрунта в качестве основания повышенной несущей способности здания или сооружения.

В качестве инструмента для исследования свойств фиброгрунта выбраны лабораторные испытания по методу трехосного сжатия. Трехосные испытания позволяют наиболее достоверно смоделировать напряженно-деформированное состояние в массиве грунта, поэтому полученные данные о свойствах грунтов являются наиболее точными, по сравнению с испытаниями на плоский сдвиг и одноосное сжатие [5]. Более того, современная нормативная литература рекомендует определять характеристики грунтов по результатам испытаний трехосного сжатия для сооружений I и II уровня ответственности [6].

Для исследования влияния фибрового армирования на свойства несвязного грунта был взят однородный речной песок нарушенного сложения. Физические характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физические характеристики песчаного грунта

Характеристики	Значения
По гранулометрическому составу по ГОСТ 25100—95	Песок мелкозернистый
По однородности по ГОСТ 25100—95	Песок однородный
Удельный вес грунта γ, кН/м^3	16,4
Удельный вес твердых частиц γ_s, кН/м^3	26,0
Удельный вес сухого грунта γ_d, кН/м^3	16,3
Пористость e	0,6
Влажность w, %	0,28
Коэффициент фильтрации $K_ф$, м/сут	2,35
Угол естественного откоса φ, °	34

В качестве дискретного армирования было принято полипропиленовое волокно. Технические характеристики материала приведены в табл. 2. Эффективность фибрового армирования полипропиленовым волокном, по сравнению с базальтовым, была доказана ранее [7].

Таблица 2

Технические характеристики полипропилена

Наименование показателя	Значения
Длина отрезка, мм	6
Диаметр элементарного волокна, мкм	20
Прочность на растяжение, МПа	1,0
Удлинение до разрыва, %	150…250

Серия испытаний трехосного сжатия была проведена с образцами, армированными полипропиленовой фиброй с небольшим объемным процентом армирования (0,5 и 1,5 %) и с увеличенным количеством армирующих волокон (3, 4 и 5 %). Для возможности сравнения полученных результатов были точно определены массы навесок песчаного грунта и полипропилена в зависимости от объема образца для испытаний, удельного веса материалов и процента армирования.

Программа испытаний была составлена в соответствии с методикой ГОСТ [8]. В результате получили серию из 54 экспериментов (шесть различных комбинаций материалов при боковом давлении 100, 200, 300 кПа с трехкратным повторением).

График зависимости относительных вертикальных деформаций ε_1 от усредненных значений вертикальных напряжений σ_1 песчаного образца и образцов с различным содержанием полипропилена при боковом давлении 100 кПа представлен на рис. 1.

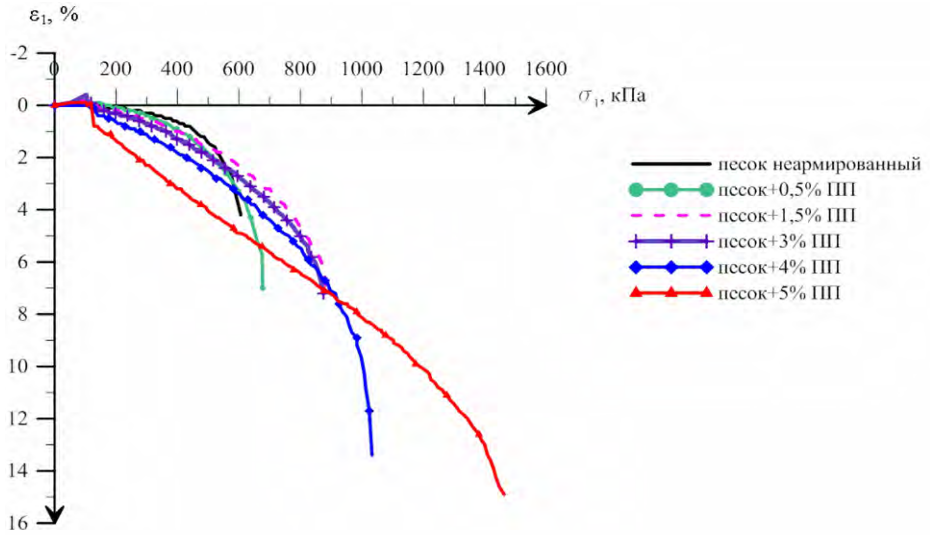


Рис. 1. График зависимости вертикальных деформаций от вертикальных напряжений при боковом давлении 100 кПа образцов, армированных полипропиленовой фиброй (ПП) в сравнении с неармированными образцами

Результаты испытаний показывают, что на начальном участке диаграммы фиброгрунт имеет большие по сравнению с чистым песком вертикальные деформации, что может быть следствием перекомпоновки структуры фиброгрунта в поле начальных напряжений. При более высоких уровнях нагрузки отчетливо прослеживается эффективность дискретного армирования. С увеличением процента армирования возрастает величина разрушающей нагрузки, повышается несущая способность материала. По графику можно четко проследить, что с возрастанием содержания армирующих волокон в песке увеличивается и протяженность участка линейной деформируемости. Фиброгрунт при армировании 5 % на достаточно большом интервале значений напряжения σ_1 до относительной деформации ε_1 порядка 10 % работает по линейному закону. Значения относительных вертикальных деформаций, при которых происходит разрушение, также возрастают (7,2 % для образца с 3%-м армированием; 13,4 % для образца с 4 %). Образец, в котором содержание армирующего материала составило 5 %, не удалось разрушить при достижении стандартного предельного уровня относительной вертикальной деформации 15 %, заложенного в программе испытаний в качестве терминального критерия.

На рис. 2 представлены круги Мора, построенные в зависимости от всестороннего давления σ_3 и усредненных значений разрушающей нагрузки σ_1 для образцов, армированных полипропиленовым волокном в количестве 5 объемных процентов. Касательные, проведенные к полуокружностям, отсекают на оси ординат отрезок, соответствующий удельному сцеплению грунта *c*, а их угол наклона равен углу внутреннего трения песка и его композита.

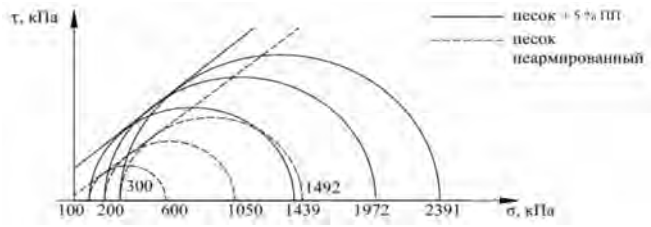


Рис. 2. Круги Мора, построенные по результатам серии испытаний при σ_3 = 100 кПа, 200 кПа, 300 кПа.

На диаграмме заметен существенный рост прочностной характеристики грунта — удельного сцепления *c* (36 кПа для неармированного песка, 229 кПа для песка с 5 % полипропилена). С увеличением содержания волокон увеличивается площадь поверхности взаимодействия волокон и песка, возрастает величина кажущегося удельного сцепления и повышается сопротивление грунта сдвигу. Этот факт подтверждается характером и формой разрушения образца. Для неармированного образца характерно хрупкое разрушение, которое происходит по выраженной поверхности среза (рис. 3, *а*), в то время как армированный образец, плавно накапливая деформации, после испытания принимает бочкообразную форму (рис. 3, *б*) [9].

Для моделирования поведения песчаного грунта, армированного дискретными волокнами полипропилена, в качестве основания сооружения был рассмотрен тестовый пример устройства фундаментов мелкого заложения на насыпных грунтах, на месте бывшего пруда на территории г. Перми. В качестве возводимого здания было принято здание с продольными несущими стенами на ленточном фундаменте. Средняя нагрузка на обрез фундамента от наружных стен составляла 450 кН/м, от несущих внутренних — 500 кН/м. Численное моделирование выполнялось с помощью расчетного комплекса PLAXIS 2D с использованием модели Мора — Кулона.

а *б*

Рис. 3. Форма образцов после разрушения: *а* — неармированных; *б* — армированных полипропиленом 5 %

Площадка строительства была представлена мощной толщей насыпных грунтов с включениями строительного мусора — суглинок тугопластичный ИГЭ-1, суглинок текучепластичный ИГЭ-2, суглинок текучий с прослойками льда ИГЭ-3. В толще четвертичных аллювиальных отложений, представленных глинистыми грунтами, выделено два инженерно-геологических элемента: глина заторфованная текучепластичная ИГЭ-4, глина текучая ИГЭ-5. Физико-механические характеристики грунтов площадки были получены по результатам инженерно-геологических изысканий, проведенных в августе 2012 г. Грунтовые воды были встречены на глубине 1,7 м.

На первом этапе было выполнено моделирование устройства фундаментов на существующем слабом основании. В качестве входных параметров были использованы данные инженерно-геологических изысканий. Второй этап представлял собой замену слабых насыпных грунтов на уплотненное основание из фибропеска с небольшим объемным содержанием полипропилена (0,5 %), обладающего большей жесткостью (модуль деформации E_0 = 40,02 МПа). Свойства армированного грунта были получены по результатам проведенных трехосных испытаний. Расчетная схема приведена на рис 4.

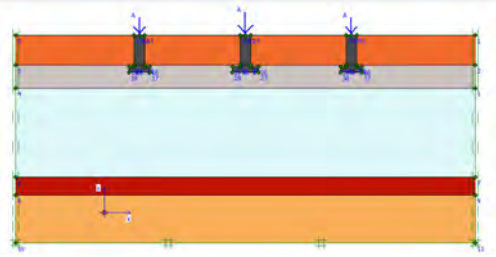


Рис. 4. Расчетная схема

На первом варианте численного эксперимента (при устройстве фундаментов на существующем слабом основании) максимальные деформации под подошвой фундамента наружной стены составили 17,8 см, что превышает предельные значения, установленные в СП «Основания зданий и сооружений» (12 см для многоэтажных бескаркасных зданий с несущими стенами из кирпичной кладки без армирования) [6]. При этом относительная разность осадок соседних фундаментов ($\Delta s/L$) составила 0,005, что также превышает предельное значение по СП [6]. Деформированная сетка конечных элементов приведена на рис. 5. Следовательно, строительство данного здания на существующих грунтах недопустимо, и требуется улучшение грунтовых условий.

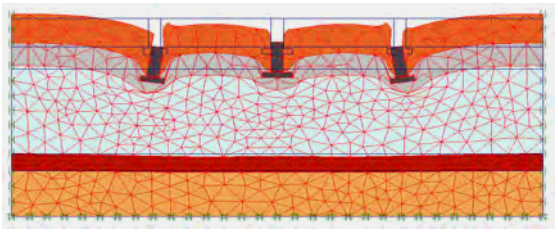


Рис. 5. Деформированная сетка конечных элементов при устройстве фундаментов на существующем основании (масштаб перемещений увеличен в 10 раз)

На втором этапе моделирования верхняя толща насыпных грунтов была заменена на глубину 3 м (ИГЭ-1 и ИГЭ-2) фибропеском так, чтобы он являлся основанием для ленточного фундамента. Характеристики подстилающих грунтов и уровень грунтовой воды остались неизменными. В данном случае максимальные вертикальные осадки под подошвой наиболее нагруженного фундамента внутренней стены составили 6,5 см. При этом относительная разность осадок фундаментов наружных и внутренних стен ($\Delta s/L$) составила 0,002, что допускается современной нормативной литературой [6]. Деформированная сетка конечных элементов для второго случая приведена на рис. 6.

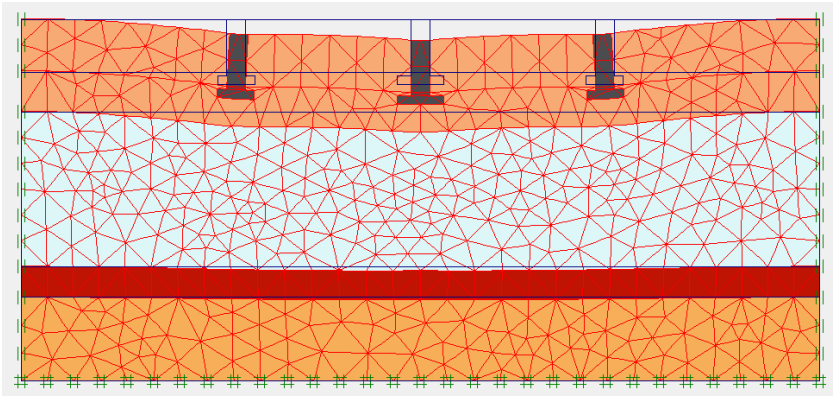


Рис. 6. Деформированная сетка конечных элементов при устройстве фундаментов на основании из фибропеска (масштаб перемещений увеличен в 10 раз)

Таким образом, выполненное численное моделирование позволяет сделать следующие выводы:

1) используя метод замены существующих слабых оснований на армированный дискретными волокнами грунт, удалось добиться сокращения максимальной осадки в 2,74 раза;

2) сократить относительную разность осадок в 2,5 раза;

3) довести значения осадок основания фундаментов до значений, регламентируемых нормативной литературой.

Результаты лабораторных исследований и численного моделирования показывают, что волокна фибры, внедренные в грунт, повышают несущую способность основания и снижают осадки. Совместная работа произвольного армирования и частиц грунта способствует появлению у несвязного грунта удельного сцепления и увеличивает сопротивление сдвигу. Благодаря улучшенным характеристикам, фиброгрунт может использоваться для устройства улучшенных оснований и для повышения устойчивости откосов и склонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Штоль Т. М., Теличенко В. И., Феклин В. И.* Технология возведения подземной части зданий и сооружений : учебное пособие для вузов. — М. : Стройиздат, 1990.

2. *Diambra A., Ibraim E.* Fibre reinforced sands: experiments and modeling // Geotexiles and Geomembranes. 2010. № 28. С. 238—250.

3. *Hejazi S. M., Sheikhzadeh M.* A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers // Construction and Building Materials. 2012. № 30. С. 101—116.

4. *Sivakumar Babu G. L.*, *Vasudevan A. K.* Numerical simulation of fiber-reinforced sand behavior // Geotexiles and Geomembranes. 2008. № 26. С. 181—188.

5. *Сипидин В. П.*, *Сидоров Н. Н.* Исследование грунтов в условиях трехосного сжатия. — М. : Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963.

6. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М., 2011.

7. *Кузнецова А. С.*, *Офрихтер В. Г.* Оценка прочности фиброармированного песка по результатам испытаний на трехосное сжатие // Урбанистика. 2012. № 2. С. 37—44.

8. ГОСТ 12248—96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. — М., 1996.

9. *Kuznetsova A. S.*, *Ofrikhter V. G.* Strength evaluation of fiber reinforced sand by triaxial testing // Proceedings of the Fifth Geosynthetic Congress, Valencia, Spain. Том 1. С. 978—981.

1. *Shtol' T. M.*, *Telichenko V. I.*, *Feklin V. I.* Tekhnologiya vozvedeniya podzemnoy chasti zdaniy i sooruzheniy : uchebnoe posobie dlya vuzov. — M. : Stroyizdat, 1990.

2. *Diambra A.*, *Ibraim E.* Fibre reinforced sands: experiments and modeling // Geotexiles and Geomembranes. 2010. № 28. S. 238—250.

3. *Hejazi S. M.*, *Sheikhzadeh M.* A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers // Construction and Building Materials. 2012. № 30. S. 101—116.

4. *Sivakumar Babu G. L.*, *Vasudevan A. K.* Numerical simulation of fiber-reinforced sand behavior // Geotexiles and Geomembranes. 2008. № 26. S. 181—188.

5. *Sipidin V. P.*, *Sidorov N. N.* Issledovanie gruntov v usloviyakh trekhosnogo szhatiya. — M. : Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, arkhitekture i stroitel'nym materialam, 1963.

6. SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83*. M., 2011.

7. *Kuznetsova A. S.*, *Ofrikhter V. G.* Otsenka prochnosti fibroarmirovannogo peska po rezul'tatam ispytaniy na trekhosnoe szhatie // Urbanistika. 2012. № 2. S. 37—44.

8. GOST 12248—96. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya kharakteristik prochnosti i deformiruemosti. — M., 1996.

9. *Kuznetsova A. S.*, *Ofrikhter V. G.* Strength evaluation of fiber reinforced sand by triaxial testing // Proceedings of the Fifth Geosynthetic Congress, Valencia, Spain. Tom 1. S. 978—981.

© Пономарев А. Б., Кузнецова А. С., Офрихтер В. Г., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Пономарев А. Б., *Кузнецова А. С.*, *Офрихтер В. Г.* Применение фиброармированного песка в качестве основания зданий и сооружений // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 101—107.

УДК 624.154.1

А. Б. Пономарев, Е. Н. Сычкина, М. А. Акбуляков, А. Ю. Черепанов

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРГИЛЛИТОВ

Рассмотрена проблема выбора параметров механических свойств аргиллитов для проектирования в г. Перми. Проанализированы механические характеристики аргиллитов, полученные различными методами. Приведены результаты статистического зондирования, прессиометрических испытаний и лабораторных исследований.

К л ю ч е в ы е с л о в а: аргиллит, модуль деформации, компрессионный модуль деформации, удельное сцепление, угол внутреннего трения.

The problem of the choice of parameters of soapstone mechanical properties for design in Perm is considered. Soapstone mechanical characteristics received by various methods are analyzed. The results of statistical sounding, pressuremeter tests and laboratory researches are given.

K e y w o r d s: soapstone, deformation module, compression deformation module, specific cohesion, internal friction angle.

Актуальность исследования. В связи с инвестиционной привлекательностью в центральных районах г. Перми активно ведется высотное строительство, при этом возрастают нагрузки на грунтовое основание и увеличивается глубина заложения фундаментов. В настоящее время существует целый ряд научных работ А. Б. Пономарева, Д. Н. Сурсанова, А. В. Захарова [1], посвященных строительству в инженерно-геологических условиях г. Перми, однако вопросы выбора прочностных и деформационных характеристик при проектировании оснований, сложенных пермскими аргиллитами, освещены крайне слабо.

Объектом данного исследования являлись аргиллиты. Аргиллит представляет собой полускальный грунт глинистого состава, образовавшийся в результате окаменения дисперсных глинистых грунтов при уплотнении, дегидратации и кристаллизации коллоидов [2]. Он легко выветривается, обладает значительной влагоемкостью и способностью размягчаться в воде. Затронутые выветриванием аргиллиты характеризуются повышенной пористостью, низкими значениями показателей механических свойств [2]. В рамках данного исследования рассматривались аргиллиты шешминского горизонта уфимского яруса нижнего отдела пермской системы, которые в пределах г. Перми используются в качестве основания для фундаментов глубокого заложения. Предметом исследования являлись их механические свойства: модуль деформации E (МПа), удельное сцепление c (МПа), угол внутреннего трения φ (град).

Ряд авторов отмечает, что прочностные и деформативные свойства любого грунта определяются практически одними и теми же факторами — пористостью, влажностью, структурой, минеральным составом и т. д. Весь комплекс таких факторов отражает условия и историю формирования рассматриваемого грунта [3]. Результаты экспериментальных исследований, проведенных А. Б. Пономаревым, Е. Н. Сычкиной, И. А. Ощепковой [4], сопоставленные с архивными данными ВерхнекамТИСИз [5], свидетельствуют

о том, что физические свойства аргиллитов шешминского горизонта пермской системы, отобранных в пределах различных строительных площадок города Перми, существенно не отличаются. Также было отмечено закономерное изменение физических свойств аргиллитов с глубиной: возрастание значений плотности, уменьшение коэффициента пористости. Данные наблюдения позволили авторам выдвинуть предположение, что механические свойства аргиллитов, имеющих одинаковый генезис и геологический возраст, в пределах города Перми также не должны существенно отличаться, и изменение механических свойств будет, главным образом, связано с изменением глубины залегания аргиллитов. Поэтому целью данного исследования являлось сопоставление значений механических свойств аргиллитов, полученных на различных экспериментальных площадках г. Перми. Для достижения поставленной цели в ходе исследования были решены следующие задачи:

1. Дана инженерно-геологическая характеристика двух экспериментальных площадок г. Перми, где проводились исследования механических свойств аргиллитов.

2. На основании действующих нормативных документов разработана методика определения прочностных и деформативных свойств аргиллитов, а также методика обработки полученных результатов.

3. Выполнена серия экспериментов по определению механических свойств аргиллитов в лабораторных и полевых условиях.

4. Проанализированы и сопоставлены полученные результаты.

5. Даны выводы и рекомендации по оценке механических свойств аргиллитов.

Характеристика экспериментальных площадок г. Перми

1. Статическое зондирование и бурение скважин с отбором проб грунта для лабораторных исследований проводилось на экспериментальной площадке в пределах делювиального склона IV левобережной надпойменной террасы долины р. Камы. В административном отношении участок исследований расположен северо-восточнее пересечения улиц Нефтяников и Комбайнеров Индустриального района г. Перми. На исследуемом участке грунты шешминского горизонта уфимского яруса пермской системы перекрыты чехлом четвертичных аллювиальных глинистых грунтов. С поверхности повсеместно залегают техногенные насыпные грунты. Геолого-литологическая колонка изученных при изысканиях грунтов представлена на рис. 1.

Мощность насыпных грунтов на площадке варьировалась в переделах 5,0…10,0 м. С поверхности насыпной грунт был представлен суглинками коричного цвета с включениями строительного мусора. Их консистенция изменялась от текучепластичной до тугопластичной.

Четвертичные отложения были представлены глинистыми аллювиальными грунтами. Мощность четвертичных аллювиальных отложений составляла 1,3…6,9 м.

В пределах указанной площадки аргиллиты залегали на глубинах 9,6…13,0 м. Они были сильнотрещиноватые, обводненные по трещинам, неравномерно выветрелые. Физические характеристики аргиллита приводятся по данным ВерхнекамТИСИз [5] в табл. 1.

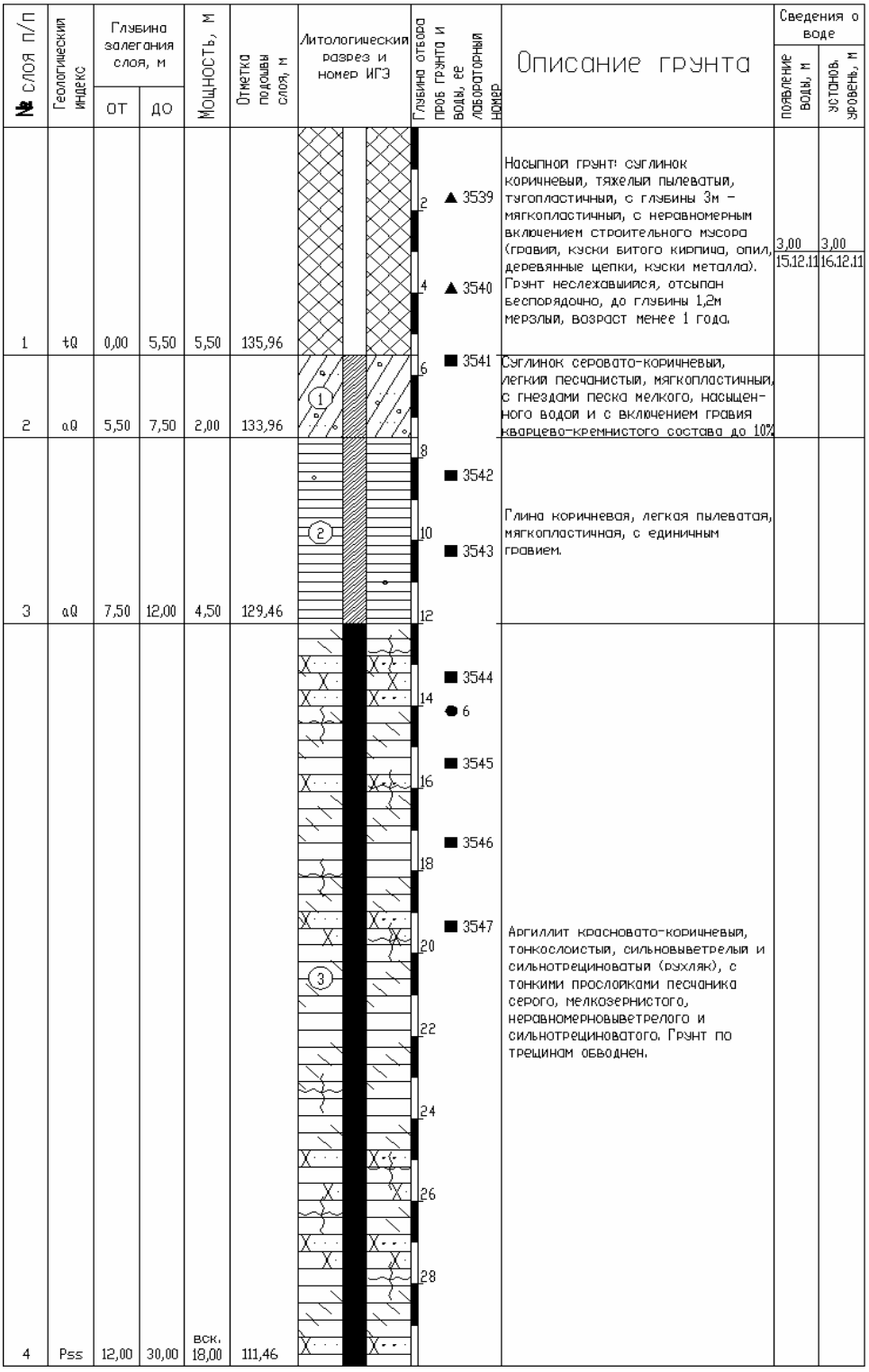


Рис. 1. Геолого-литологическая колонка экспериментальной площадки № 1 г. Перми

Таблица 1

Показатели физических свойств аргиллита

Характеристики грунта	Единицы измерения	Среднее значение
Природная влажность	%	18,60
Плотность	г/см^3	2,05
Плотность частиц грунта	г/см^3	2,75
Плотность сухого грунта	г/см^3	1,73
Пористость	%	37,22
Коэффициент пористости	д. ед.	0,60
Коэффициент водонасыщения	д. ед.	0,86

По архивным данным на исследуемом участке были зафиксированы подземные воды типа верховодка, а также трещинно-грунтовые воды в кровле аргиллитов и порово-грунтовые воды в четвертичных отложениях. Установившейся уровень грунтовых вод в декабре 2011 г. находился в пределах 2,1…4,5 м.

2. Прессиометрические испытания выполнялись на второй экспериментальной площадке, расположенной в пределах II правобережной надпойменной террасы р. Камы. В административном отношении участок исследований расположен по ул. Кировоградской Кировского района г. Перми. На исследуемом участке аргиллиты пермской системы перекрыты чехлом четвертичных аллювиальных песчаных грунтов.

Четвертичные отложения в пределах экспериментальной площадки были представлены песчано-гравийными аллювиальными грунтами (пески, супеси, гравийные грунты). Мощность четвертичных аллювиальных отложений составляла до 16,0 м.

Аргиллиты выветрелые, обводненные по трещинам, были встречены на глубине 16,0 м.

Грунтовые воды в пределах изучаемой площадки характеризуются как трещинно-грунтовые в кровле аргиллитов и порово-грунтовые в аллювиальных грунтах. Установившийся уровень грунтовых вод зафиксирован на глубине 10,8 м.

Методика полевых исследований. Метод статического зондирования. Статическое зондирование проводилось в четырех точках мобильной малогабаритной установкой LWC-100XS фирмы Geomil Equipment (рис. 2) с механической системой вдавливания зонда в соответствии с ГОСТ [6].

Рис. 2. Установка статического зондирования LWC-100XS

Тип применяемого зонда — II. Параметры зонда следующие: диаметр основания конуса — 35,7 мм, угол при вершине конуса — 60º, площадь конуса — 10 см^2, наружный диаметр штанг — 36 мм, длина штанги — 1 м. Вдавливание зонда производилось с одновременным измерением сопротивления грунта под наконечником зонда (q_c) и сопротивления грунта на боковой поверхности зонда (f_c) с автоматизированной фиксацией контролируемых параметров. Максимальная глубина проведенных испытаний составила 14,6 м.

Расчет механических характеристик аргиллитов производился согласно выражениям, приведенным М. С. Захаровым [7].

Модуль деформации, МПа:

$$E = 7q_c,$$

где q_c — сопротивление грунта под наконечником зонда (лобовое сопротивление конуса);

угол внутреннего трения, град.:

$$\varphi = 18,571q_c^{\,0,207};$$

удельное сцепление, кПа:

$$c = 6q_c + 11.$$

Далее результаты полевых испытаний были обработаны с использованием методов математической статистики согласно ГОСТ 20522—96 [8].

Для выявления вероятностных связей между прочностными и деформативными свойствами аргиллитов был произведен парный корреляционный анализ между характеристиками E и c, E и φ, φ и c. Корреляционный анализ проводился графическим и аналитическим методами.

Графический способ заключался в построении корреляционного графика для визуальной оценки однородности выборки, формы и ориентировки корреляционного поля точек.

Аналитический метод заключался в расчете числовых характеристик распределения и связи и проверке гипотезы о значимости вычисленных показателей связи. Для вычисления коэффициента корреляции r были рассчитаны статистики одномерного распределения механических свойств аргиллита: среднее содержание, дисперсия, стандартное отклонение. Далее определялись характеристики двумерного распределения прочностных и деформативных свойств аргиллитов — коэффициенты ковариации и корреляции, а также оценивалась значимость коэффициентов корреляции [9]. При интерпретации выявленной связи использовались следующие свойства коэффициента корреляции r:

1) при прямой зависимости $r > 0$, при обратной $r < 0$;
2) равенство $|r| = 1$ соответствует линейной функциональной связи;
3) по тесноте различаются следующие типы корреляционных связей:
   а) очень тесная $0,75 < |r| < 1,0$;
   б) тесная при $0,5 < |r| < 0,75$;
   в) слабая при $0,25 < |r| < 0,5$;
   г) связь отсутствует $|r| < 0,25$.

Значимость выборочного коэффициента корреляции оценивалась следующими способами:

1. С помощью *t*-критерия Стьюдента по формуле

$$t_{\text{расч}} = r\sqrt{N-2}\Big/\sqrt{1-r^2}\ ,$$

где N — количество опытов в выборке; r — коэффициент корреляции.

Если $t_{\text{расч}} > 2{,}01$, то нулевая гипотеза об отсутствии корреляционной связи отвергалась и связь считалась статистически значимой (реальной) при доверительной вероятности 95 %.

2. С помощью среднеквадратической погрешности Δr оценки коэффициента корреляции, которая рассчитывалась по формуле

$$\Delta r = \frac{\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{N-1}},$$

где r — коэффициент корреляции; N — количество опытов в выборке. Если $|r| \geq 2\Delta r$, то связь считается статистически значимой (при доверительной вероятности 95 %).

На основании полученных зависимостей был сделан вывод о характере, тесноте и значимости рассчитанных показателей связи.

Методика прессиометрических испытаний. Испытания производились в скважине радиальным электровоздушным прессиометром ПЭВ-89МК, в соответствии с ГОСТ 20276—99 [10]. Опыты проводились по быстрой схеме в двух точках. Глубина прессиометрических испытаний составила 16,5 и 17,7 м. Обработка полученной информации производилась при помощи программы PRESSPW.MA.v1.01.

Модуль деформации грунта E, МПа, вычислялся для линейного участка графика $\Delta r = f(p)$ по формуле

$$E = K_r r_0 \frac{\Delta p}{\Delta r},$$

где K_r — корректирующий коэффициент; r_0 — радиус скважины, равный $r_{pr} + \Delta r_0$; r_{pr} — радиус прессиометра, см; r_0 — приращение радиуса прессиометра, соответствующее p_0, см; Δp — приращение давления на стенку скважины между двумя точками, взятыми на осредняющей прямой, МПа; Δr — приращение перемещения стенки скважины (по радиусу), соответствующее Δp, см.

По результатам двух прессиометрических опытов было определено среднее значение модуля деформации.

Методика лабораторных исследований. Компрессионный модуль деформации. Результаты лабораторных испытаний по определению деформационных характеристик приняты согласно архивным данным [5]. Испытания аргиллитов проводились в компрессионном приборе. Нагружение образцов производилось ступенями от 25 до 400 кПа согласно ГОСТ 12248—96 [11]. Количество опытов — 13.

Модуль деформации (E_k) по данным компрессионных испытаний для глинистых грунтов рассчитан в интервале нагрузок 0,2…0,4 МПа по формуле

$$E_k = \frac{1-e_i}{m_0}\beta,$$

где e_i — значение коэффициента пористости, соответствующее нагрузкам 0,2 и 0,4 МПа; m_0 — коэффициент сжимаемости, соответствующий интервалу давления 0,2…0,4 МПа; β — коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе. При расчете компрессионного модуля деформации коэффициент β принимался равным 1.

Удельное сцепление, угол внутреннего трения. Данные лабораторных испытаний по определению прочностных характеристик также приняты согласно архивным данным [5]. Испытания по определению прочностных свойств образцов аргиллита проводились методом одноплоскостного среза согласно ГОСТ 12248—96 [11]. Опыты проводились по неконсолидированно-недренированной схеме, в водонасыщенном состоянии. Значения нормальных давлений в опытах составляли 100, 150 и 200 кПа. Общее количество опытов на срез — 36.

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление *c*, кПа, вычислялись по формулам

$$\mathrm{tg}\varphi = \frac{n\sum\tau_i\sigma_i - \sum\tau_i\sum\sigma_i}{n\sum(\sigma_i)^2 - (\sum\sigma_i)^2};$$

$$c = \frac{\sum\tau_i\sum\sigma_i^2 - \sum\sigma_i\sum\tau_i\sigma_i}{n\sum(\sigma_i)^2 - (\sum\sigma_i)^2},$$

где n — число испытаний; τ_i — опытные значения сопротивления срезу, кПа, определенные при различных значениях вертикального напряжения σ_i, кПа.

Результаты полевых исследований. Статическое зондирование. По данным статического зондирования, на экспериментальной площадке были получены следующие результаты:

1. Значения модуля деформации аргиллитов изменялись от 9,73 до 78,11 МПа. Наблюдалось возрастание значений модуля деформации аргиллита с увеличением глубины погружения зонда. Нормативное значение модуля деформации составило 39,36 МПа (табл. 2).

2. Значения угла внутреннего трения изменялись от 18,69 до 30,60°. Наименьшие значения были зафиксированы для кровли аргиллитов. С увеличением глубины залегания аргиллита отмечалось возрастание значений угла внутреннего трения. Нормативное значение угла внутреннего трения составило 25,74° (табл. 3).

3. Значения удельного сцепления изменялись от 22,69 до 77,95 кПа. Наименьшие значения также были зафиксированы для кровли аргиллитов. С увеличением глубины залегания аргиллита отмечалось возрастание значений удельного сцепления. Нормативное значение удельного сцепления составило 45,38 кПа (см. табл. 3).

Для выявления вероятностных связей между механическими свойствами аргиллитов был произведен парный корреляционный анализ между характеристиками *E* и *c*, *E* и φ, φ и *c*. Результаты представлены в виде диаграмм рассеяния соответствующих механических характеристик (рис. 3—5).

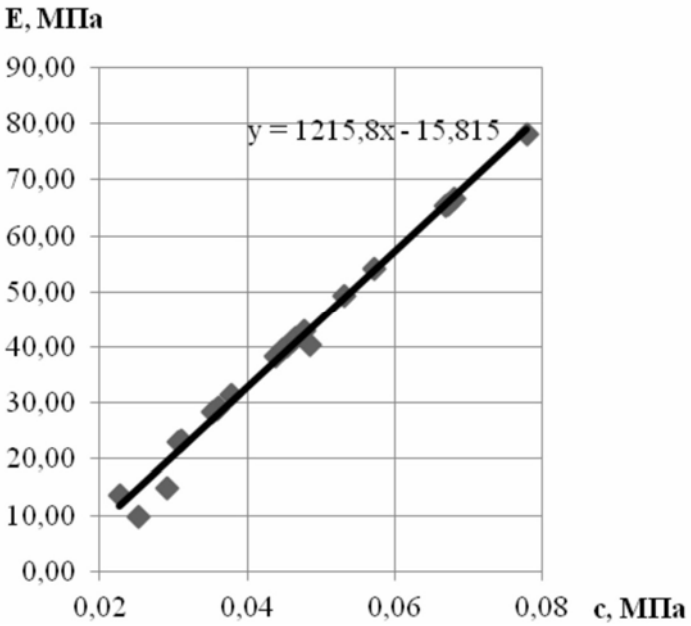


Рис. 3. Корреляционная связь между модулем деформации (*E*) и удельным сцеплением (*c*) для аргиллитов

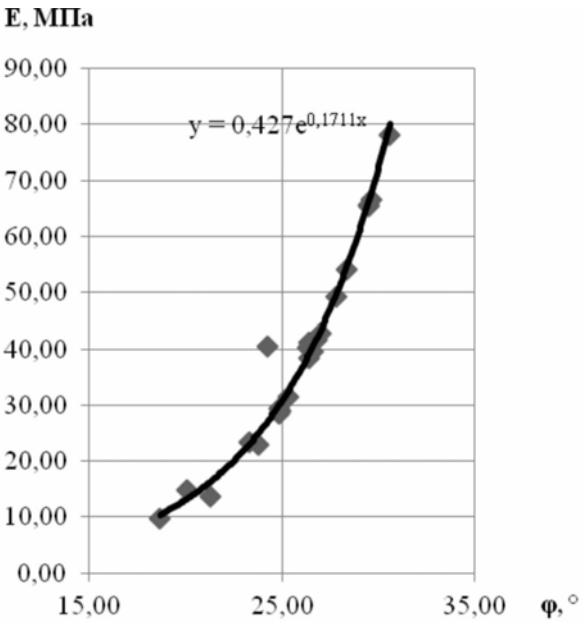


Рис. 4. Корреляционная связь между модулем деформации (*E*) и углом внутреннего трения (φ) для аргиллитов

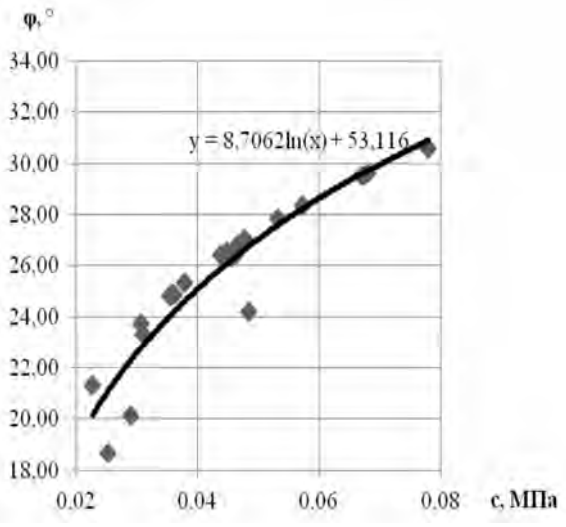


Рис. 5. Корреляционная связь между углом внутреннего трения (φ) и удельным сцеплением (*c*) для аргиллитов

Визуально по диаграммам на рис. 3—5 можно определить все связи как тесные. Результаты корреляционного анализа, выполненного аналитическим методом, приведены в табл 2.

Таблица 2

Результаты парного корреляционного анализа между характеристиками E и c, E и φ, φ и c (аналитический метод)

Характеристики	Коэффициент корреляции *r*	Среднеквадратическая погрешность Δ*r*	*t*-критерий Стьюдента	Вывод о корреляционной связи
E и *c*	0,99	0,005	43,14	Связь очень тесная, прямая, статистически значимая
E и φ	0,95	0,069	13,49	Связь очень тесная, прямая, статистически значимая
φ и *c*	0,92	0,088	10,17	Связь очень тесная, прямая, статистически значимая

Коэффициенты корреляции, определенные аналитическим методом, составили: $r_{E\text{-}c} = 0{,}99$, $r_{E\text{-}\varphi} = 0{,}95$, $r_{\varphi\text{-}c} = 0{,}92$, что позволило охарактеризовать все корреляционные связи как прямые (положительные), очень тесные и статистически значимые.

Корреляционную связь между *E* и *c* можно определить как линейную, описываемую уравнением

$$E = 1215{,}8c - 15{,}815 .$$

Корреляционную связь между *E* и φ можно определить как экспоненциальную, описываемую уравнением

$$E = 0{,}427 \cdot e^{0{,}1711\varphi}.$$

Корреляционную связь между φ и *c* можно определить как логарифмическую, описываемую уравнением

$$\varphi = 8,7062\ln(c) + 53,116.$$

Полевые испытания статическим зондированием показали завышенные значения *E*, *c*, φ по отношению к нормативным значениям *E*, *c*, φ, приведенным в СП 22.13330.2011 [12]. Расчетные значения механических характеристик аргиллитов приведены в табл. 3.

Результаты прессиометрических испытаний. В кровле толщи аргиллитов (глубина испытания 16,5 м) значения *E* составили 34,6 МПа. Испытания, проведенные на глубине 17,7 м, показали результаты *E* = 78,2 МПа. Таким образом, для кровли аргиллитов наблюдаются пониженные значения модуля деформации. Вероятно, это связано с тем, что кровля аргиллитов — это наиболее выветрелая, трещиноватая и обводненная часть толщи аргиллитов. В целом можно отметить, что результаты прессиометрических опытов показывают схожие величины модуля деформации с результатами статического зондирования установкой, оснащенной зондом II типа (см. табл. 3).

Результаты лабораторных испытаний. Нормативное значение компрессионного модуля деформации в интервале давлений 0,2…0,4 МПа составило 13,7 МПа.

Таблица 3

Прочностные и деформативные свойства аргиллитов, полученные на экспериментальных площадках г. Перми

Обозначение характеристик грунта	Результаты, полученные различными методами							Нормативные значения, согласно [12]
	Прессиометрические испытания	Статическое зондирование			Лабораторные опыты			
		Нормативное значение	Расчетные значения при доверительной вероятности α		Нормативное значение	Расчетные значения при доверительной вероятности α		
	Среднее значение		0,85	0,95		0,85	0,95	
C, кПа	—	45,38	42,01	39,91	39	23	13	44
φ, град.	—	25,74	25,05	24,61	23	19	16	22,5
E, МПа	56,4	39,36	35,24	32,67	13,7			19

Нормативное значение угла внутреннего трения φ_n = 23°, нормативное значение удельного сцепления C_n составило 39 кПа (см. табл. 3).

Нормативные значения удельного сцепления C_n, кПа, угла внутреннего трения φ_n, град., и модуля деформации *E*, МПа, элювиальных глинистых грунтов осадочных аргиллито-алевролитовых пород были приняты согласно СП 22.13330.2011 [12] для коэффициента пористости *e* = 0,6 и приведены

в табл. 3. Расчетные значения характеристик глинистых грунтов в этом случае должны приниматься при следующих значениях коэффициента надежности по грунту: в расчетах оснований по деформациям $\gamma_g = 1$; в расчетах оснований по несущей способности для удельного сцепления $\gamma_{g(c)} = 1{,}5$, для угла внутреннего трения $\gamma_{g(\varphi)} = 1{,}15$ [12].

Таким образом, результаты лабораторных испытаний пермских аргиллитов, полученные на экспериментальной площадке, оказались заниженными по отношению к результатам полевых испытаний и к нормативным значениям, приведенным в СП 22.13330.2011 [12].

По мнению авторов, использование характеристик, получаемых в результате полевых испытаний статическим зондированием (E = 39,36 МПа, c = 45,38 кПа, φ = 25,74°), позволит принять более экономичные решения при проектировании фундаментов, однако в этом случае мы не учитываем возможную активизацию такого опасного геологического процесса, как подтопление подземными водами. Результаты исследований, выполненных А. Б. Пономаревым, Е. Н. Сычкиной, И. А. Ощепковой, М. А. Акбуляковым [13], свидетельствуют о том, что аргиллиты г. Перми крайне неустойчивы к воздействию воды, и согласно классификации ГОСТ 25100—95 [14] являются грунтами очень низкой прочности, обладающими высокой степенью размягчаемости в воде. Недостаточное знание или игнорирование специфики данных грунтов может привести к переоценке их механических характеристик, что может повлечь за собой запредельные деформации грунтового основания и нарушение конструкционной безопасности сооружений.

Использование в расчетах значений прочностных и деформационных характеристик грунтов, полученных в результате лабораторных опытов (E = 13,7 МПа, c = 39 кПа, φ = 23°), позволит исключить непредвиденные осадки зданий и сооружений, опирающихся на данные грунты. Своевременный учет специфики поведения аргиллитов при водонасыщении на стадии инженерно-геологических изысканий, разработки проектной и рабочей документации позволит исключить затраты на специальные мероприятия по восстановлению прочностных и деформационных свойств оснований фундаментов. Однако в этом случае мы принимаем менее экономичные решения при проектировании фундаментов.

Выводы

Проведенное исследование показало существенное влияние выбора метода испытаний на получаемые значения прочностных и деформативных свойств аргиллитов. Максимальные значения модуля деформации были зафиксированы при испытаниях радиальным прессиометром и установкой статического зондирования. Результаты лабораторных испытаний показали заниженные значения механических характеристик аргиллитов, как по отношению к полевым испытаниям, так и к нормативным значениям, приведенным в СП 22.13330.2011.

Особый интерес для практического использования представляли результаты статического зондирования. Это связано с тем, что удельное сопротивление грунта под конусом q_c отражает как прочность, так и деформируемость аргиллита. Для выявления вероятностных связей между прочностными и де-

формативными свойствами аргиллитов был произведен парный корреляционный анализ между характеристиками E и c, E и φ, φ и c. Проведенный графическим и аналитическим методом анализ позволил охарактеризовать все корреляционные связи как прямые (положительные), очень тесные и статистически значимые [9]. Это позволяет авторам рекомендовать для расчетов прочностных и деформативных характеристик аргиллитов г. Перми выявленные корреляционные зависимости: $E = 1215{,}8c - 15{,}815$; $E = 0{,}427e^{0{,}1711\varphi}$; $\varphi = 8{,}7062\ln(c) + 53{,}116$. Вместе с тем следует помнить, что аргиллиты г. Перми являются грунтами, обладающими высокой степенью размягчаемости в воде. Недостаточное знание или игнорирование специфики данных грунтов может привести к переоценке их механических характеристик, повлечь за собой запредельные деформации грунтового основания, что в конечном итоге, ведет к нарушению конструкционной безопасности сооружений. Поэтому на стадии инженерно-геологических изысканий, а также при проектировании оснований, сложенных аргиллитами, необходимо учитывать возможное ухудшение механических характеристик данных грунтов при водонасыщении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пономарев А. Б., Захаров А. В., Сурсанов Д. Н.* К вопросу использования верхнепермских отложений в качестве грунтовых оснований // Вестник ПГТУ. Урбанистика. 2011. № 1. С. 74—80.

2. Грунтоведение / В. Т. Трофимов, В. А. Королев, Е. А. Вознесенский, Р. С. Зиангиров. — 6-е изд., перераб. и доп. — М. : Изд-во МГУ, 2005. — 1024 с.

3. *Рыжков И. Б., Исаев О. Н.* Статическое зондирование грунтов : монография. — М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. — 496 с.

4. *Ощепкова И. А., Сычкина Е. Н.* Анализ влияния степени водонасыщенности на деформационные характеристики полускальных грунтов // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2012. № 2. С. 8—16.

5. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте «Жилой комплекс с помещениями общественного назначения, многофункциональным зданием по ул. Мира, 41 в Индустриальном районе г. Перми» (2 очередь). Договор № 1108/1, ВерхнекамТИСИз. Пермь, 2012 г.

6. ГОСТ 19912—2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. — М., 2001. — 22 с.

7. *Захаров М. С.* Статическое зондирование в инженерных изысканиях : учеб. пособие / СПб. гос. архит.-строит. ун-т. — СПб., 2007. 72 с.

8. ГОСТ 20522—96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. — М., 1996. — 28 с.

9. Математические методы и планирование эксперимента в грунтоведении и инженерной геологии / В. М. Кнатько, И. Е. Руднева, Е. Н. Баринов, Ю. С. Чижевский — Л. : Ленингр. ун-т, 1988. — 112 с.

10. ГОСТ 20276—99. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. — М., 1999. — 89 с.

11. ГОСТ 12248—96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. — М., 1996. — 61 с.

12. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01—83*. — М., 2011. — 162 с.

13. *Акбуляков М. А., Сычкина Е. Н., Пономарев А. Б.* Методика определения предела прочности на одноосное сжатие полускальных грунтов (на примере аргиллитов г. Перми). Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении : материалы Всеросс. научно-техн. конференции. Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2012. — 532 с.

14. ГОСТ 25100—95. Грунты. Классификация. — М., 1995. — 23 с.

1. *Ponomarev A. B., Zakharov A. V., Sursanov D. N.* K voprosu ispol'zovaniya verkhnepermskikh otlozheniy v kachestve gruntovykh osnovaniy // Vestnik PGTU. Urbanistika. 2011. № 1. S. 74—80.

2. Gruntovedenie / V. T. Trofimov, V. A. Korolev, E. A. Voznesenskiy, R. S. Ziangirov — 6-e izd., pererab. i dop. — M. : Izd-vo MGU, 2005. — 1024 s.

3. *Ryzhkov I. B., Isaev O. N.* Staticheskoe zondirovanie gruntov : monografiya. — M. : Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2010. — 496 s.

4. *Oshchepkova I. A., Sychkina E. N.* Analiz vliyaniya stepeni vodonasyshchennosti na deformatsionnye kharakteristiki poluskal'nykh gruntov // Vestnik PNIPU. Urbanistika. 2012. № 2. S. 8—16.

5. Otchet ob inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh na ob"ekte «Zhiloy kompleks s pomeshcheniyami obshchestvennogo naznacheniya, mnogofunktsional'nym zdaniem po ul. Mira, 41 v Industrial'nom rayone g. Permi» (2 ochered'). Dogovor № 1108/1, VerkhnekamTISIz. Perm', 2012 g.

6. GOST 19912—2001. Grunty. Metody polevykh ispytaniy staticheskim i dinamicheskim zondirovaniem. — M., 2001. — 22 s.

7. *Zakharov M. S.* Staticheskoe zondirovanie v inzhenernykh izyskaniyakh : ucheb. posobie / SPb. gos. arkhit.-stroit. un-t. — SPb., 2007. 72 s.

8. GOST 20522—96. Grunty. Metody statisticheskoy obrabotki rezul'tatov ispytaniy. — M., 1996. — 28 s.

9. Matematicheskie metody i planirovanie eksperimenta v gruntovedenii i inzhenernoy geologii / V. M. Knat'ko, I. E. Rudneva, E. N. Barinov, Yu. S. Chizhevskiy — L. : Leningr. un-t, 1988. — 112 s.

10. GOST 20276—99. Grunty. Metody polevogo opredeleniya kharakteristik prochnosti i deformiruemosti. — M., 1999. — 89 s.

11. GOST 12248—96. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya kharakteristik prochnosti i deformiruemosti. — M., 1996. — 61 s.

12. SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01—83*. — M., 2011. — 162 s.

13. *Akbulyakov M. A., Sychkina E. N., Ponomarev A. B.* Metodika opredeleniya predela prochnosti na odnoosnoe szhatie poluskal'nykh gruntov (na primere argillitov g. Permi). Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii : materialy Vseross. nauchno-tekhn. konferentsii. Novocherkassk : YuRGTU (NPI), 2012. — 532 s.

14. GOST 25100—95. Grunty. Klassifikatsiya. — M., 1995. — 23 s.

© Пономарев А. Б., Сычкина Е. Н., Акбуляков М. А., Черепанов А. Ю., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Анализ результатов экспериментальных исследований механических свойств аргиллитов / А. Б. Пономарев, Е. Н. Сычкина, М. А. Акбуляков, А. Ю. Черепанов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30 (49). С. 108—120.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 621.643.053:624.042.7(204.1)

Л. В. Муравьева

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОРСКОГО ТРУБОПРОВОДА, ПОДВЕРГАЮЩЕГОСЯ СЕЙСМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Для ситуаций, возникающих при катастрофических (расчетных) землетрясениях, основное требование к морским трубопроводам заключается в сохранении целостности при минимальном коэффициенте запаса. Таким образом, для этих условий запредельным состоянием будет разрушение сооружения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: морской подводный трубопровод, чувствительность морского трубопровода, вероятностный коэффициент запаса.

For a situation arising at catastrophic (design) earthquakes the main requirement to sea pipelines is integrity preservation at minimum assurance coefficient. Thus, for these conditions construction destruction will be an inordinate state.

K e y w o r d s: sea underwater pipeline, sensitivity of a sea pipeline, probability assurance coefficient.

Большинство морских месторождений находится вне границ территориального моря (12-мильная прибрежная зона) и, следовательно, технические требования к этим сооружениям и оборудованию должны соответствовать международным нормативным требованиям.

Целью данного исследования является уточнение показателей безопасности морского подводного трубопровода, на основе анализа результатов временного анализа и оценки критериев целостности.

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

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

где σ_{max} — максимальные суммарные напряжения в трубопроводе, определяемые согласно требований [1].

Расчет морского подводного трубопровода на сейсмостойкость рекомендуется выполнять прямым динамическим методом для максимального расчета землетрясения.

Система уравнений движения в случае динамического расчета подводного трубопровода на кинематические воздействия произвольного направления представлена в виде равенства

$$(m_s + m_a)\ddot{w} + (c_s + c_{hi})\dot{w} + k_s w = -\ddot{\Delta}_g(t), \qquad (2)$$

где m_s и m_a — соответственно масса трубопровода на 1 пог. м и присоединенная масса воды; c_s и c_{hi} — коэффициенты демпфирования трубопровода и влияния водной среды; k_s — коэффициент жесткости основания; w — вектор узловых перемещений; $\ddot{\Delta}_g(t)$ — акселерограмма, записанная для вынужденного движения морского дна в произвольном направлении.

Расчетная динамическая модель подводного трубопровода — дискретная пространственная модель метода конечных элементов (МКЭ). Временной анализ выполняется с помощью МКЭ. Для незаглубленных трубопроводов сейсмическое воздействие задается в форме записей акселлерограмм. Проведение прямого динамического расчета с учетом пространственной работы сооружения возможно только с рядом допущений: моделирования реакции грунта — коэффициент постели грунта, моделирования воздействия в виде сейсмического поля (рис. 1).

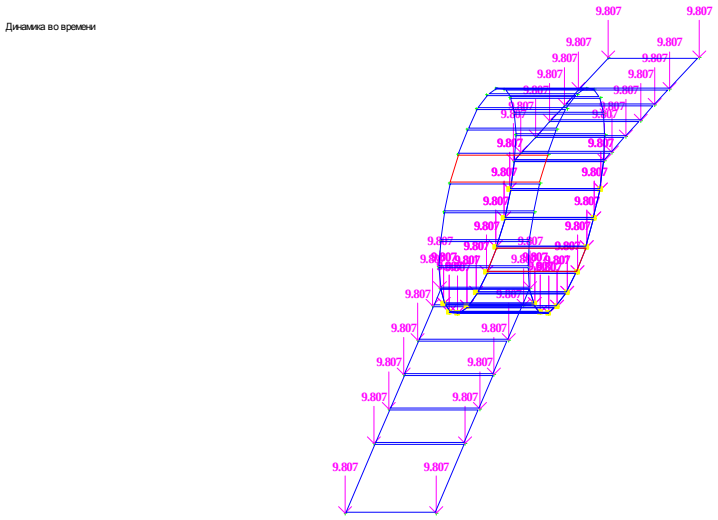


Рис. 1. Фрагмент конечно-элементной модели для прямого динамического расчета

При решении геометрически нелинейной задачи определения напряженно-деформированного состояния трубопровода при его пространственных перемещениях учтено влияние касательных напряжений, действующих в стенках трубы. Результаты расчета показывают, что распределение крутящих моментов и касательных напряжений в сечениях трубопровода имеет сложную форму.

В работе исследуется влияние изменчивости данных параметров на вероятностный коэффициент запаса трубопроводной конструкции.

По своей природе сейсмическое воздействие носит случайный характер.

Вероятностная модель, описывающая чувствительность системы «трубопровод — грунт», рассматривается как модель живучести конструкции.

Под моделями «нагрузка — сопротивление» в широком смысле понимаются любые вероятностные модели надежности, в которых вероятность отказа представляется в виде [2]

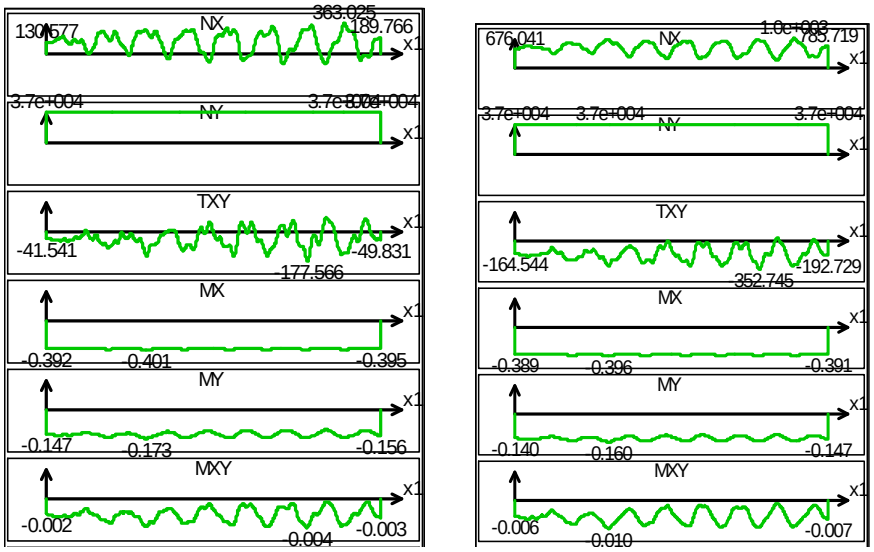
$$Q(t) = P\left\{x(\tau) \mid S\left(x,\tau\right) < R\left(x,\tau\right), \tau < t\right\}, \quad (3)$$

где $x(\tau)$ — вектор технических параметров состояния трубопровода (системы, объекта); τ — календарная наработка, изменяющаяся в интервале [0, t]; $S(x,t)$ — функция, характеризующая нагрузку на трубопровод; $R(x,t)$ — функция, характеризующая сопротивление материала (конструкции) трубопровода данным нагрузкам.

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

В документе [3] для термина «надежность» приводится такое пояснение: «…для объектов, которые являются потенциальным источником опасности, важными понятиями являются “безопасность” и “живучесть”».

Распределение касательных напряжений в элементе трубопровода (рис. 2, *а*) по результатам прямого расчета при прохождении сейсмической волны приведено на рис. 3.



а *б*

Рис. 2. Усилия в элементах трубопровода

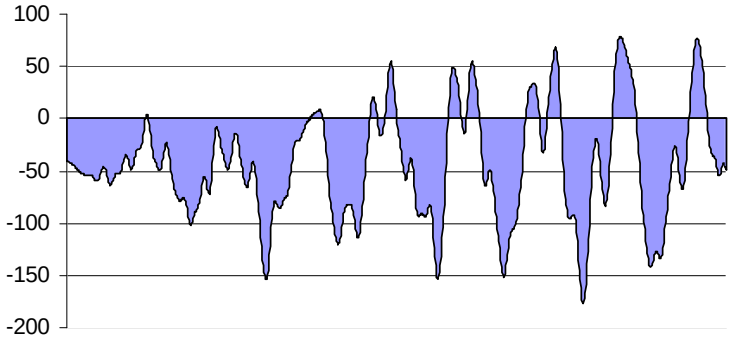


Рис. 3. Изменение напряжений T_{xy} в элементе рис. 2, *а*

Данные напряжения в сечении трубопровода можно рассматривать как стационарный нормальный процесс со спектральной плотностью, аппроксимируемой формулой (спектр Таджими)

$$G(\omega) = G_0 \frac{1 + 4\zeta_m^2 \left(\omega/\omega_m\right)^2}{\left[1 - \left(\omega/\omega_m\right)^2\right]^2 + 4\zeta_m^2 \left(\omega/\omega_m\right)^2}, \tag{4}$$

где G_0 — интенсивность изменения усилий в трубопроводе.

Считая, что несущая способность материала трубы R распределена по нормальному закону, выражение для функции надежности таково:

$$P_t = 1 - \frac{1}{2}\int_{\beta}^{\infty} \exp\left(-\frac{\beta^2}{2}\right) d\beta, \tag{5}$$

где $\beta = \dfrac{\bar{R} - \bar{F}}{\left(\sigma_R^2 + \sigma_F^2\right)^{1/2}}$ — индекс надежности (характеристика безопасности); $\bar{R}$ и $\bar{F}$ — средние значения величин R и F; σ_R и σ_F стандартные отклонения величин R и F.

Если обозначить коэффициенты вариации $\tilde{R}$ и $\tilde{F}$ — $A_R = \sigma_R / \bar{R}$ и $A_F = \sigma_F / \bar{F}$ соответственно, то характеристику безопасности можно представить в виде

$$\beta = \frac{k - 1}{\sqrt{A_F^2 + k^2 A_R^2}}, \tag{6}$$

где k — коэффициент запаса.

Решая уравнение (6) относительно величины k, получим следующее уравнение для расчета зависимости коэффициента запаса статической прочности от вероятности безотказной работы:

$$k = \frac{1 + \sqrt{1 - \left(\beta^2 A_F^2 - 1\right)\left(\beta^2 A_F^2 - 1\right)}}{1 - \beta^2 A_R^2}. \tag{7}$$

Изменения напряжений в элементе, при прохождении сейсмической волны, можно описать интенсивностью G_0. Коэффициент интенсивности изменения касательных напряжений в конструкции рассматривается как фактор, влияющий на прочность конструкции, — повреждение.

Функция работоспособности элемента с учетом повреждения будет

$$S\left(G_0\right) = \frac{1}{G_0^2 + 1} S_R. \tag{8}$$

Коэффициент безопасности подводного трубопровода с учетом повреждений

$$\beta_S = \frac{\bar{S}(G_0)}{\sqrt{\sigma_S^2 \left(\dfrac{1}{G_0^2 + 1}\right)^2}}. \tag{9}$$

Критерии прочности конструкции подводного трубопровода: максимальные суммарные напряжения в трубопроводе σ_{max}, МПа, результирующая деформация сжатия в точке сечения трубы ε_c, полная изгибная деформация в точке сечения трубопровода ε_b [1]. Эти критерии рассматриваются в отечественной и зарубежной нормативной литературе.

Главные напряжения в оболочке определяются исходя из следующих соотношений:

$$N_{1,2} = \frac{N_x + N_z}{2} \pm \left(\left(\frac{N_x + N_z}{2} \right)^2 + T_{xy}^2 \right)^{1/2}, \tag{10}$$

где $N_x^{H/B} = N_x \pm 6\frac{M_x}{h^2}$; $N_y^{H/B} = N_y \pm 6\frac{M_y}{h^2}$ и $T_{xy}^{H/B} = T_{xy} \pm 6\frac{M_{xy}}{h^2}$ — осевые напряжения на нижней и верхней поверхностях оболочки.

Суммарные напряжения в точке сечения трубопровода σ_{max} определяются согласно правил [1]

$$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_{hp}^2 - \sigma_x \sigma_{hp} + 3\tau^2} \le k_\sigma R_e, \tag{11}$$

где σ_x — суммарные продольные напряжения, МПа; σ_{hp} — суммарные кольцевые напряжения, МПа; τ — тангенциальные (касательные) напряжения, МПа; k_σ — коэффициент запаса по суммарным напряжениям.

В нормативных документах [4] отмечено, что касательные напряжения обычно не оказывают влияния на пластическое состояние оболочки и ими пренебрегают.

Критерии по деформациям в сечении трубопровода из условий местной устойчивости стенки трубы [1]

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{lcr}} \le \theta^*, \tag{12}$$

где ε_b — предельно допустимая изгибная деформация, %; ε_{lcr} — критическая продольная деформация только при изгибе газопровода, %; θ^* — параметр овальности сечений труб принимается не более 0,5 % [1].

Критическая продольная деформация при изгибе газопровода принимается из теоретических разработок теории устойчивости цилиндрических оболочек в виде

$$\varepsilon_{lcr} = \frac{t}{2D}.$$

Параметр критического напряжения вычисляется следующим образом [1]:

$$\sigma_{cr}^* = \frac{\sigma_{cr}}{\psi_N \sigma_y};$$

$$\sigma_{cr} = \frac{E_0}{1 - \mu_0^2} \left(\frac{t}{D} \right)^2,$$

где ψ_N — понижающий коэффициент, учитывающий влияние продольной силы.

Деформация ε_w сжатия, при которой начинается образование гофр, может быть рассчитана по следующей формуле:

$$\varepsilon_w = \frac{\varepsilon_c}{\gamma_R}, \tag{13}$$

где $\varepsilon_c = 0,78\left(\frac{t}{D} - 0,01\right)\left(1 + 5\frac{\sigma_h}{\sigma_т}\right)\alpha_{gw}\alpha_h^{-1,5}$; $\sigma_h = p\frac{\left(\frac{D}{t} - 1\right)}{2}$; $\alpha_{gw} = \min\left(1; 1,2 - 0,01\frac{D}{t}\right)$,

здесь t — толщина стенки трубы; D — диаметр трубы; σ_h — окружное напряжение; $\sigma_т$ — предел текучести; α_h — максимальное допустимое отношение предела текучести к пределу прочности; p — внутреннее давление; γ_R — коэффициент сопротивления деформации. Для регионов высокого риска (например, вблизи платформ или населенных пунктов) $\gamma_R = 2,6$.

Максимальная изгибная деформация в точке сечения трубопровода ε_b определяется так:

$$\varepsilon_b = \pm\frac{\pi D\delta'}{W^2}, \tag{14}$$

где δ' — проектное смещение грунта основания.

Функция надежности заданной системы

$$P_t = P\left[\sigma_e(G_0, \left\{\overline{S}_i(t), \overline{v}(t)\right\} \in \Omega_0\right] = 1 - \frac{1}{2}\int_{\beta}^{\infty} \exp\left(-\frac{G_0\beta^2}{2}\right)d\beta, \tag{15}$$

где величина $\overline{S}_i(t)$ — случайная функция напряжений в элементах конструкции и $\overline{v}(t)$ — функция перемещений трубопровода.

В исследовании принята конструктивная схема прокладки трубопровода — незаглубленная, диаметр труб $D_н$ = 52,9 см. Допускаемые напряжения в металле труб σ = 158,85 МПа. Коэффициент значимости нагрузки от внутреннего давления γ = 1,15.

При анализе НДС учитывались технологические нагрузки на трубопровод: избыточное давление транспортируемого продукта 5,5 МПа (природный газ), волновые нагрузки, сейсмическое воздействие (акселерограмма).

В табл. приведены критерии влияния сейсмических нагрузок и проектных технологических нагрузок на прочность трубопровода. Исследованы эквивалентные напряжения, действующие в стенке трубы.

Интенсивность изменения усилий в трубопроводе определена согласно (4), G_0 = 0,483.

Критерии прочности конструкции трубопровода при сейсмическом воздействии

Тип разрушения	Критерий проектного землетрясения (SLE) [1]	Критерий максимального расчетного землетрясения (DLE)
Местная устойчивость стенки трубы	$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{lcr}} \le \theta *$	Условие для кольцевых напряжений от внутреннего давления $0,0019 \le 0,005$

Окончание табл.

Тип разрушения	Критерий проектного землетрясения (SLE) [1]	Критерий максимального расчетного землетрясения (DLE)
Максимальная изгибная деформация	$\varepsilon_{ac}/\varepsilon_w \le 0,8$ $\varepsilon_b \le 0,04$	Согласно расчету $\varepsilon_b \le 0,0017$
Вероятностный коэффициент повреждений	$K_{G_0}\dfrac{1}{G_0^2+1}$	Согласно расчету равен 0,81

Напряжения по Мизесу не превышают установленный критерий — предел текучести, но выявленная чувствительность к колебаниям при прохождении сейсмической волны привела к уточнению вероятностного коэффициента надежности.

Проведенный анализ факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние трубопроводов при особом сочетании нагрузок, позволяет сделать следующие выводы:

1. При использовании нелинейного компьютерного расчета следует учитывать изменения расчетных напряжений, если изменения напряжений быстро меняются вблизи сопряжений элементов [4].

2. Оценку надежности морских трубопроводов при особом сочетании нагрузок необходимо производить с учетом чувствительности к колебаниям при динамических воздействиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов. — СПб., 2012.

2. *Муравьева Л. В., Тимофеев О. Я.* Проблемы оценки безопасности морского трубопровода // Труды RAO/GIS Offshore. — СПб. 15—18 сентября 2011 г.

3. ГОСТ 27.002—89. Надежность в технике. Основные понятия и определения. — М., 1990.

4. ТКП EN 1993-1-6-2009 (02250). Проектирование стальных конструкций. Часть 1—6. Прочность и устойчивость оболочек.

1. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh podvodnykh truboprovodov. — SPb.,. 2012.

2. *Murav'eva L. V., Timofeev O. Ya.* Problemy otsenki bezopasnosti morskogo truboprovoda // Trudy RAO/GIS Offshore. — SPb. 15—18 sentyabrya 2011 g.

3. GOST 27.002—89. Nadezhnost' v tekhnike. Osnovnye ponyatiya i opredeleniya. — M., 1990.

4. TKP EN 1993-1-6-2009 (02250). Proektirovanie stal'nykh konstruktsiy. Chast' 1—6. Prochnost' i ustoychivost' obolochek.

© Муравьева Л. В., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Муравьева Л. В. Анализ чувствительности морского трубопровода, подвергающегося сейсмическим воздействиям // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 121—127.

УДК [627.8] + [621.224.8]

Д. В. Кашарин

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНЫХ ВОДОПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены основные расчетные положения по мобильным водоподпорным конструкциям сооружений инженерной защиты из композитных материалов при водохозяйственном проектировании.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гидротехническое строительство, мобильные, сооружения инженерной защиты, мембранно-вантовые плотины, гидроэнергетика.

The basic calculated positions for mobile water-retaining constructions of engineering protection made of composite materials at hydroeconomic design are considered in the article.

K e y w o r d s: hydrotechnical construction, mobile, constructions of engineering protection, membrane and guy dams, hydropower.

В настоящее время актуальной задачей является разработка водоподпорных сооружений, оказывающих наименьшее влияние на экосистему водотока, обеспечивая при этом решение таких задач, как водо-, энергоснабжение и инженерную защиту населенных мест и предприятий.

Применяемые в зарубежной практике конструкции из замкнутых композитных оболочек должны быть оборудованы насосными и компрессорными станциями, обеспечивающими регулирование уровня воды в верхнем бьефе. Основное отличие мембранных конструкций из незамкнутых водоподпорных оболочек от наполняемых заключается в том, что их проектная и несущая способности поддерживаются не за счет избыточного давления заполнителя, а посредством вантовой системы, прикрепленной к береговым или русловым анкерам.

Б. И. Сергеевым, В. Л. Бондаренко, В. А. Волосухиным и другими предлагаются расчеты мембранной оболочки аналогично замкнутым оболочкам. В. И. Кашариным на основании проведенных комплексных исследований разработаны обобщенные зависимости для цилиндрических гидротехнических мягких конструкций. Ими является взаимосвязанная система *i*-го количества уравнений, на которое разбивается форма поверхности оболочки с учетом линейной аппроксимации нагрузки [1—3].

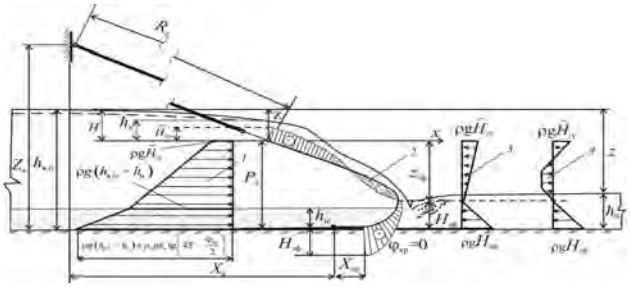
Линейная зависимость отношения давления на *i*-м участке p_i к нормальному погонному усилию N можно представить в следующем виде:

$$\frac{p_i}{N} = 2a_i z + b_i, \qquad (1)$$

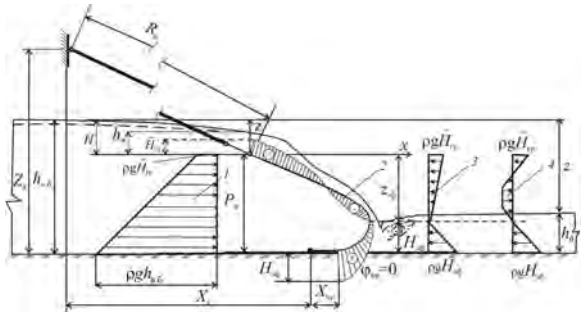
где a_i и b_i — коэффициенты нагрузки на *i*-м участке, определяются в зависимости от сочетания нагрузок и разности внутреннего и внешнего давления.

Общие зависимости теории невесомых цилиндрических оболочек для *i*-го участка при $a \neq 0$ и модуле эллиптического интеграла $0 < k \leq 1$ представлены на рис. 1 [3].

В случае модуля эллиптического интеграла $0 < k \leq 1$.



а



б

Рис. 1. Расчетная схема мембранно-вантовой плотины: *а* — в случае воздействия наносов и при переливе через гребень оболочки; *б* — при отсутствии давления наносов: *1* — эпюра давления со стороны верхнего бьефа; *2* — измерение гидродинамического напора по периметру оболочки (экспериментальные данные); *3, 4* — аппроксимации гидродинамического давления со стороны нижнего бьефа соответственно двумя и четырьмя линейными функциями

$$\begin{cases} z = \pm\dfrac{2}{k\sqrt{2|a|}}\left[\sqrt{1-0{,}5k^2\left(1\mp C_1\right)} \pm \varepsilon_2\Delta\left(k,\varphi\right)\right]; \\ \delta\left(x,x_0\right) = \pm\dfrac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\dfrac{k}{\sqrt{2|a|}}\delta A\left(k;\varphi,\psi_0\right); \\ \delta\left(l,l_0\right) = \dfrac{K}{\sqrt{2|a|}}\delta F\left(k;\psi,\psi_0\right); \\ \delta\left(S,S_0\right) = x_0\delta\left(z,z_0\right) \pm \dfrac{1}{\varepsilon_1 2|a|}\left[\begin{matrix} 2\Delta\left(k;\psi;\psi_0\right)\delta A\left(k;\psi;\psi_0\right) - \\ -\ \delta\sin\left(2\psi,2\psi_0\right) \end{matrix}\right], \end{cases} \tag{2}$$

где z, z_0; x, x_0 — соответственно ординаты и абсциссы оболочки, соответствующие началу и концу участка; l, l_0 — длина дуги соответственно начальная и текущая; S, S_0 — периметр оболочки соответственно текущий и начальный; $\Delta\left(k,\psi\right) = \sqrt{1+k^2\sin^2\psi}$; $A\left(k,\psi\right) = \dfrac{2}{k^2}E\left(k,\psi\right) - \left(\dfrac{2}{k^2}-1\right) - F\left(k,\psi\right), k$ — параметр функции ξ, определяется из формулы $k^2 = 2\Big/\left(\dfrac{b^2}{4|a|} + \left(1\mp C_1\right)\right)$; C_1 — постоянная интегрирования, определяется как $C_1 = -\cos\varphi_0$.

$$\operatorname{sign}\varepsilon_1 \begin{cases} -1, \text{ если } z'z'' < 0; \\ +1, \text{ если } z'z'' > 0. \end{cases} \tag{3}$$

$$\operatorname{sign}\varepsilon_2 \begin{cases} -1, & \text{если } a>0,\ b>0,\ P<0;\ a<0,\ P \gtrless 0; \\ & \text{если } a>0,\ b<0, P>0; \\ +1, & \text{если } a>0,\ b>0,\ P>0; \\ & \text{если } a>0,\ b>0, P<0. \end{cases} \tag{4}$$

При $k>1$

$$\begin{cases} z = \pm\dfrac{2}{k\sqrt{2|a|}}\left[\sqrt{\bar{k}^2 - 0{,}5\left(1 \mp C_1\right)} \mp \varepsilon_2 \bar{k}\cos\bar{\psi}\right]; \\ \delta\left(x, x_0\right) = \pm\dfrac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\dfrac{1}{\sqrt{2|a|}}\left[2\delta E\left(\bar{k};\bar{\psi},\bar{\psi}_0\right)\right]; \\ \delta\left(l, l_0\right) = \dfrac{1}{\sqrt{2|a|}}\delta F\left(\bar{k};\bar{\psi},\bar{\psi}_0\right); \\ \delta\left(S, S_0\right) = \dfrac{\bar{k}}{\varepsilon_1|a|}\left\{\begin{matrix} \cos\psi\left[2\delta E\left(\bar{k},\bar{\psi},\bar{\psi}_0\right) - \delta F\left(\bar{k};\bar{\psi},\bar{\psi}_0\right)\right] - \\ -\delta\sin\left(\psi,\psi_0\right)\delta\Delta\left(\bar{k};\bar{\psi},\bar{\psi}_0\right) \end{matrix}\right\}, \end{cases} \tag{5}$$

где $\bar{k} = \dfrac{1}{k}$; $\bar{\psi} = \arcsin\left(k\sin\psi\right)$.

В (5) при $a>0$ берется верхний знак, при этом $\psi = (\pi - \varphi)/2$; при $a<0$ — нижний знак и $\psi = \varphi/2$.

В случае, когда $k \to 0$ ($a \to 0$) расчетные формулы упрощаются и имеют вид следующих зависимостей [1, 3]:

$$\begin{cases} z = -\dfrac{C_1 + \cos\varphi}{b}; \\ \delta\left(x, x_0\right) = \dfrac{1}{\varepsilon_1 b}\delta\sin\left(\varphi,\varphi_0\right); \\ \delta\left(l, l_0\right) = \dfrac{\varphi - \varphi_0}{b}; \\ S = S_0 + \dfrac{1}{b}\left\{\begin{matrix} \left(\dfrac{1}{\varepsilon_1 b}\sin\varphi_0 - x\right)\delta\cos\left(\varphi,\varphi_0\right) + \\ + \dfrac{1}{2\varepsilon_1 b}\left[\delta\left(\varphi,\varphi_0\right) - \dfrac{\delta\sin\left(2\varphi, 2\varphi_0\right)}{2}\right] \end{matrix}\right\}. \end{cases} \tag{6}$$

Поперечное натяжение, возникающее в мягкой незамкнутой оболочке (см. рис. 1, *а*), а в случае перелива и воздействия наносов с учетом постоянных интегрирования C_i и граничные углы φ_i на расчетных участках вычисляются по следующей зависимости:

$$N = \frac{\rho_{н} \cdot g \cdot h_{н}^{2} + \rho g \left\{ \left[\left(P_{в} - 2H \right) P_{в} - \bar{H}_{гр} z_{зф} \right] - \left(P_{в} - z_{зф} \right)^{2} \right\}}{2\left(\cos\varphi_{n} - \cos\varphi_{i} \right)}, \quad (7)$$

где C_{i+1} определяется в соответствии с зависимостью как $C_{i+1} = C_{i} + \left(a_{i} - a_{i+1} \right) h^{2} - \left(b_{i} - b_{i+1} \right) h$; $\varphi_{i} = \pi - \arccos\left(a_{i} h^{2} - b_{i} h + c_{i} \right)$; n — конечный участок; $\rho_{н}$ — плотность наносов, кг/м^{3}.

Исходя из опыта эксплуатации данных конструкций в качестве временных и сезонно-действующих наносов со стороны верхнего бьефа фактически не образуется, и (7) может быть представлена в следующем виде (см. рис. 1, *б*):

$$N = \frac{\rho g \left\{ \left[\left(P_{в} - 2H \right) P_{в} - \bar{H}_{гр} z_{зф} \right] - \left(P_{в} - z_{зф} \right)^{2} \right\}}{2\left(\cos\varphi_{n} - \cos\varphi_{i} \right)}. \quad (8)$$

Представленные расчетные схемы определения параметров оболочки по участкам сложны, что обусловлено необходимостью расчета коэффициентов нагрузки на каждом участке с учетом изменения гидродинамической нагрузки в нижнем бьефе. В то же время максимальная нагрузка на оболочку (если не учитывать ее колебания в момент начала перелива потока через гребень) возникает при отсутствии воздействий со стороны нижнего бьефа.

Основным недостатком предложенной ранее теории являлось отсутствие учета изменения прилегания водоподпорной оболочки к флютбету в нижнем бьефе $X_{пр}$, что наблюдается в значительном числе случаев при установке водоподпорной оболочки.

В связи с этим автором предлагается использовать для предварительного расчета водоподпорной оболочки, закрепленной в верхней части вантовой системой, более простые зависимости, основанные на ее конструктивных особенностях [1, 3].

Вводим следующее допущение: пренебрегаем весом вант, тогда вертикальные ванты и ванта-подбор находятся в одной плоскости, образующей угол с горизонтальной поверхностью, проходящей в месте соединения гребня мягкой мембранной оболочки и вантовой системы $\varphi_{гр}$. Данный угол конструктивно изменяется в следующих пределах: $\varphi_{гр} \in \left[30,\ 180° \right]$. Расчетные схемы водоподпорной оболочки представлены без перелива через гребень на рис. 2, *а*, а с переливом — на рис. 2, *б*.

Угол крепления водоподпорной оболочки $\varphi_{кр}$ в зависимости от условий работы может меняться в широких пределах $0 \le \varphi_{кр} < 180°$. Однако угол $\varphi_{кр} < 0$ возможен только при ее закреплении на завышенном флютбете с провисанием оболочки в сторону нижнего бьефа. Такая конструкция не устойчива и в дальнейшем мы не будем ее рассматривать.

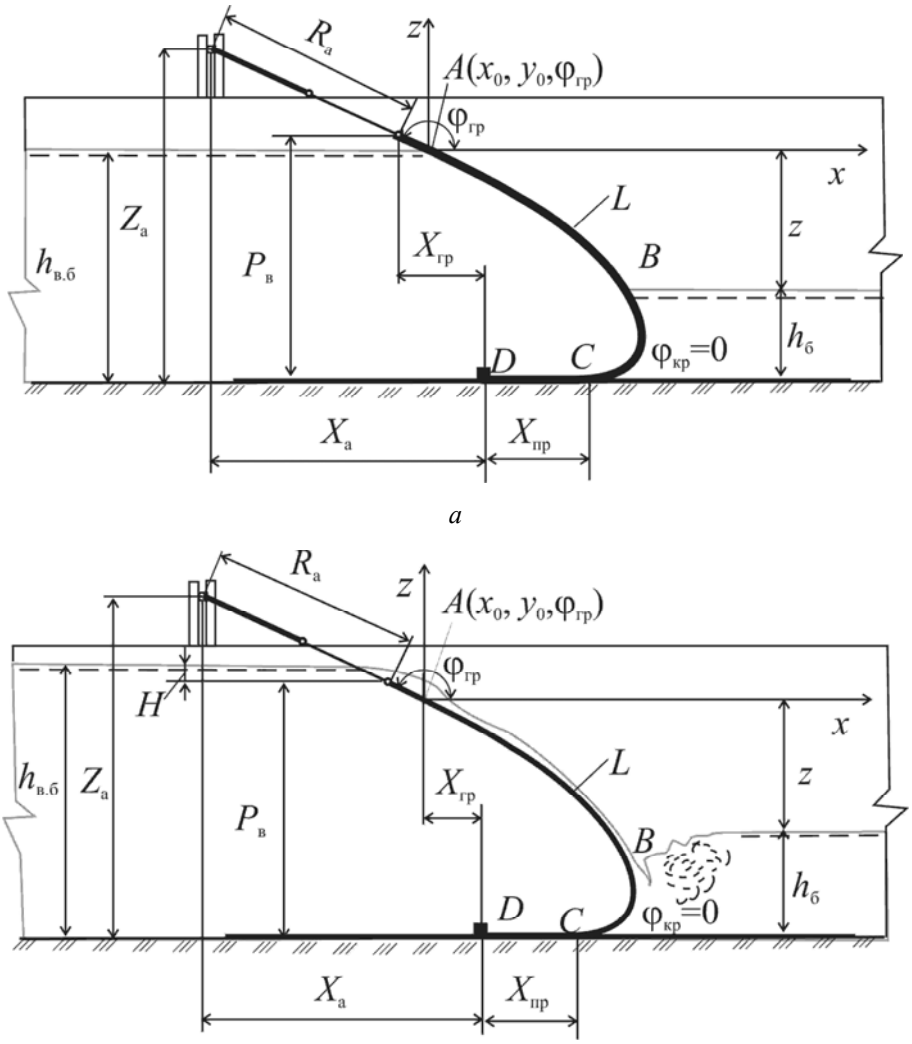


Рис. 2. Расчетные схемы водоподпорных оболочек при $\varphi_{кр} = 0$: *а* — водоподпорная оболочка при отсутствии подтопления; *б* — водоподпорная оболочка с переливом при отсутствии подтопления

Так как опыт эксплуатации мембранно-вантовых плотин позволяет говорить о ненадежности крепления на гибком флютбете при $\varphi_{кр} > 0$ рассматриваем только случай прилегания оболочки при $\varphi_{кр} = 0$ (см. рис. 2, *б*). Конструктивно угол крепления не может быть более 90°, поэтому для наших расчетных случаев принимаем $\varphi_{кр} \in [0, 90°]$. Данные углы $\varphi_{гр}$ и $\varphi_{кр}$ могут служить граничными условиями при определении формы поперечного сечения оболочки.

Так как гребень мягкой мембранной оболочки, имеющей периметр L и находящейся под действием гидростатического давления, перемещается по дуге окружности без учета растяжимости материала вантовой фермы

радиусом $R_а$, центр которой находится на расстоянии $X_а$ и $Z_а$ от точки закрепления нижней образующей мембраны, усилие в оболочке можно представить в зависимости от следующих факторов: $N = f\left(R_а; X_а; Z_а; L; P_в; h_{в.б}; h_б\right)$.

Исходными данными для расчета незамкнутых водоподпорных оболочек являются условия их закрепления: $Z_а$, $X_а$, $R_а$, $h_{в.б}$, $h_б$.

В первом приближении, задаваясь значениями необходимой высоты водоподпорной оболочки $P_в$, принимаем значения периметра оболочки $L \in \left[2P_в, 4P_в\right]$.

Находим основные параметры (X_0, R_0, Z_0) закрепления водоподпорной оболочки (0,02…0,03) L_0.

Опыт применения Т. П. Кашариной незамкнутых водоподпорных оболочек показывает, что при высоте плотины $P_в$ до 2,5 м наиболее рациональным является радиус вантовой фермы R_0, не превышающий 12 м, соотношение периметра оболочки и величины прилегания оболочки не должно быть менее $L_0 = 4,0X_{пр}$ и не превышать 1,0 м [4].

Автором было разработано подпорно-регулирующее гидроэнергетическое сооружение из композитных материалов (рис. 3). Основание узла данного сооружения позволяет установить водоподпорную оболочку с углом закрепления $\varphi_{кр} > 0$ [5].

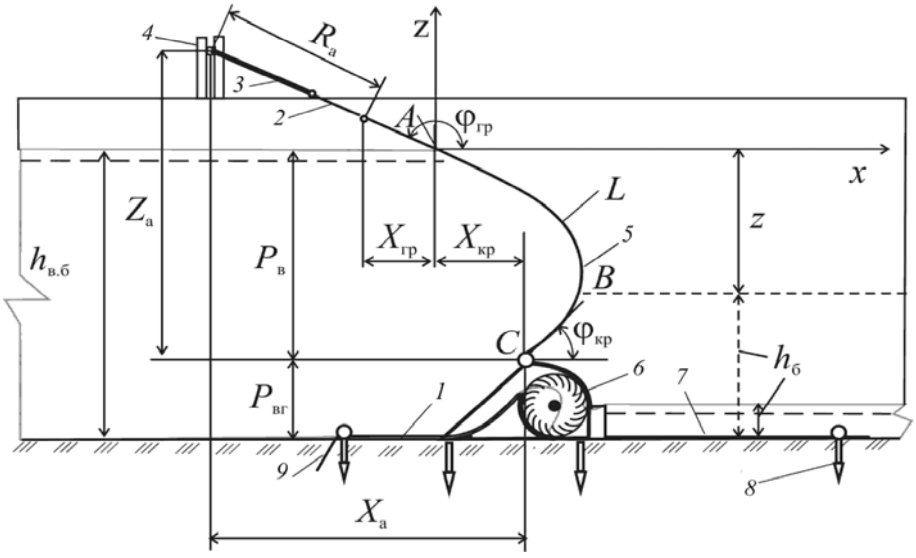


Рис. 3. Расчетные схемы водоподпорных оболочек гидроэнергетического сооружения с поперчно-струйной турбиной (Банки): *1* — понур; *2* — ванты-оттяжки; *3* — ванта-подбор; *4* — береговые анкерные опоры; *5* — водоподпорная оболочка; *6* — гидроагрегат; *7* — рисберма; *8* — русловые анкера; *9* — узел крепления понура

Рассмотрим основные расчетные положения, по представленным конструкциям на рис. 2, 3.

Для расчетной схемы (см. рис. 2, *а*) поперечное напряжение, коэффициенты нагрузки и модуль эллиптических интегралов вычисляются по следующим зависимостям:

$$N=\frac{\rho g h_{\text{в.б}}^2}{2\left(1-\cos\varphi_{\text{гр}}\right)};\ \ a_1=-\frac{\rho g}{2N};\ \ b_1=0\ ;\ k_1^2=\frac{2}{1+C_1}\ ;\ C_1=-\cos\varphi_{\text{гр}}.$$

В этом случае $k_1>0$ и $a_1<0$, $\overline{\psi}_{\text{кр}}=0$, поэтому второе и третье уравнения системы (6) будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases}\delta\left(x_C,x_A\right)=-\dfrac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\dfrac{1}{\sqrt{2|a|}}\left[2\delta E\left(\overline{k}_1;0,\overline{\psi}_{\text{гр}}\right)-\delta F\left(\overline{k}_1;0,\overline{\psi}_{\text{гр}}\right)\right];\\ \delta\left(l_C,l_A\right)=\dfrac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\delta F\left(\overline{k}_1;0,\overline{\psi}_{\text{гр}}\right).\end{cases}\tag{9}$$

Геометрические соотношения для этого расчетного случая

$$\begin{cases}\delta\left(x_C,x_A\right)=\left(Z_{\text{а}}-h_{\text{вб}}\right)\operatorname{ctg}\varphi_{\text{гр}}+X_{\text{а}}+X_{\text{пр}};\\ \delta\left(l_C,l_A\right)=L-\left(\dfrac{Z_{\text{а}}-h_{\text{в.б1}}}{\sin\varphi_{\text{гр}}}-R_{\text{а}}\right)-X_{\text{пр}}.\end{cases}\tag{10}$$

Тогда из (10) найдем длину прилегания оболочки:

$$X_{\text{пр}}=\delta\left(x_C,x_A\right)-\left(Z_{\text{а}}-h_{\text{в.б.}}\right)\operatorname{ctg}\varphi_{\text{гр}}-X_{\text{а}};\tag{11}$$

$$\delta\left(l_C,l_A\right)=L-\left(\frac{Z_{\text{а}}-h_{\text{в.б}}}{\sin\varphi_{\text{гр}}}-R_{\text{а}}\right)-\delta\left(x_C,x_A\right)+\left(Z_{\text{а}}-h_{\text{в.б.}}\right)\operatorname{ctg}\varphi_{\text{гр}}+X_{\text{а}}.\tag{12}$$

Подставив геометрические соотношения (11) и (12) в систему уравнений (9), получим одно уравнение с одним неизвестным $\varphi_{\text{гр}}$:

$$\begin{aligned}&\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\frac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\left[2\delta E\left(\overline{k}_1;0,\overline{\psi}_{\text{гр}}\right)-\delta F\left(\overline{k}_1;0,\overline{\psi}_{\text{гр}}\right)\right]-\frac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\delta F\left(\overline{k}_1;0,\overline{\psi}_{\text{гр}}\right)-\\ &-\frac{\left(Z_{\text{а}}-h_{\text{в.б}}\right)\left(1-\cos\varphi_{\text{гр}}\right)}{\sin\varphi_{\text{гр}}}+L+R_{\text{а}}+X_{\text{а}}=0.\end{aligned}\tag{13}$$

Величина прилегания оболочки для данного случая определяется так:

$$X_{\text{пр}}=-\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\frac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\left[2\delta E\left(\overline{k}_1;0,\overline{\psi}_{\text{гр}}\right)-\delta F\left(\overline{k}_1;0,\overline{\psi}_{\text{гр}}\right)-\frac{Z_{\text{а}}-h_{\text{в.б}}}{\operatorname{tg}\varphi_{\text{гр}}}-X_{\text{а}}\right].\tag{14}$$

При уровне воды в нижнем бьефе $h_{\text{б}}>0$ и угле укрепления оболочки $\varphi_{\text{кр}}=0$ (см. рис. 2, *б*) поперечное напряжение определяется по зависимости

$$N = \frac{\rho g\left[h_{\text{в.б}}^2\left(h_{\text{в.б}} - z\right)^2\right]}{2\left(1-\cos\varphi_{\text{гр}}\right)}.$$

Коэффициенты нагрузки для первого участка определяются следующим образом:

$$a_1 = -\frac{\rho g}{2N},\ b_1 = 0;\ k_1^2 = \frac{2}{1+C_1};\ C_1 = -\cos\varphi_{\text{гр}};\ \psi_1 = \frac{\varphi_1}{2};$$

$$\varphi_1 = \pi - \arccos\left(a_1 z^2 - b_1 z + C_1\right).$$

На втором участке коэффициенты нагрузки

$$a_2 = 0;\ b_2 = \frac{\rho g z}{N};\ k_2^2 = \frac{2}{1+C_2};\ \ C_2 = C_1 + \left(a_1 - a_2\right)z^2 - \left(b_1 - b_2\right)z.$$

С учетом полученных ранее геометрических соотношений (9—14) находим зависимости для определения величины прилегания оболочки

$$\begin{aligned}
&\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\frac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\left[2\delta E\left(\overline{k}_1;\overline{\psi}_1,\overline{\psi}_{\text{гр}}\right) - \delta F\left(\overline{k}_1;\overline{\psi}_1,\overline{\psi}_{\text{гр}}\right)\right] + \frac{\sin\varphi_1}{\varepsilon_1 b_2} - \\
&-\frac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\delta F\left(\overline{k}_1;\overline{\psi}_1,\overline{\psi}_{\text{гр}}\right) - \frac{\varphi_1}{b_2} - \frac{\left(Z_{\text{а}} - h_{\text{в.б}}\right)\left(1-\cos\varphi_{\text{гр}}\right)}{\sin\varphi_{\text{гр}}} + \\
&+L + R_{\text{а}} + X_{\text{а}} = 0; \qquad (15)\\
&X_{\text{пр}} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\frac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\left[2\delta E\left(k_1;\psi_1,\psi_{\text{гр}}\right) - \delta F\left(k_1;\psi_1,\psi_{\text{гр}}\right)\right] - \\
&-\frac{\sin\varphi_1}{\varepsilon_2 b_2} - \frac{Z_{\text{а}} - h_{\text{в.б}}}{\operatorname{tg}\varphi_{\text{гр}}} - X_{\text{а}}.
\end{aligned}$$

Для расчетной схемы подпорно-регулирующего гидроэнергетического сооружения (см. рис. 3) при отсутствии уровня воды в нижнем бьефе $h_{\text{б}} = 0$ и угле крепления оболочки $\varphi_{\text{кр}} > 0$ коэффициенты нагрузки на участке AC в (1) можно представить следующим образом:

$$b = 0\ ;\ a = -\frac{\rho g}{2N},$$

и модуль эллиптических интегралов будет определяться по следующей зависимости:

$$k^2 = \frac{2}{1+C},$$

где $C = -\cos\varphi_{\text{гр}}$.

Тогда поперечное натяжение определяется по формуле

$$N = \frac{\rho g h_{\text{в.б}}}{2\left(\cos\varphi_{\text{кр}} - \cos\varphi_{\text{гр}}\right)}.$$

Приращения абсциссы и длины оболочки определяем по следующим зависимостям [3]:

$$\begin{cases} \delta\left(x_C, x_A\right) = X_{\text{а}} + \left(Z_{\text{а}} - h_{\text{в.б}}\right)\operatorname{ctg}\varphi_{\text{гр}}; \\ \delta\left(l_C, l_A\right) = L - \left(\dfrac{Z_{\text{а}} - h_{\text{в.б}}}{\sin\varphi_{\text{гр}}} - R_{\text{а}}\right). \end{cases} \tag{16}$$

Для случая $k > 1$ и $a < 0$, в соответствии с (2), уравнение (16) будет иметь вид системы двух нелинейных уравнений с двумя неизвестными $\varphi_{\text{кр}}$ и $\varphi_{\text{гр}}$:

$$\begin{cases} \dfrac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\dfrac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\left[2\delta E\left(\bar{k}_1; \bar{\psi}_{\text{кр}}, \bar{\psi}_{\text{гр}}\right) - \delta F\left(\bar{k}_1; \bar{\psi}_{\text{кр}}, \bar{\psi}_{\text{гр}}\right)\right] + X_{\text{а}} + \left(Z_{\text{а}} - h_{\text{в.б}}\right)\operatorname{ctg}\varphi_{\text{гр}} = 0; \\ \dfrac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\delta F\left(\bar{k}_1; \bar{\psi}_{\text{кр}}, \bar{\psi}_{\text{гр}}\right) + \dfrac{Z_{\text{а}} - h_{\text{в.б}}}{\sin\varphi_{\text{гр}}} - \left(L + R_{\text{а}}\right) = 0, \end{cases} \tag{17}$$

которую решают численным методом.

Применяя численные методы, нетрудно определить все отдельные параметры оболочки из данной системы.

При переливе воды через гребень водослива (см. рис. 2) и для всех иных-представленных выше случаев поперечное натяжение рассчитывается по зависимости:

$$N = \rho g \frac{\left(h_{\text{в.б}} + 2H\right)P_{\text{в}} - \bar{H}_{\text{гр}} z_{\text{зф}} - \left(h_{\text{в.б}} - z_{\text{зф}}\right)^2}{2\left(\cos\varphi_{\text{кр}} - \cos\varphi_{\text{гр}}\right)}, \tag{18}$$

где $\bar{H}_{\text{гр}} = f_1\left(\varphi_{\text{гр}}; \dfrac{H}{P_{\text{в}}}\right)$ — гидродинамическое давление на гребне водослива; $z_{\text{зф}} = f_1\left(\varphi_{\text{гр}}; \dfrac{H}{P_{\text{в}}}\right)$ — относительное фиктивное расстояние от гребня водослива до уровня воды в нижнем бьефе, определяемое по номограммам [3].

Коэффициенты нагрузки определяют по следующим выражениям:

$$a_1 = -\frac{\rho g\left(1+\beta\right)}{2N};\ b_1 = -\frac{\rho g\left(H + \bar{H}_{\text{гр}}\right)}{N};\ a_2 = 0;\ b_2 = -\frac{\rho g\left(H + z_{\text{зф}}\right)}{N}. \tag{19}$$

В условиях перелива через гребень оболочки $h_{\text{в.б}} > P_{\text{в}}$ и ее прилегания к флютбету $\varphi_{\text{кр}} = 0$, и наличия уровня воды в нижнем бьефе $h_{\text{б}} > 0$ (см. рис. 2, *б*) в случае если модуль эллиптического интеграла $k_1 > 1$ параметры водоподпорной оболочки определяются по следующим зависимостям:

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\frac{1}{\sqrt{2|a|}}\left[\frac{2}{k_1}\delta E\left(\bar{k}_1;\bar{\psi}_1,\bar{\psi}_{\text{гр}}\right)-\delta F\left(\bar{k}_1;\bar{\psi}_1,\bar{\psi}_{\text{гр}}\right)\right]+\frac{\sin\varphi_1}{\varepsilon_1 b_2}\delta\left(\varphi_{\text{кр}},\varphi_1\right)-$$
$$-\frac{1}{\sqrt{2|a|}}\delta F\left(\bar{k}_1;\bar{\psi},\bar{\psi}_{\text{гр}}\right)-\frac{\varphi_1}{b_2}+X_{\text{а}}+L+R_{\text{а}}\cos\varphi_{\text{гр}}=0; \quad (20)$$

$$X_{\text{пр}}=-\frac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\delta F\left(\bar{k}_1;\bar{\psi}_1,\bar{\psi}_{\text{гр}}\right)-\frac{\varphi_1}{b_2}+L\,. \quad (21)$$

При модуле эллиптического интеграла $k_1<1$ используют следующие зависимости:

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\frac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\left[\frac{2}{k_1}\delta F\left(k_1;\psi_1,\psi_{\text{гр}}\right)-\left(\frac{2}{k_1}-k_1\right)\delta F\left(k_1;\psi_1,\psi_{\text{гр}}\right)\right]+\frac{\sin\varphi_1}{\varepsilon_2 b_2}-$$
$$-\frac{1}{\sqrt{2|a_1|}}\delta F\left(\bar{k}_1;\bar{\psi},\bar{\psi}_{\text{гр}}\right)-\frac{\varphi_1}{b_2}+X_{\text{а}}+L+R_{\text{а}}\cos\varphi_{\text{гр}}=0; \quad (22)$$

$$X_{\text{пр}}=-\frac{1}{\sqrt{2|a_1|}}k_1\delta F\left(k_1;\psi_1,\psi_{\text{гр}}\right)-\frac{\varphi_1}{b_2}+L\,. \quad (23)$$

Приведенные расчетные обоснования (9—23), измененные и уточненные автором с учетом опыта эксплуатации и исследований мембранно-вантовых плотин, позволят осуществить проектирование водоподпорной оболочки мембранно-вантовой плотины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кашарин Д. В.* Многокритериальная оптимизация параметров мобильных водоподпорных конструкций сооружений инженерной защиты из композитных материалов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2011. Вып. 23(42). С. 145—155.

2. *Волосухин В. А., Кузнецов В. А.* Основы расчета тканевых сооружений мелиоративных систем : монография. — Новочеркасск : НГМА, 2001. — 266 с.

3. *Кашарин В. И.* Расчет мембранно-вантовых плотин. Депонированный ВИНИТИ, 1981. — 63 с.

4. *Кашарина Т. П.* Мягкие сооружения на малых реках и каналах. — М. : Мелиорация и водное хозяйство, 1997. — 56 с.

5. Способ возведения подпорно-регулирующего гидроэнергетического сооружения : пат. 2250950 РФ, МПК E02B 9/00 / Д. В. Кашарин ; заявл. 28.03.2003 ; опубл. 27.04.2005, Бюл. № 17.

1. *Kasharin D. V.* Mnogokriterial'naya optimizatsiya parametrov mobil'nykh vodopodpornykh konstruktsiy sooruzheniy inzhenernoy zashchity iz kompozitnykh materialov // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Str-vo i arkhit. 2011. Vyp. 23(42). S. 145—155.

2. *Volosukhin V. A., Kuznetsov V. A.* Osnovy rascheta tkanevykh sooruzheniy meliorativnykh sistem : monografiya. — Novocherkassk : NGMA, 2001. — 266 s.

3. *Kasharin V. I.* Raschet membranno-vantovykh plotin. Deponirovannyy VINITI, 1981. — 63 s.

4. *Kasharina T. P.* Myagkie sooruzheniya na malykh rekakh i kanalakh. — M. : Melioratsiya I vodnoe khozyaystvo, 1997. — 56 s.

5. Sposob vozvedeniya podporno-reguliruyushchego gidroenergeticheskogo sooruzheniya : pat. 2250950 RF, MPK E02B 9/00 / D. V. Kasharin ; zayavl. 28.03.2003 ; opubl. 27.04.2005, Byul. № 17.

© Кашарин Д. В., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Кашарин Д. В. Расчетное обоснование параметров мобильных водоподпорных сооружений из композитных материалов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 128—138.

УДК 692:536.2

А. Г. Перехоженцев

НОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

Рассмотрена концепция нормирования теплофизических параметров наружных ограждений зданий, в которой приоритетным является обеспечение требуемых санитарно-гигиенических и комфортных условий в помещениях.

К л ю ч е в ы е с л о в а: температура и влажность воздуха в помещении, температура внутренней поверхности наружных ограждений зданий.

The concept of regulation of heat and physical parameters of external protections of buildings in which providing demanded sanitary and hygienic and comfortable conditions in rooms is premisses is considered.

K e y w o r d s: temperature and humidity of a ir indoors, temperature of an internal surface of external protections of buildings.

В связи с требованиями Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» основной целевой задачей нормирования теплофизических параметров наружных ограждений зданий должно быть обеспечение санитарно-гигиенических и комфортных условий для пребывания человека в помещениях и необходимой надежности и долговечности конструкции. Нормативные документы, вышедшие в последнее время, целевыми задачами при проектировании наружных ограждений зданий ставят вопросы энергосбережения и экономические аспекты, связанные с этим. Безусловно, вопросы сбережения тепла очень важны, однако они не являются основными при проектировании наружных ограждающих конструкций зданий. При этом экономический аспект проблемы должен рассматриваться не только с точки зрения перспективной экономии тепла в процессе эксплуатации здания, но и с учетом единовременных затрат.

Очень важно выбрать критерий нормирования для наружных ограждений зданий, обеспечивающий «комфортные» условия в помещении. Таким критерием может быть температурный перепад между нормируемой температурой воздуха в помещении и температурой внутренней поверхности наружного ограждения, т. е. $\Delta t_н = t_в - \tau_в$. Так, например, для наружных стен жилых зданий при расчетной температуре воздуха в помещении 20 °С нормируемый температурный перепад равен $\Delta t_н = 4$ °С. Следовательно, температура внутренней поверхности наружной стены должна быть равна 16 °С. Как установлено гигиенистами, человек чувствует себя комфортно, с точки зрения теплового режима, если отклонение от данных условий составляет не более $A_\tau = 1{,}5$ °С. Таким образом, для холодного периода года должны выполняться следующие условия эксплуатации:

1) для соблюдения санитарно-гигиенических условий температура внутренних поверхностей наружных стен, включая неоднородные участки с теплопроводными включениями, должна быть выше температуры точки росы при расчетной температуре и относительной влажности воздуха в помещении;

2) для обеспечения комфортных условий допустимые колебания температуры внутренней поверхности наружных непрозрачных ограждений $\tau_{в}^{доп}$ должны определяться следующим образом:

$$\tau_{в}^{доп} = t_{в} - \Delta t_{н} \pm A_{\tau}, \quad (1)$$

где $t_{в}$ — нормируемая температура внутреннего воздуха помещений; $\Delta t_{н}$ — нормируемый температурный перепад, определяемый по табл. 5 СНиП [1]); A_{τ} — допустимая амплитуда колебания температуры внутренней поверхности наружного ограждения, принимаемая при центральном отоплении 1,5 °С; стационарном электро-, теплоаккумуляционном отоплении 2,5 °С; при печном отоплении 3 °С.

Расчетная результирующая температура внутреннего воздуха помещений должна определяться по средневзвешенной величине сопротивления теплопередаче для непрозрачных участков ограждения, определяемая с учетом требований по энергосбережению, т. е.

$$t_{в}^{р} = \frac{n(t_{в} - t_{н})}{R_{о}^{пр}\alpha_{в}} + \tau_{в}, \quad (2)$$

где $R_{о}^{пр}$ — приведенное сопротивление теплопередаче для непрозрачных и прозрачных участков ограждения, определяемое как средневзвешенная величина, т. е.

$$R_{о}^{пр} = \frac{\sum(R_{о}^{тр}F_{н}) + \sum(R_{ок}^{тр}F_{о})}{F_{н} + F_{о}}, \quad (3)$$

где $R_{о}^{тр}$ и $R_{ок}^{тр}$ — соответственно требуемые сопротивления теплопередаче непрозрачных ограждающих конструкций и требуемое сопротивление теплопередаче окон; $F_{н}$ и $F_{о}$ — площади, занимаемые непрозрачными участками наружных ограждений и окнами.

Требуемое сопротивление теплопередаче ограждения, должно складываться из двух составляющих:

1) минимальное сопротивление, обеспечивающее минимальные санитарно-гигиенические требования;

2) дополнительное сопротивление теплопередаче, обеспечивающее требуемый уровень энергосбережения, т. е.

$$R_{о}^{тр} = R_{о}^{мин} + R_{о}^{э}. \quad (4)$$

Минимальное нормативное сопротивление теплопередаче должно учитывать как климатические условия эксплуатации здания ($t_{в}$ и $t_{н}$), так и микроклиматические параметры эксплуатации ($t_{в}$ и $\varphi_{в}$) помещения. С учетом требований по энергосбережению требуемое сопротивление теплопередаче непрозрачных участков ограждений определяется по формуле, предложенной автором в [3]

$$R_{о}^{тр} = \frac{n(t_{в} - t_{н})}{(t_{в} - \tau_{р})\alpha_{в}} + k_{эн}\left(t_{в} - t_{оп}\right)z_{оп} \cdot 10^{-4}, \quad (5)$$

где $k_{эн}$ — коэффициент энергосбережения, определяемый по табл. 1; $\tau_р$ — температура точки росы, определяемая для расчетных параметров внутреннего воздуха в помещении (температуры и относительной влажности воздуха) в соответствии с требованиями ГОСТ 30494—96 [1].

Для светопрозрачных конструкций остекления вместо температуры точки росы $\tau_р$ принимают допустимую температуру на поверхности стекла равную $\tau_о$ = 3 °С, т. е.

$$R_о^{тр} = \frac{n(t_в - t_н)}{(t_в - \tau_о)\alpha_в} + k_{эн}\left(t_в - t_{оп}\right)z_{оп} \cdot 10^{-4}. \quad (6)$$

В целом приведенное сопротивление непрозрачных и прозрачных ограждений должно обеспечить комфортную температуру в помещениях жилых зданий в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.2.2645-10 [2].

Таблица 1

Нормируемые коэффициенты энергосбережения

Здания и помещения	Коэффициенты энергосбережения $k_{эн}$, м²/Вт·сут				
	стен	перекрытий чердачных и над неотапливаемыми помещениями	покрытий и перекрытий над проездами	окон и балконных дверей, витрин и витражей	фонарей с верткальным остеклением
Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	3,5	4,5	5,0	0,35	0,25
Общественные здания, кроме п. 1, а также административные и бытовые	3,0	3,5	4,0	0,30	0,25
Производственные здания	2,0	2,0	2,5	0,25	0,2

Примечание: коэффициенты энергосбережения $k_{эн}$ для непрозрачных ограждений соответствуют коэффициентам $a \cdot 10^4$, приведенным в табл. 4 [1].

Расчет температуры на внутренней поверхности непрозрачной части наружных стен по (5) приведен в табл. 2 в сравнении с расчетом по СНиП.

Как видно из табл. 2, при расчете по (5) при сохранении требований по энергосбережению практически во всех климатических районах выполняются и условия комфортности ($\tau_в$), при этом требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен можно сократить от 17,6 % в г. Красноярске до 68,4 % в г. Сочи.

Таблица 2

Сравнение значений, рассчитанных по СНиП и по формулам

Город	$t_{хп}$, °С	ГСОП, °С сут	$R_o^{тр}$ (СНиП)	$R_o^{тр}$ (ф-ла)	ΔR_o, %	$\tau_в$,°С (СНиП)	$\tau_в$,°С (ф-ла)	$R_o^{тр}$ окна (ф-ла)
Волгоград	–25	3952	2,78	1, 936	30,3	18,1	17,3	0,438
Калининград	–19	3648	2,68	1,762	34,2	18,3	17,4	0,392
Краснодар	–19	2682	2,34	1,422	39,2	18,1	16,8	0,334
Красноярск	–40	6341	3,62	2,96	18,2	18,1	17,6	0,628
Москва	–28	4943	3,13	2,32	25,7	18,2	17,6	0,498
Ростов-на-Дону	–22	3523	2,63	1,74	3,5	18,2	17,2	0,407
Сочи	–3	979	1,74	0,55	68,4	18,5	16,4	0,189

Для конструкций с воздухопроницаемыми наружными слоями (например, с сопротивлением воздухопроницанию менее 10 м^{2}чПа/кг) необходимо произвести расчет распределения температуры с учетом инфильтрации холодного воздуха по формуле, предложенной в [3]

$$\tau_i = \frac{t_в - (R_в + \Sigma R_i)\left((t_в - t_н)/R_о - c \cdot W_{n-i} \cdot \tau_н\right)}{1 + cW_{n-i}(R_в + \Sigma R_i)}, \quad (7)$$

где $R_в$ — сопротивление теплоотдаче внутренней поверхности ограждения; ΣR_i — сумма термических сопротивлений слоев конструкции от внутренней поверхности до слоя i; W_{n-i} — удельный расход воздуха инфильтрирующегося через часть ограждения от наружной поверхности до сечения i, определяемого по формуле

$$W_{n-i} = \Delta p / \Sigma R_{inf(n-i)}, \quad (8)$$

где $\Sigma R_{inf(n-i)}$ — сумма сопротивлений воздухопроницанию слоев части ограждения от наружной поверхности до сечения i.

Проверка ограждающих конструкций на перегрев в теплый период года. В теплый период года важно контролировать не амплитуду колебаний температуры на внутренней поверхности ограждения, как это рекомендует СНиП [1], а не допустить перегрев этой поверхности конструкции выше комфортной температуры, определяемой санитарными нормами для летних условий. Поэтому в районах со среднемесячной температурой июля 21 °С и выше температура внутренней поверхности ограждающих конструкций (наружных стен с тепловой инерцией менее 4 и покрытий менее 5) исходя из комфортных условий для теплого периода года $\tau_в^л$, °С, жилых зданий, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских садов, яслей, ясли-садов (комбинатов) и детских домов не должна быть более допустимой, определяемой по формуле

$$\tau_{в}^{л} = t_{в}^{л} + 0,5\left(2,5 - 0,1\left(t_{н}^{л} - 21\right)\right) , \quad (9)$$

где $\tau_{в}^{л}$ — расчетная температура внутреннего воздуха в теплый период года, °С, принимаемая согласно ГОСТ 30494—96.

Расчетную температуру внутренней поверхности ограждающих конструкций в теплый период года $\tau_{в}^{л}$, °С, следует определять по формуле

$$\tau_{в}^{л} = t_{в}^{л} + \frac{(t_{н}^{расч} - t_{в}^{л})}{R_{о}^{пр}\alpha_{в}^{л}}, \quad (10)$$

где $t_{н}^{расч}$ — расчетная температура наружного воздуха в теплый период года, определяемая по формуле

$$t_{н}^{расч} = t_{н}^{л} + k_{t}\frac{p(I_{max} - I_{ср})}{\alpha_{н}^{л}}, \quad (11)$$

где $t_{н}^{л}$ — средняя месячная температура наружного воздуха за июль; p — коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции; I_{max} — максимальное значение суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), Вт/м^2; $\alpha_{н}^{л}$ — коэффициент теплообмена наружной поверхности ограждающей конструкции для теплого периода года.

В заключении следует отметить, что целевой задачей проектирования наружных ограждающих конструкций зданий должно быть нормирование температуры внутренних поверхностей наружных ограждений зданий с целью обеспечения санитарно-гигиенических и комфортных условий в помещениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 23-02—2003. Тепловая защита зданий М. : ГОССТРОЙ РФ, 2004.

2. СанПиН 2.1.2.2645—10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях.

3. *Перехоженцев А. Г.* Методика расчета распределения температуры в многослойных ограждающих конструкциях зданий с учетом влияния инфильтрации холодного воздуха // Материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф. «Теоретические основы теплоснабжения и вентиляции». М. : МГСУ, 2007.

1. SNiP 23-02—2003. Teplovaya zashchita zdaniy M. : GOSSTROY RF, 2004.

2. SanPiN 2.1.2.2645—10. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k usloviyam prozhivaniya v zhilykh zdaniyakh i pomeshcheniyakh.

3. *Perekhozhentsev A. G.* Metodika rascheta raspredeleniya temperatury v mnogosloynykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh zdaniy s uchetom vliyaniya infil'tratsii kholodnogo vozdukha // Materialy 2-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Teoreticheskie osnovy teplosnabzheniya i ventilyatsii». M. : MGSU, 2007.

© Перехоженцев А. Г., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Перехоженцев А. Г. Нормирование параметров микроклимата в жилых и общественных зданиях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 139—143.

УДК 699.86

С. В. Корниенко

ОЦЕНКА МИКРОКЛИМАТА ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На основе проведенных автором натурных измерений выполнена оценка микроклимата жилых помещений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: натурные измерения, микроклимат жилых помещений, строительные ограждающие конструкции.

On the basis of the natural measurements the author carries out the assessment of the microclimate of premises.

K e y w o r d s: natural measurements, microclimate of premises, construction protective structures.

Одной из актуальных проблем современной архитектуры и строительства является здоровьесбережение и повышение качества жизни людей. В соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ [1] при создании безопасных для здоровья человека условий проживания и пребывания в зданиях и сооружениях важной задачей является обеспечение необходимых параметров микроклимата жилых помещений.

В данной статье на основе проведенных автором натурных измерений выполнена оценка микроклимата жилых помещений.

Объектом исследования является 3-комнатная квартира, расположенная на третьем этаже многоквартирного жилого здания в Волгограде. Общая площадь квартиры 122,4 м^2. Указанная квартира расположена над проездом (рис. 1). Общая жилая комната квартиры имеет эркер (рис. 2). Наружные стены трехслойные кирпичные с эффективным утеплителем и гибкими связями. Заполнение световых проемов стеклопакетами в пластиковых переплетах. Перекрытия над проездом и под эркером имеют теплоизоляцию. Здание подключено к централизованной системе теплоснабжения. На отопительных приборах имеются регуляторы расхода теплоносителя. Система вентиляции естественная общеобменная. Продолжительность эксплуатации здания составляет около 8 лет.

Рис. 1. Фрагмент дворового фасада здания

Рис. 2. Фрагмент общей жилой комнаты квартиры в зоне эркера

Визуально-инструментальное натурное обследование квартиры произведено в холодный период года (конец января 2012 г.). По результатам визуального обследования установлено, что фактическое планировочное решение квартиры в целом соответствует проектному решению.

Измерениям предшествовало изучение температурного режима наружного климата пункта. На рис. 3 представлен график зависимости температуры наружного воздуха от времени в течение четырех суток, предшествующих моменту проведения контрольных замеров. График построен на основе трехчасовых значений температуры по данным ближайшей метеостанции. Анализ приведенных данных показывает, что максимальное абсолютное отклонение среднесуточной температуры наружного воздуха от средней за время наблюдений составляет 1,4 °С (в четвертые сутки), что соответствует требованию по тепловой инерции ограждающих конструкций. Измерения проведены в дневное время при пасмурной погоде (облачность 10 баллов). На момент измерений температура наружного воздуха составляла 18,9 °С, относительная влажность 81 %.

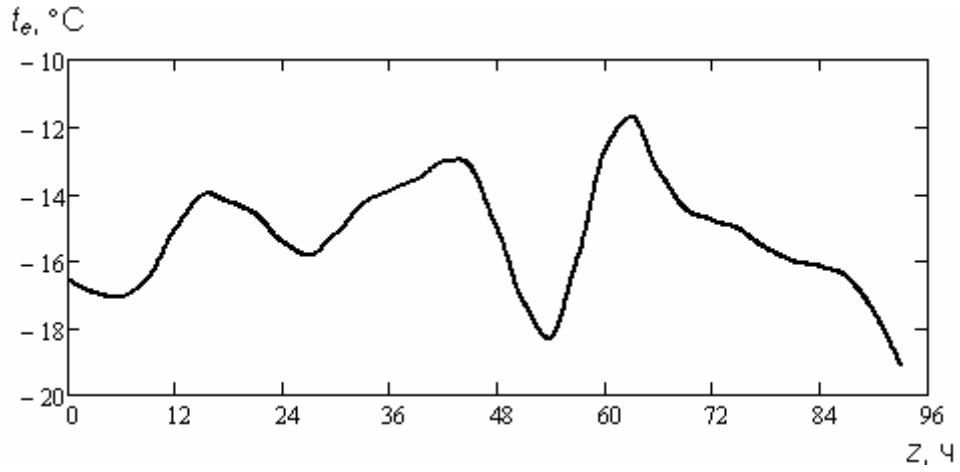


Рис. 3. График зависимости температуры наружного воздуха от времени, полученный сглаживанием данных сшивкой отрезками полиномов

Все натурные измерения проведены экологически безопасным методом неразрушающего контроля. Замеры параметров микроклимата помещений (температуры и относительной влажности воздуха, радиационной и результирующей температуры, температуры поверхности пола) производились контактным термометром ТК-5.06 со сменными зондами. Скорость движения воздуха измерялась термоанемометром testo 405-V1. Все измерения выполнены, согласно ГОСТ 30494—96 [2], при закрытых окнах приборами, прошедшими регистрацию и имеющими сертификат.

Результаты измерений параметров микроклимата в помещениях квартиры приведены в табл.

Параметры микроклимата в помещениях квартиры по результатам контрольных замеров

Наименование помещения	Температура воздуха, °С	Результирующая температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура на внутренней поверхности пола, °С	
					средняя	минимальная
Туалет	23,1	23,5	24,0	0,02	23,2	23,6
Кухня	23,5	23,7	24,4	0,04	23,0	20,7
Общая жилая комната	23,5	23,7	23,7	0,04	20,9	13,5
Кладовая	22,7	23,4	26,7	0,01	20,1	16,1
Совмещенный санузел	22,7	23,6	25,2	0,04	19,5	17,6
Жилая комната	22,0	23,5	23,2	0,04	18,0	15,9
Жилая комната	21,9	23,5	27,0	0,04	21,0	19,0

Из табл. видно, что фактические параметры микроклимата помещений (температура воздуха и результирующая температура, относительная влажность и скорость движения воздуха) соответствуют оптимальным и допустимым нормам ГОСТ 30494—96. Незначительный перегрев в жилых комнатах (по результирующей температуре) и кладовой (по температуре воздуха) является легкоустранимым путем регулирования теплоотдачи отопительных приборов в квартире.

Вместе с тем по результатам проведенных измерений температуры на поверхности пола в помещениях обследованной квартиры в зоне проезда и эркера обнаружено нарушение однородности температурного поля (табл.). Понижение температуры на поверхности пола выше нормативных значений создает опасные для здоровья человека условия проживания и пребывания в зданиях и сооружениях в части микроклимата помещений.

С целью установления причины ухудшения микроклимата помещений проведен анализ проектной документации, по результатам которого установлено следующее:

1) по проекту предусмотрено сплошное наружное утепление перекрытий над проездом и под эркером с применением теплоизоляционных плит из минеральной ваты на основе базальтовых пород плотностью 200 кг/м^3, толщиной 200 мм, с воздушным зазором и облицовкой сайдинговыми панелями;

2) в жилых комнатах по проекту предусмотрено покрытие из поливинилхлоридного линолеума на теплозвукоизоляционной основе по сборной стяжке из гипсоволокнистых влагостойких листов толщиной 20 мм;

3) расчетное приведенное сопротивление теплопередаче перекрытия над проездом R_o^{des} = 4,44 м^2·°С/Вт, что выше нормируемого R_o^{req} = 4,18 м^2·°С/Вт согласно табл. 4 СНиП 23-02—2003 [3];

4) расчетный показатель теплоусвоения поверхности пола жилых комнат соответствует нормируемому значению Y_f^{req} = 12 Вт/(м^2·°С) согласно СНиП 23-02—2003 (п. 10.1).

Таким образом, предусмотренные в проекте конструктивные решения обеспечивают выполнение требований Федерального закона [1] к микроклимату помещений.

Главной причиной понижения температуры на поверхности пола перекрытий над проездом и под эркером сверх нормативных значений является необеспечение подрядчиком проектного уровня тепловой защиты строительных ограждающих конструкций.

По результатам выполненных исследований сделан вывод о необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ по обеспечению соответствия фактических эксплуатационных параметров объекта требованиям проектной документации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений.

2. ГОСТ 30494—96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. — М. : МНТКС, 1996.

3. СНиП 23-02—2003. Тепловая защита зданий. — М. : ФГУП ЦПП, 2003.

1. Federal'nyy zakon ot 30 dekabrya 2009 g. № 384-FZ. Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy.

2. GOST 30494—96. Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh. — M. : MNTKS, 1996.

3. SNiP 23-02—2003. Teplovaya zashchita zdaniy. — M. : FGUP TsPP, 2003.

© Корниенко С. В., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Корниенко С. В. Оценка микроклимата жилых помещений на основе натурных измерений // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 144—147.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.32:620.191.33

В. А. Перфилов

ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЖАРОСТОЙКИХ БЕТОНОВ

Предложена методика определения критической длины магистральной трещины в бетонах при различных скоростях нагружения. Разработан состав легкого жаростойкого фибробетона повышенной прочности и трещиностойкости, не требующего тепловой обработки. Исследовано влияние высоких температур на изменение параметров прочности и трещиностойкости жаростойких тяжелых и легких бетонов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: магистральная трещина, прочность, трещиностойкость, скорость нагружения, легкий жаростойкий фибробетон.

The technique of determination of critical length of the main crack in concrete at different loading speed is suggested. The structure of light high temperature fibro-concrete of increased strength and the crack resistance, that does not require thermal treatment is developed. The influence of high temperatures on the change of parameters of strength and crack resistance of high temperature heavy and light concrete is investigated.

K e y w o r d s: main crack, strength, crack resistance, loading speed, light high temperature fibro-concrete.

Для контроля за развитием трещин в бетоне после воздействия высоких температур или пожара необходимо определить основные параметры механики разрушения не только в начальный и конечный моменты нагружения, но и в процессе медленного роста трещин. В настоящее время установление точных числовых значений этих параметров затруднено, так как экспериментальные данные ограничены или противоречивы ввиду использования различных методик.

В бетоне, характеризующемся неоднородной структурой, разрушение сопровождается предварительным развитием пластических деформаций вблизи концентраторов напряжений. Раскрытие и дальнейший неконтролируемый рост происходит в момент достижения трещиной постоянного для каждого материала критического размера. Среди существующих немногочисленных методов определения критической длины магистральной трещины (макротрещины) известен способ [1], основанный на испытании партии образцов с искусственно созданной трещиной, вдвое превышающей максимальный размер включений композитного материала, и партии образцов, не имеющих такой трещины. По величинам предельных напряжений определялась критическая длина трещины. Недостатком способа [1] является невысокая точность и достоверность определения критической длины макротрещины ввиду того, что пределы прочности испытываемых образцов с искусственной трещиной и без нее определялись только при одной (стандартной) скорости нагружения. Однако трещиностойкость (вязкость разрушения) зависит от скорости нагружения.

При испытании композитного материала, в частности бетона, полученное в работе [1] значение критической длины макротрещины, равное максимальному размеру включений бетона и в 10 раз меньшее линейного размера образца, по которому развивалась трещина, не может считаться достоверным. Многочисленными исследованиями с использованием тензометрического и других методов установлено, что критическая длина трещины может достигать размеров половины и более сечения бетонного образца. Это связано с торможением трещины при попадании ее на более прочный крупный заполнитель и поры. Дальнейшее продвижение макротрещины происходило только при увеличении действующей нагрузки, поскольку требовалось накопление дополнительной энергии.

Для повышения точности и достоверности определения критической длины магистральной трещины разработана методика [2], заключающаяся в следующем. Нагружают с различной скоростью изгибающим усилием и доводят до разрушения образцы с искусственно созданной трещиной, перпендикулярной этому усилию, и идентичные образцы, не имеющие таковой трещины. По величинам коэффициентов динамического упрочнения, полученных в результате испытания партий образцов при различных скоростях нагружения, определяют критическую длину магистральной трещины по формуле

$$l_{\text{кр}} = hY\left(K'_{\text{д.у}} / K_{\text{д.у}}\right), \qquad (1)$$

где $l_{\text{кр}}$ — критическая длина магистральной трещины, м; h — линейный размер образца (толщина или высота), по которому развивается трещина, м; Y — функция, зависящая от формы образца и схемы испытания; $K'_{\text{д.у}}$ — коэффициент динамического упрочнения образцов с искусственно созданной трещиной; $K_{\text{д.у}}$ — коэффициент динамического упрочнения образцов, не имеющих начальной искусственно созданной трещины.

Как известно, коэффициент динамического упрочнения показывает отношение предела прочности образца, полученного при максимальной скорости нагружения (т. е. при которой рост прочности прекращается) к пределу прочности, полученному при минимальной (ниже стандартной) скорости нагружения (т. е. при которой прочность минимальная). Использование вместо предела прочности, определенного только при одной (стандартной) скорости нагружения, коэффициента динамического упрочнения позволяет более точно определить момент старта магистральной трещины (минимальная прочность при самой низкой скорости нагружения) и момент достижения образцом предельного механического состояния, т. е. разрушения (максимальная прочность при максимальной скорости нагружения).

Чем больше разница в прочностях, полученных на образцах с искусственной трещиной и без нее, или чем меньше отношение $\left(K'_{\text{д.у}} / K_{\text{д.у}}\right)$, тем выше чувствительность материала к образованию трещин и тем меньше ее критическая длина. Чем больше отношение $\left(K'_{\text{д.у}} / K_{\text{д.у}}\right)$, тем меньше материал чувствителен к образованию макротрещин и тем больше ее критическая длина.

Предлагаемый способ осуществляют следующим образом. Изготавливают две партии образцов-близнецов из бетона, в одной из которых выполняют искусственную трещину путем установки специальной пластины в процессе

изготовления образца или посредством надреза специальным диском с алмазным покрытием после набора прочности материалом. Размер искусственной трещины не менее чем в 2 раза превышает максимальный размер включений бетона, а отношение длины трещины к высоте сечения образца *a/h* составляет 0,2…0,4. Размеры образца превосходят максимальный размер крупного заполнителя не менее чем в 10 раз. Испытание двух партий образцов проводят растягивающей нагрузкой в широком диапазоне скоростей нагружения. С увеличением скорости нагружения прочность образцов бетона возрастает до некоторой величины. Дальнейшее увеличение скорости нагружения не приводит к росту прочности в связи с отсутствием роста трещины. По полученным значениям прочностей определяют коэффициенты динамического упрочнения в каждой партии образцов, а по ним находят критическую длину магистральной трещины.

Влияние агрессивной среды и высокой температуры приводит к значительным изменениям прочности, трещиностойкости и, в конечном итоге, срока службы бетонов, применяемых в конструкциях теплотехнических сооружений. В реальных условиях эксплуатации, при действии высокой температуры и нагрузки бетоны с одинаковой прочностью могут иметь различные показатели трещиностойкости, что необходимо учитывать при выборе вида и состава бетона. Были проведены комплексные исследования параметров трещиностойкости жаростойкого бетона на портландцементе. Определение критической длины магистральной трещины производили путем сравнительных испытаний по известной методике механики разрушения [3] и по предлагаемому способу. Изготавливались образцы-балочки размером $100 \times 100 \times 400$ мм с искусственным надрезом длиной 40 мм и без него. Испытания образцов производили после нагрева при температурах 110, 300 и 800 °С. Определение критической длины развивающейся магистральной трещины с позиций механики разрушения осуществляли при равновесных испытаниях образцов с применением капиллярного и тензометрического способов [3]. В табл. 1 представлены сравнительные данные критической длины макротрещины, полученные методами механики разрушения $l_{\text{кр}}^{\text{ст}}$ и по предлагаемому способу $l_{\text{кр}}$.

Таблица 1

Влияние температуры нагрева на изменение характеристик прочности и трещиностойкости жаростойкого бетона

T, °С	R_{btf}, МПа	R_b, МПа	K_{IC}, МН/м$^{3/2}$	$K_{\text{д.у}}$	$K'_{\text{д.у}}$	$l_{\text{кр.}}^{\text{ст.}}$, м	$l_{\text{кр}}$, м
20	2,80	21,5	1,45	1,92	1,08	0,068	0,063
110	2,10	18,3	1,08	2,08	1,12	0,067	0,060
300	1,80	16,7	0,91	2,14	1,14	0,065	0,059
800	1,16	8,6	0,58	2,50	1,30	0,063	0,058

Примечание: R_{btf} — предел прочности на растяжение; R_b — предел прочности при сжатии; K_{IC} — критический коэффициент интенсивности напряжений.

Анализ результатов показал, что полученные значения критической длины магистральной трещины $l_{\text{кр}}$, определяемые при различных скоростях нагружения образцов, практически совпадают с аналогичными величинами, определяемыми методами механики разрушения [3]. Некоторое увеличение на (7…10 %) дли-

ны магистральной трещины, полученное при испытаниях по известной методике [3], связано с тем, что нагружение производилось поэтапно с выдержками 60…120 с. Однако данная прерывистость испытаний не дает возможность осуществлять постоянный контроль за ростом макротрещины в любой промежуток времени, что может внести определенную погрешность в измерения, например, наступление неконтролируемого роста трещины до окончания очередного этапа нагружения.

С целью повышения показателей прочности на сжатие и растяжение при изгибе, а также трещиностойкости был разработан состав легкого жаростойкого фибробетона [4], не требующего тепловой обработки. По сравнению с известными бетонами, используемыми в теплотехнических сооружениях, предлагаемый состав при сохранении высоких жаростойких свойств обладает малой плотностью и достаточно высокой прочностью, особенно на растяжение при изгибе. Созданная с помощью газообразователей пористая структура бетона отличается достаточно прочными перегородками пор, образованными в результате использования глиноземистого шлака и сернокислого шлама, взаимодействующими с ортофосфорной кислотой и алюминиевой пудрой. Сернокислый шлам представляет собой продукт, образующийся травлением окалины при производстве стальных труб серной кислотой с последующей нейтрализацией известняком. Полученный при этом отход в виде шлама не находил применения и в больших количествах вывозился в отвал, ухудшая экологическое состояние в регионе. Химический состав шлама включает: Fe_2O_3 — 10…15 %; MgO — 3...5 %; SiO_2 — 7,0...7,3 %; $CaSO_4$ — 25...30 %; Cr_2O_3 — 1 %; CaF_2 — 25...30 % и др. Содержание в шламе оксидов Si, Cr, Mg и Fe является положительным фактором для применения в огнеупорных смесях, так как фосфатные системы H_3PO_4, содержащие эти катионы, обладают высокими прочностными и жаростойкими свойствами. Снижение плотности полученных изделий происходит за счет выделения водорода и применения вспученного вермикулитового песка фракции 0...5 мм, который отличается, по сравнению с керамзитом, значительно меньшей плотностью при сохранении высоких жаростойких свойств.

В отличие от известных легких жаростойких бетонов, предлагаемая сырьевая смесь для производства легкого жаростойкого фибробетона, включающая алюминиевую пудру, ортофосфорную кислоту 60 % концентрации, глиноземистый шлак, сернокислый шлам, вермикулит, дополнительно содержит фибровые волокна из проволоки «Хромель Т» (относительная длина 60).

Сырьевая смесь после затвердевания может применяться в конструкциях теплотехнических сооружений, испытывающих, помимо сжимающих, значительные растягивающие напряжения. Для повышения сопротивления сжатию и растяжению в сырьевую смесь вводили металлические волокна-фибры, способные воспринимать на себя большие сжимающие и, особенно, растягивающие нагрузки. Проволока из сплава НХ 9,5 «Хромель Т», применяемая для изготовления термопар и содержащая в своем составе 8…10 % хрома и 90…92 % никеля, характеризуется большой прочностью на растяжение (до 500 МПа) и высокими огнеупорными свойствами. Сохранение заданной плотности полученных изделий в сопоставлении с известными составами [5] обеспечивается тем, что в предлагаемой сырьевой смеси увеличено количество вермикулита фракции 0…5 мм, при этом уменьшено количество глиноземистого шлака, отличающегося повышенной плотностью.

Таким образом, введение в сырьевую смесь металлических волокон-фибр, выполненных из проволоки НХ 9,5 «Хромель Т», а также увеличение расхода легкого наполнителя — вермикулита — при одновременном снижении количества более плотного глиноземистого шлака, обеспечивает получение быстротвердеющей смеси повышенной прочности на сжатие и растяжение при сохранении малой плотности, высокой жаростойкости и времени отверждения.

Для сравнения физико-механических свойств предлагаемого легкого жаростойкого фибробетона и известных составов легкого жаростойкого бетона [5] были изготовлены образцы, которые подвергались испытаниям прочности на сжатие и растяжение, термостойкости, усадки, деформации под нагрузкой и др. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства предлагаемых составов легкого жаростойкого фибробетона

Свойства легкого жаростойкого фибробетона	Известный состав [5]	Составы сырьевой смеси		
		1	2	3
Время отверждения, мин	28...30	29	30	31
Прочность на сжатие, МПа	2,2...3,2	3,91	4,15	4,53
Прочность на растяжение, МПа	0,32...0,87	1,18	1,29	1,84
Средняя плотность, г/см^3	0,53...0,64	0, 58	0,62	0,64
Класс бетона по предельно допустимой температуре применения	И 8 (T = 800 °С)	И 8	И 8	И 8
Остаточная прочность после нагрева до температуры 800 °С, %	62...67	75	75	78
Термостойкость при 800 °С, воздушные теплосмены	35...38	40	41	41
Температура 4%-й деформации под нагрузкой, °С	800	1200	1200	1200
Предельное значение усадки после нагрева до предельно допустимой температуры применения, %	1,8...2	1,8	1,7	1,62

Анализ представленных в табл. данных показывает, что введение в сырьевую смесь металлических волокон-фибр из сплава «Хромель Т», имеющего высокие огнеупорные свойства, при указанных соотношениях входящих в нее компонентов способствует, согласно составу № 3, увеличению прочности на сжатие в 1,4 раза, а прочности на растяжение — в 2,1 раза при сохранении средней плотности изделий и одинаковом по сравнению с известным составом [5] времени отверждения.

Наличие данных о физической структуре легкого жаростойкого фибробетона, его сопротивление зарождению и подрастанию трещин при различных условиях внешней среды позволяют перейти к количественной оценке трещиностойкости. Применительно к условиям эксплуатации испытания проводились в нагретом состоянии при температурах 110, 300 и 800 °С.

В результате проведенных экспериментов получены уравнения и соответствующие им графики зависимости прочности и трещиностойкости от температуры нагрева. Анализ результатов испытаний показал, что при нагреве легкого фибробетона 20…800 °С параметр прочности R_{btf} снизился на 8 %, при одновре-

менном уменьшении показателя трещиностойкости на 15 %. Такое незначительное снижение вышеуказанных параметров связано со структурой фибробетона. При нагреве до 800 °С общая пористость уменьшилась на 3 % при незначительном перераспределении объемов пор по размерам. Использование огнеупорных заполнителей из глиноземистого шлака и сернокислого шлама, а также металлических волокон-фибр, выполненных из проволоки НХ 9,5 «Хромель Т», способствовало стабилизации структуры фибробетона и постоянству его механических характеристик.

В проведенных дополнительно испытаниях установлена критическая температура (1500 °С) применения предлагаемого состава легкого жаростойкого бетона, при которой потеря прочности составляет 70 % от начального значения по сравнению с прочностью при 20 °С.

Использование разработанных составов легкого жаростойкого фибробетона позволит повысить прочность, трещиностойкость и долговечность (срок службы) конструкций теплотехнических сооружений, а также улучшить экологическую обстановку, снизить стоимость за счет использования неутилизированных отходов алюминиевого и трубного производств и полного отсутствия тепловой обработки.

Таким образом, предлагаемая методика определения критической длины магистральной трещины согласуется с известной методикой механики разрушения [3], отличается высокой точностью и достоверностью за счет комплексного исследования образцов бетонов при непрерывных испытаниях с различными скоростями нагружения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. № 819618. Способ определения характеристики трещиностойкости материалов / Л. П. Трапезников, В. И. Пащенко, А. П. Пак. Опубл. 07.04.1981.

2. Пат. РФ № 2267767. Способ определения характеристики трещиностойкости материалов / В. А. Перфилов. Зарег. 10.01.2006.

3. ГОСТ 29167—91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.

4. Пат. РФ № 2257363. Сырьевая смесь для производства легкого огнеупорного фибробетона / В. А. Перфилов, У. В. Алаторцева, Ю. С. Агеев, С. П. Митяев, А. А. Тюрин. Бюл. № 20. Зарег. 20.07.2009.

5. Пат. РФ № 2257363. Сырьевая смесь для производства легкого огнеупорного бетона / В. А. Перфилов, Ю. С. Агеев. Бюл. № 21. Зарег. 27.07.2005.

1. A.s. № 819618. Sposob opredeleniya kharakteristiki treshchinostoykosti materialov / L. P. Trapeznikov, V. I. Pashchenko, A. P. Pak. Opubl. 07.04.1981.

2. Pat. RF № 2267767. Sposob opredeleniya kharakteristiki treshchinostoykosti materialov / V. A. Perfilov. Zareg. 10.01.2006.

3. GOST 29167—91. Betony. Metody opredeleniya kharakteristik treshchinostoykosti (vyazkosti razrusheniya) pri staticheskom nagruzhenii.

4. Pat. RF № 2257363. Syr'evaya smes' dlya proizvodstva legkogo ogneupornogo fibrobetona / V. A. Perfilov, U. V. Alatortseva, Yu. S. Ageev, S. P. Mityaev, A. A. Tyurin. Byul. № 20. Zareg. 20.07.2009.

5. Pat. RF № 2257363. Syr'evaya smes' dlya proizvodstva legkogo ogneupornogo betona / V. A. Perfilov, Yu. S. Ageev. Byul. № 21. Zareg. 27.07.2005.

© Перфилов В. А., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Перфилов В. А. Прочность и трещиностойкость жаростойких бетонов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 148—153.

УДК 625.07:691.32:691.34:693.54

В. П. Матуа, С. В. Сизонец, Р. В. Матуа

ИССЛЕДОВАНИЕ УКРЕПЛЕННЫХ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Посвящена снижению остаточных деформаций в укрепленных щебеночно-песчаных смесях (ЩПС) под воздействием динамических нагрузок. Показано, что при введении добавок ANT и nanoSTAB в укрепленных ЩПС возрастают прочностные показатели, что свидетельствует об увеличении деформативности и как следствие, происходит уменьшение остаточных деформаций.

К л ю ч е в ы е с л о в а: укрепленная щебеночно-песчаная смесь, добавки ANT и nanoSTAB, остаточная деформация, динамическая нагрузка, предел прочности на сжатие, предел прочности на растяжение при изгибе.

The article is devoted to the decrease of permanent strain in strengthened crushed-stone-sand mixtures (CSSM) under the influence of dynamic loadings. It is shown that when adding ANT and nanoSTAB in strengthened CSSM strength indexes increase that testifies the increase of strains and a result the decrease of permanent strain.

K e y w o r d s: strengthened crushed-stone-sand mixtures, ANT and nanoSTAB additives, permanent strain, dynamic loading, pressure strength limit, bend stretching strength limit.

В последние годы, в связи с быстрым ростом интенсивности, скорости движения и осевых нагрузок как на дорогах федерального, так и местного значения, наблюдается значительное повышение скорости накопления остаточных деформаций в элементах дорожных конструкций. Под воздействием многократно повторяющихся нагрузок уже на ранней стадии их эксплуатации наблюдается накопление необратимых (остаточных) деформаций как в грунте земляного полотна, так и в слоях оснований и покрытий дорожных одежд [1]. Накопление остаточных деформаций в слое из укрепленной щебеночно-песчаной смеси (ЩПС) приводит на начальном этапе к образованию микротрещин, постепенное увеличение которых способствует образованию сплошной трещины с разрушением конструктивного слоя. Таким образом разрушение происходит постепенно. Вначале возникают перенапряжения, а затем микротрещины в отдельных микрообъектах. Развитие этого процесса сопровождается перераспределением напряжений и вовлечением в трещинообразование все большего объема материала, вплоть до возникновения сплошного разрыва. При действии сжимающих напряжений разрушение обусловлено вначале прогрессирующим развитием микротрещин отрыва, ориентированных преимущественно параллельно направлению максимального сжимающего напряжения. На следующих стадиях, в частности при неустойчивом пути деформирования, внутри разрушающегося тела возникают зоны сосредоточенного сдвига. Разрушение в конечном итоге вызывается локальным сдвигом и дилатансией в этих зонах [2]. При растяжении для слоя из укрепленных ЩПС характерно образование микротрещин, перпендикулярных направлению главного растягивающего напряжения, и более хрупкое и быстрое разрушение.

Одним из основных критериев, позволяющих судить о надежности и долговечности укрепленных ЩПС, может служить критерий минимума накопления остаточных деформаций. В напряженно-деформированном состоя-

нии материалы в слое из укрепленных ЩПС проявляют ряд сложных свойств: упругость, пластичность, ползучесть, релаксацию напряжений, изменение прочности в зависимости от скорости деформирования, накопление деформаций при многократных приложениях нагрузки и т. д. Наиболее полно свойства смеси можно определить при решении практических задач методами реологии — науки, рассматривающей общие законы течения, т. е. образование и развитие деформаций во времени, которая позволяет наиболее полно исследовать дорожно-строительные материалы и приблизить их испытания к реальным условиям эксплуатации дороги. Используемые в слоях оснований дорожно-строительные материалы, как правило, представляют собой сложную многокомпонентную систему. Эта сложность обусловлена, главным образом, особенностями их структуры, а также большой зависимостью свойств от многообразных факторов. Например, укрепленная ЩПС резко меняет свойства в зависимости от температуры. При высоких положительных температурах происходит пересушивание и появление трещин, а отрицательные могут повлиять на процессы схватывания и твердения. Помимо температуры, на свойства укрепленной ЩПС большое влияние оказывает прочность и деформативность, которые определяются, главным образом, структурой и свойствами цемента, который скрепляет зерна заполнителя в монолит. Структура и свойства смеси зависят от его минералогического состава, водоцементного отношения, тонкости помола цемента, возраста, условий приготовления и твердения, введенных добавок. Проведенные в последнее время исследования показывают, что путем применения тех или иных технологических приемов или введения добавок можно значительно изменить прочность и деформативность слоя из ЩПС: в отдельных случаях прочность увеличивается в несколько раз.

Свойства всякого материала определяются теми условиями, в которых он работает. При весьма кратковременных нагрузках укрепленные ЩПС в зависимости от величины нагрузок находятся в «почти» упругом или упруго-пластическом состоянии. Если поставить их в условия длительного загружения, что фактически и происходит на автомобильной дороге при высокой интенсивности движения, то деформации растут с течением времени, — укрепленные ЩПС, как говорят, ползут под нагрузкой.

В настоящее время экспериментально установлено, что ползучесть укрепленных ЩПС зависит от большого числа факторов, которые, согласно И. И. Улицкому [3], можно разбить на группы и, за некоторым изменением, представить в следующем виде:

1) факторы, зависящие от свойств и соотношения образующих материалов, т. е. от марки;

2) факторы, зависящие от окружающей среды, в частности от температуры и влажности;

3) факторы, зависящие от характера нагрузки, т. е. от ее величины, длительности действия и количества приложений.

Исходя из вышеизложенного, применение к укрепленным ЩПС теории ползучести видится плодотворным, поскольку она, в отличие от теорий упругости и пластичности, оперирует дополнительно независимой переменной — временем. Для исследования этого процесса в ДорТрансНИИ РГСУ были подобраны оптимальные составы щебеночно-песчаных смесей, укрепленных следующими вяжущими и добавками:

1) цемент ССПЦ 500-Д20 — сульфатостойкий портландцемент марки 500;

2) битумная эмульсия, состоящая: битум БНД 60/90 + эмульгатор «Асфер» + вода;

3) ионный стабилизатор ANT, представляющий собой водорастворимую активную органо-минеральную добавку, содержащую амфотерные поверхностно-активные вещества и микроэлементы [4];

4) полимерная эмульсия nanoSTAB, представляющая собой водную дисперсию стирол-бутадиен-полимера SiO_2 [5].

Составы этих смесей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Составы укрепленных щебеночно-песчано-цементных смесей

Состав смесей, %					Содержание добавок от цемента, %	
Щебень М800	Песок	Цемент	Вода	Битумная эмульсия	ANT	nanoSTAB
62	35	3	2,5	—	—	—
60	35	5	4,0	—	—	—
62	35	3	3,5	—	0,3	—
62	35	3	2,5	—	—	11
62	35	3	1,25	3	—	—
62	35	3	1,0	5	—	—
60	35	5	1,25	3	—	—
62	35	3	1,25	3	0,3	—
62	35	3	1,25	3	—	11

Образцы из исследуемых смесей изготавливались методом прессования под нагрузкой 20 МПа в течение 3 минут. Образцы из щебеночно-песчаных смесей, укрепленных минеральным вяжущим, изготавливались в соответствии с ГОСТ 23558—94, а образцы из щебеночно-песчаных смесей, укрепленных комплексным вяжущим (битумная эмульсия совместно с цементом) по ГОСТ 30491—97. После чего образцы извлекались и хранились в условиях естественного термо-влажностного режима необходимое до испытаний время (28 суток). Перед испытанием образцы подвергались в течение 72 часов капиллярному водонасыщению. Капиллярное водонасыщение образцов проводилось через слой влажного песка. Далее по ГОСТ 10180 определялась прочность образцов на сжатие и растяжение при изгибе.

Результаты физико-механических показателей укрепленных образцов из щебеночно-песчаных смесей представлены в табл. 2, 3.

Таблица 2

Физико-механические показатели образцов из щебеночно-песчаных смесей, укрепленных минеральным вяжущим по ГОСТ 23558—94

Наименование показателей	Составы ЩПС, укрепленных минеральным вяжущим			
	ЩПС + 3 % цемента	ЩПС + 5 % цемента	ЩПС + 3 % цемента + + ANT	ЩПС + 3 % цемента + + nanoSTAB
Предел прочности на сжатие $R_{сж}$, МПа	4,75	6,81	7,29	6,25

Окончание табл. 2

Наименование показателей	Составы ЩПС, укрепленных минеральным вяжущим			
	ЩПС + 3 % цемента	ЩПС + 5 % цемента	ЩПС + 3 % цемента + +ANT	ЩПС + 3 % цемента + + nanoSTAB
Марка по прочности	М40	Марка по прочности	М40	Марка по прочности
Предел прочности на растяжение при изгибе $R_{изг}$, МПа	0,83	1,24	1,37	1,29
Водонасыщение, %	1,9	1,5	1,1	1,3
Морозостойкость (количество циклов попеременного замораживания и оттаивания) F	15	25	45	39

Таблица 3

Физико-механические показатели образцов из щебеночно-песчаных смесей, укрепленных комплексным вяжущим по ГОСТ 30491—97

Наименование показателей	Составы ЩПС, укрепленных комплексным вяжущим					Требования ГОСТ 30491—97 к органо-минеральным смесям для оснований
	ЩПС + + 3 % цемента + + 3 % Б.Э.	ЩПС + + 3 % цемента + + 5 % Б.Э.	ЩПС + + 5 % цемента + + 3 % Б.Э.	ЩПС + + 3 % цемента + 3 % Б.Э. + + nano STAB	ЩПС + + 3 % цемента + + 3 % Б.Э. + + ANT	
Предел прочности на сжатие, МПа, при температурах, °С, не менее:						
20	1,85	1,50	2,52	3,20	4,05	1,4
50	0,74	0,61	0,95	1,22	1,41	0,5
Водонасыщение, % по объему, не более	5,0	6,0	4,5	4,0	3,8	10
Набухание, % по объему, не более	1,3	1,4	1,2	1,0	0,9	2,0

Анализ приведенных в табл. 2 данных показывает, что образцы из щебеночно-песчаных смесей, укрепленных 3 % цемента в 28-суточном возрасте, согласно ГОСТ 23558—94 соответствуют марке по прочности М40 ($R_{сж} \geq 4{,}0$ МПа; $R_{изг} \geq 0{,}8$ МПа), а укрепленных 5 % цемента соответствуют марке по прочности М60 ($R_{сж} \geq 6{,}0$ МПа; $R_{изг} \geq 1{,}2$ МПа). При введении стабилизатора

nanoSTAB в составе укрепленного материала возрастает предел прочности на сжатие до 24 %. Также возрастает предел прочности на растяжение при изгибе до 36 %, что свидетельствует об увеличении деформативности полученного материала. Наибольший прирост прочности при сжатии наблюдается у щебеночно-песчано-цементных смесей (ЩПЦС) со стабилизатором ANT (до 35 %). С введением данного стабилизатора прочность укрепленного материала повышается с М40 до М60 по ГОСТ 23558—94. Повышение прочности на сжатие при модификации стабилизатором ANT объясняется образующимся адсорбционным слоем на поверхности зерен цемента, что положительно влияет на рост прочности укрепленных ЩПЦС [6]. Введение стабилизатора также способствует приросту прочности на растяжение при изгибе до 40 % и обеспечивает снижение расхода цемента на 30 %, без уменьшения при этом марки по прочности. Аналогичные результаты увеличения прочностных показателей были получены и для ЩПС, укрепленных комплексным вяжущим (см. табл. 3). Так же по результатам испытаний был выявлен критерий предела выносливости $R_{изг}/R_{сж}$, с помощью которого видно, что образцы из ЩПС, укрепленные цементом, имеют критерий предела выносливости 0,17. При введении добавок в состав укрепленного материала этот показатель возрастает до 0,21 или на 20 %. Повышение отношения $R_{изг}/R_{сж}$ свидетельствует о пониженной склонности смеси к трещинообразованию [7].

Далее проводились экспериментальные исследования укрепленных образцов из ЩПС на воздействие динамических нагрузок такой частоты и времени воздействия, которые были бы максимально приближены к реальным условиям эксплуатации дороги. Испытания проводились на лабораторном оборудовании под воздействием кратковременно повторяющейся расчетной циклической нагрузки (рис. 1). На лабораторное оборудование получено положительное решение о выдаче патента на полезную модель от 29 августа 2011 г. [8].

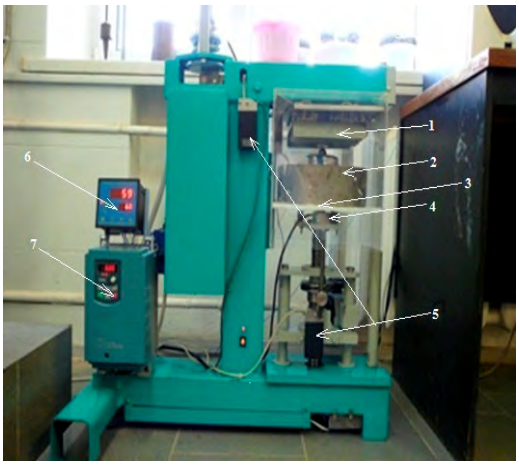


Рис. 1. Общий вид лабораторной установки для оценки устойчивости дорожно-строительных материалов на накопление остаточных деформаций под воздействием динамических нагрузок: *1* — инфракрасные нагреватели; *2* — образец испытываемого материала в обойме для обеспечения бокового обжатия; *3* — подъемный стол; *4* — датчик силы; *5* — оптико-электронные растровые преобразователи линейных перемещений; *6* — температурный регулятор; *7* — частотный регулятор

Образец помещался в стальную форму бокового обжатия, промежуток между стенками формы и образца заполнялся гипсовым раствором. Подготовленный к испытанию образец в форме для бокового обжатия помещался на подъемный стол, в камеру установки. По центру образца располагался штамп, который через стальной шарнир приводился в соприкосновение с толкателем. В пружинном блоке производилось заневоливание пружины до необходимой величины передаваемой на образец нагрузки, которая фиксируется датчиком силы. На частотном регуляторе устанавливалось необходимое число оборотов двигателя главного привода. Включался электродвигатель и все контрольно-измерительное оборудование установки. Замеры остаточных и упругих деформаций производились в автоматическом режиме, запись данных осуществлялась непосредственно на компьютере и в дальнейшем производилась обработка данных в автоматическом режиме, по специально разработанной для этих целей программе.

Ползучесть укрепленных образцов из ЩПС определялась при нагрузке P = 0,4 МПа (соответствующей реальному напряженно-деформируемому состоянию материала под воздействием расчетной динамической нагрузки), передаваемой на образец через металлический штамп. Частота приложения нагрузки составляла 15 Гц при среднем времени воздействия нагрузки 0,016 с. Размер штампа был принят диаметром 7 см при диаметре образца 20 см. Образцы перед испытанием подвергались капиллярному водонасыщению в течение 72 часов по ГОСТ 23558—94.

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены кривые ползучести как для ЩПС, укрепленных минеральным вяжущим, так и для ЩПС, укрепленных комплексным вяжущим, которые представлены на рис. 2, 3.

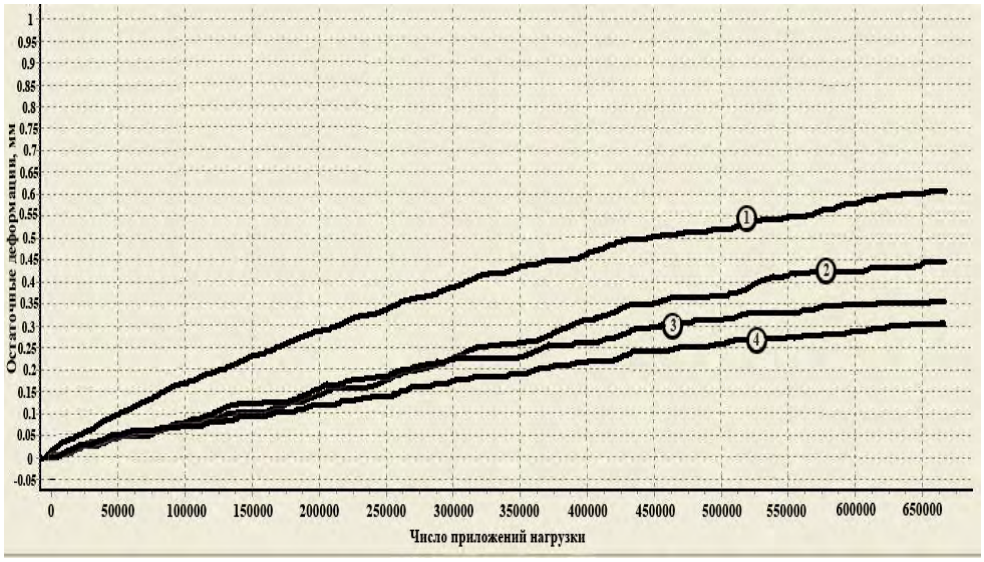


Рис. 2. Накопление остаточных деформаций в щебеночно-песчаных смесях, укрепленных минеральным вяжущим: *1* — ЩПС, укрепленная 3 % цемента; *2* — ЩПС, укрепленная 5 % цемента; *3* — ЩПС, укрепленная 3 % цемента + nanoSTAB; *4* — ЩПС, укрепленная 3 % цемента + ANT

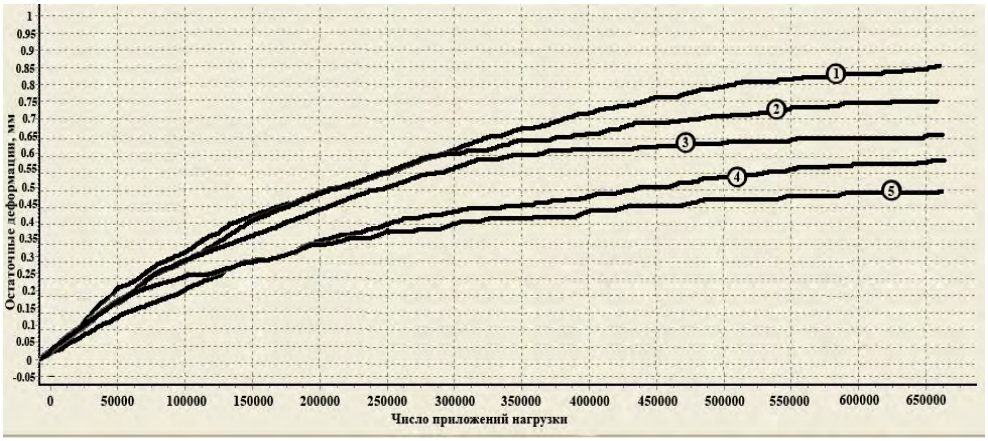


Рис. 3. Накопление остаточных деформаций в щебеночно-песчаных смесях, укрепленных комплексным вяжущим: *1* — ЩПС, укрепленная 3 % цемента + 5 % битумной эмульсии; *2* — ЩПС, укрепленная 3 % цемента + 3 % битумной эмульсии; *3* — ЩПС, укрепленная 5 % цемента + 3 % битумной эмульсии; *4* — ЩПС укрепленная 3 % цемента + 3 % битумной эмульсии + nanoSTAB; *5* — ЩПС, укрепленная 3 % цемента + 3 % битумной эмульсии + ANT

В образцах щебеночно-песчаных смесей, укрепленных минеральным вяжущим (см. рис. 2), после 650 000 приложений расчетной нагрузки наблюдается накопление остаточных деформаций (в пределах от 0,36 до 0,61 мм). Ползучесть этих смесей объясняется их структурой, длительным процессом кристаллизации и уменьшением количества геля при твердении цементного камня. Под нагрузкой происходит перераспределение напряжений с испытывающей вязкое течение гелевой структурной составляющей. Одновременно развитию деформаций ползучести способствуют капиллярные явления, связанные с перемещением в микропорах и капиллярах избыточной воды под нагрузкой. В то же время при введении в состав органического вяжущего совместно с минеральным (см. рис. 3) структура материала становится более пластичной и происходит более интенсивное накопление остаточных деформаций (в пределах 0,64…0,86 мм). Прочность и деформативность укрепленных ЩПС определяется, главным образом, структурой и свойствами цементного камня, который скрепляет зерна заполнителя в монолит. Структура и свойства укрепленных ЩПС, как отмечалось выше, зависят: от минералогического состава, водоцементного отношения, тонкости помола цемента, возраста, условий приготовления и твердения или введения добавок. При введении добавок можно значительно изменить прочность и деформативность укрепленных ЩПС. При введении стабилизатора nanoSTAB в составе укрепленной смеси увеличивается деформативность, а следовательно, происходит уменьшение остаточных деформаций до 26 %. Росту динамической прочности способствует повышение однородности и равномерности полей напряжений и деформаций. Наименьший прирост остаточных деформаций наблюдается у смеси со стабилизатором ANT. С введением данного стабилизатора остаточные деформации снижаются до 50 %, это объясняется тем, что происходит быстрое образование первичного структурного каркаса [9]. Наличие структурного каркаса резко облегчило замену –OH(H_2O) из составляющих цемента на –OH(аромат), входящий в состав стабилизатора ANT.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что введение добавок в смеси обеспечивает:

повышение предела выносливости $R_{изг}/R_{сж}$, и как следствие, повышение сопротивления смеси многократным динамическим нагружениям;

повышение физико-механических показателей, а следовательно, увеличение срока службы и долговечности дорожных конструкций;

снижение расхода цемента на 30 %, без уменьшения при этом марки по прочности, что в конечном итоге будет способствовать получению более качественных смесей с увеличенными деформативными свойствами, позволит сократить время и затраты на строительство и увеличить срок службы дорожной конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Матуа В. П., Панасюк Л. Н.* Прогнозирование и учет накопления остаточных деформаций в дорожных конструкциях. — Ростов н/Д : Рост. гос. строит. ун-т, 2001. — 372 с.

2. *Баженов Ю. М.* Бетон при динамическом нагружении. — М., 1970. — 264 с.

3. *Улицкий И. И.* Потери предварительного напряжения от ползучести и усадки бетона в железобетонных конструкциях. — Киев : Госстройиздат УССР, 1962. — 207 с.

4. ТУ. Теплая регенерация асфальтобетонов с использованием препарата «стабилизатор грунтов» и органоминеральных смесей ANT для дорожного строительства. — Ставрополь, 2011. С. 1—20.

5. ТС. Технология создания полимермодифицированных стабилизированных цементом несущих слоев. — Дармштадт, 2008. — С. 1—19.

6. *Баженов Ю. М.* Технология бетона. — М. : Изд-во АСВ, 2002. — 500 с.

7. *Schumann D.* Putz fur Bauwerke Arbeite // Baugeverbe. 1981. № 22. С. 28—34.

8. Пат. 100260 МПК G01N 3/36 .Устройство для определения деформаций динамической ползучести дорожно-строительных материалов.

9. *Рамачандран В. С.* Добавки в бетон : справочное пособие. — М. : Стройиздат, 1988. — С. 99—144.

1. *Matua V. P., Panasyuk L. N.* Prognozirovanie i uchet nakopleniya ostatochnykh deformatsiy v dorozhnykh konstruktsiyakh. — Rostov n/D : Rost. gos. stroit. un-t, 2001. — 372 s.

2. *Bazhenov Yu. M.* Beton pri dinamicheskom nagruzhenii. — M., 1970. — 264 s.

3. *Ulitskiy I. I.* Poteri predvaritel'nogo napryazheniya ot polzuchesti i usadki betona v zhelezobetonnykh konstruktsiyakh. — Kiev : Gosstroyizdat USSR, 1962. — 207 s.

4. TU. Teplaya regeneratsiya asfal'tobetonov s ispol'zovaniem preparata «stabilizator gruntov» I organomineral'nykh smesey ANT dlya dorozhnogo stroitel'stva. — Stavropol', 2011. S. 1—20.

5. TS. Tekhnologiya sozdaniya polimermodifitsirovannykh stabilizirovannykh tsementom nesushchikh sloev. — Darmshtadt, 2008. — S. 1—19.

6. *Bazhenov Yu. M.* Tekhnologiya betona. — M. : Izd-vo ASV, 2002. — 500 s.

7. *Schumann D.* Putz fur Bauwerke Arbeite // Baugeverbe. 1981. № 22. S. 28—34.

8. Pat. 100260 MPK G01N 3/36 .Ustroystvo dlya opredeleniya deformatsiy dinamicheskoy polzuchesti dorozhno-stroitel'nykh materialov.

9. *Ramachandran V. S.* Dobavki v beton : spravochnoe posobie. — M. : Stroyizdat, 1988. — S. 99—144.

© Матуа В. П., Сизонец С. В., Матуа Р. В., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Матуа В. П., Сизонец С. В., Матуа Р. В. Исследование укрепленных щебеночно-песчаных смесей на накопление остаточных деформаций под воздействием динамических нагрузок // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С.154—161.

УДК 691.217–492.2:661.322

В. И. Калашников, Ю. В. Грачева, Е. Ю. Миненко

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ДЛИТЕЛЬНОЙ ВОДОСТОЙКОСТИ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ И ГЕОШЛАКОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Разработан экспресс-метод оценки длительной водостойкости геосинтетического вяжущего из песчаников, модифицированных реакционно-активными по отношению к кремнекислоте модифицирующими добавками путем кипячения образцов в воде. Показано, что процесс связывания свободной кремнекислоты может быть осуществлен некоторыми тонкодисперсными горными породами вулканического происхождения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: геосинтетические и геошлаковые вяжущие, экспресс-метод, длительная водостойкость.

The authors develop a rapid method of assessment of durable water resistance of geo-synthetic binding material from sandstone, modified by reacting to silica modifying additives through boiling the sample in water. It is shown that the binding process of free silica acid can be carried out by some finely dispersed rocks of volcanic origin.

K e y w o r d s: geo-synthetic and geo-slag binding materials, rapid method, durable water resistance.

Разработка вяжущих нового поколения из молотых горных пород, отверждаемых малыми добавками щелочных активизаторов, является чрезвычайно актуальной задачей для будущего строительства в связи с дешевизной высокодисперсных отходов из отвалов мокрой и сухой магнитной сепарации, флотации, тонкодисперсных отходов камнедробления.

Ранее было показано [1—5], что некоторые тонкомолотые кремнеземистые породы — песчаники, представляющие собой тонкодисперсный и волокнистый кварц, сцементированный высоактивными опаловидными разновидностями кремнезема, отверждаются добавкой щелочи с формированием высокой прочности, достигающей при прогреве 100…190 МПа. Такой высокопрочный камень, сцементированный кремнекислотой, способен сохранять свою прочность в воздушно-сухих условиях в течение очень продолжительного времени. Однако при хранении в воде он саморазрушается от набухания геля кремнекислоты.

Проведенные исследования позволили связать кремнекислоту в стабильные соединения, обладающие водостойкостью при длительном воздействии воды. Оценка длительной водостойкости предусматривает продолжительное хранение в воде до тех пор, пока прочностные показатели после небольшого понижения, свойственного всем гидравлическим вяжущим, начинают постепенно увеличиваться.

В связи с этим, нами разработан экспресс-метод оценки водостойкости геосинтетических вяжущих из молотых горных пород. Он заключается в оценке поведения образцов различной водостойкости в процессе кипячения их в воде. Уменьшение, сохранение или повышение прочности образцов свидетельствует о протекании конструктивных или деструктивных процессов, протекающих в минеральной системе, и дает возможность прогнозировать длительную водостойкость при длительной эксплуатации материала в воде.

Для определения водостойкости этим методом из геосинтетических вяжущих были изготовлены образцы-цилиндры диаметром и высотой 20 мм при влажности 14 % и давлении прессования P = 25 МПа. Использовали два вида песчаников Пензенской области: кремнеземистый (с. Архангельское) и глауконитовый. В качестве добавок, повышающих водостойкость, использовали в первом случае тонкомолотый шлак в количестве 20 %, во втором — комплекс «тонкомолотый шлак 20 % + гидроксид алюминия 5 %», в третьем — вулканический дацит 50 %, в четвертом — аплит-гранит 50 %. Количество щелочного активизатора составляло 7 % от массы вяжущего. Полученные образцы после выдержки в течение суток в воздушно-влажностных условиях подвергались тепловой обработке по следующему режиму: подъем температуры в течение 4 ч, изотермическая выдержка при $t_{из}$ = 200 °С — 6 ч, естественное остывание — 4 ч. После тепловой обработки образцы погружали в стеклянную колбу с дистиллированной водой, накрывали ее стеклом и подвергали кипячению до образования первых трещин. Уровень воды после некоторого испарения ее поддерживали постоянным. Фрагменты испытания водостойкости образцов экспресс-методом представлены на рис. Составы смесей и результаты испытаний приведены в табл. 1.

а *б* *в* *г*

Фрагменты испытания водостойкости образцов на геосинтетических вяжущих экспресс-методом (см. составы 1, 2, 3, табл. 1): *а* — начало кипячения; *б* — 1 час кипячения в воде; *в* — 3 часа кипячения в воде; *г* — 12 суток кипячения в воде

Таблица 1

Результаты испытания образцов на длительный коэффициент водостойкости

№ п/п	Соотношение компонентов вяжущего, %	Прочность при сжатии, МПа, после тепловой обработки при $t_{из}$ = 200 °С	Прочность при сжатии, МПа, образцов, подвергнутых ТО при $t_{из}$ = 200 °С, после водонасыщения в течение 150 суток	Коэффициент водостойкости после ТО при $t_{из}$ = 200 °С через 150 суток	Прочность при сжатии, МПа, после кипячения, сут. / Коэффициент водостойкости после кипячения, сут.						
					1 час	2,5 часа	2 суток	10 суток	12 суток	14 суток	20 суток
1	Песчаник архангельский-100	131,2	0	0	23,6 / 0,18	Образцы саморазрушились					
2	Песчаник архангельский-80, Шлак Липецкий-20	84,5	57,5	0,68	43,9 / 0,52	33,9 / 0,40	Образцы саморазрушились				
3	Песчаник архангельский-75, Шлак Липецкий-20, $Al(OH)_3$-5	72,8	60,4	0,83	65,5 / 0,9	65,5 / 0,9	64,0 / 0,88	38,1 / 0,52	36,2 / 0,50	35,9 / 0,50	37,1 / 0,51
4	Песчаник архангельский-50, Дацит-50	53,4	55,0	1,03	49,1 / 0,92	49,1 / 0,92	48,0 / 0,90	37,9 / 0,71	37,6 / 0,70	37,4 / 0,70	37,5 / 0,7
5	Песчаник архангельский-50, Аплит-гранит-50	91,9	8,3	0,09	19,3 / 0,21	Образцы саморазрушились					
6	Песчаник глауконитовый-100	89,8	0	0	9,9 / 0,11	Образцы саморазрушились					
7	Песчаник глауконитовый-80, Шлак Липецкий-20	73,2	44,7	0,61	39,5 / 0,54	26,4 / 0,36	Образцы саморазрушились				
8	Песчаник глауконитовый-75, Шлак Липецкий-20, $Al(OH)_3$-5	36,7	29,7	0,81	31,6 / 0,86	31,6 / 0,86	29,6 / 0,81	16,2 / 0,44	15,4 / 0,42	15,2 / 0,42	15,7 / 0,43
9	Песчаник глауконитовый-50, Дацит-50	44,2	50,4	1,14	38,9 / 0,88	38,9 / 0,88	38,0 / 0,86	27,9 / 0,63	27,6 / 0,62	27,2 / 0,61	27,7 / 0,62
10	Песчаник глауконитовый-50, Аплит-гранит-50	97,2	6,8	0,07	18,5 / 0,19	Образцы саморазрушились					

Как следует из табл. 1, наименее водостойкими являются образцы из песчаников. Образцы из геосинтетического вяжущего с 20 % тонкомолотого шлака после 2,5 часов кипячения теряют 60 % прочности, а через 2 суток — саморазрушаются. Образцы из вяжущего на основе смеси архангельского песчаника с аплит-гранитом в наименьшей степени понижают свою прочность по сравнению с образцами из чистого песчаника, но они становятся совершенно неводостойкими.

Практически все добавки понижают прочность при сжатии в сравнении с контрольными бездобавочными составами, но степень уменьшения прочности у различных добавок неодинакова. Наиболее сильное снижение прочности (более чем в 2 раза) наблюдается у образцов из смеси «песчаник + дацит». Образцы из смеси глауконитового песчаника и аплит-гранита имеют более высокую прочность по сравнению с контрольными. Дацит в композиционных составах с песчаниками существенно снижает цементирующее действие кремнекислоты, вследствие образования менее прочных соединений с ней.

Несмотря на существенное понижение прочности прогретых образцов из двух тонкомолотых горных пород — песчаника и дацита и смеси песчаника с добавкой тонкомолотого шлака и гидроксида алюминия по сравнению с контрольными, введение добавок способствует повышению водостойкости геосинтетических вяжущих. Коэффициент длительной водостойкости после кипячения в течение 12 суток образцов на основе геосинтетического вяжущего, модифицированного комплексной добавкой «тонкомолотый шлак + гидроксид алюминия», снизился до 0,42…0,5 в зависимости от вида песчаника, но при более длительном кипячении стабилизировался на одном и том же уровне. Это является свидетельством прекращения воздействия воды на растворение менее водостойких цементирующих веществ.

Коэффициент водостойкости образцов, модифицированных дацитом, через 14 суток кипячения имеет более высокие значения: для архангельского песчаника он равен 0,7 (см. состав 4, табл. 1), для глауконитового песчаника — 0,61 (см. состав 9, табл. 1). Вызывает интерес тот факт, что в течение всего времени кипячения модифицированных образцов не наблюдается изменение цвета воды (см. рис., *г*; состав 3, табл. 1), а у контрольных составов и с добавлением 20 % тонкомолотого шлака или 50 % аплит-гранита процесс разрушения сопровождается изменением цвета воды до темно-коричневого. При этом окраска воды при кипячении образцов из глауконитового песчаника намного интенсивнее, чем при кипячении кремнеземистого песчаника.

Следует отметить и тот факт, что при кипячении образцов (см. 3, 4, 8, 9 составы, табл. 1) уже к 10 суткам наблюдается стабилизация прочностных показателей и значений коэффициентов длительной водостойкости. Такая стабилизация значений прочности у образцов, длительно хранящихся в воде при температуре 20 ºС, при оценке их водостойкости по обычной долговременной методике, наступает через 180…250 суток экспонирования образцов в воде с дальнейшим медленным повышением прочности.

Таким образом, исходя из результатов оценки водостойкости, получается, что кремнеземистый и глауконитовый песчаники, модифицированные комплексной добавкой Липецкого шлака и $Al(OH)_3$ (см. составы 3 и 8, табл. 1), могут быть использованы для изготовления воздушных вяжущих и материалов на их основе. Смеси песчаников с дацитом пригодны для получения гидравлических вяжущих веществ (см. состав 4 и 9, табл. 1).

Водостойкость образцов из архангельского песчаника равная 0,8 при экспонировании их в воде в течение 180 суток может быть достигнута за счет увеличения добавки $Al(OH)_3$ до 10 % от массы песчаника без использования второго модификатора — Липецкого шлака.

С увеличением дозировки $Al(OH)_3$ до 10 % при меньшем количестве шлака — 15 % от массы архангельского песчаника прочностные показатели образцов повышаются, а коэффициент водостойкости через 180 суток достигает 0,88…0,90.

В исследованиях [6] использовались размолотые до дисперсности 650 м^2/кг различные горные породы — дацит кварцевый, гранит Павловского месторождения, гранит Хребетского месторождения, габбро-диабаз Уральского месторождения с добавкой модификатора или без него. В качестве модифицирующей добавки использовался тонкомолотый доменный Липецкий шлак с дисперсностью 380 м^2/кг. Для модификации дацита, гранита Павловского дозировка шлака составляла соответственно 10 и 15 %, а для габбро-диабаза и гранита Хребецкого месторождения — 25 % от массы пород.

В качестве активизатора процесса твердения использовался гидроксид натрия (NaOH) в количестве 6 и 8 % от веса измельченной горной породы или смеси горной породы со шлаком. Влажность смесей при 6-процентном содержании NaOH составляла 13 %. Порошки горных пород влажностью 13 и 16 % прессовались при давлении 25 МПа. Были изготовлены образцы цилиндры с диаметром и высотой 25 мм. Твердение образцов осуществлялось в условиях термовлажностной обработки при температуре 60 °С в термостате в течение 10 часов при последующем сухом прогреве в сушильном шкафу при температуре 105 °С (6 ч).

Результаты экспериментов по определению прочности после ТО и последующего длительного нахождения образцов в воде, а также водостойкости, в том числе и при кипячении, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Прочность и водостойкость геошлаковых и геосинтетических вяжущих из вулканических горных пород

Горная порода	Шлак, %	NaOH	В/Т	После ТО при $t_{из}$ = 105 °С		$R_{сж}$, МПа, при выдержке образцов в воде			$K_в$ в воде через		$R_{сж}$, МПа, после кипячения, час		$K_в$ после кипячения через	
				ρ, кг/м^3	$R_{сж}$, МПа	2 сут	60 сут	300 сут	60 сут	300 сут	35	50	35 час	50 час
Гранит Павловский	15	6	0,14	1875	33	32,7	39,6	41,3	1,2	1,25	30,5	28	0,92	0,85
Дацит	10	6	0,13	2005	46	49,3	46,9	42,3	1,02	0,92	40	36	0,87	0,78
Гранит Хребетский	0	8	0,16	1922	44,8	—	28,8	—	0,64	—	—	29,7	—	0,66
	25			2016	61,0	—	70,6	—	1,16	—	—	73,1	—	1,2
Габбро-дибаз	0	8	0,16	2188	38,9	—	37,5	—	0,96	—	—	32	—	0,82
	25			2209	70,4	—	73,2	—	1,04	—	—	66	—	0,94

Как следует из табл. 2, молотый Павловский гранит с добавкой шлака в количестве 15 % обладает высокой водостойкостью после экспонирования в воде в течение 30 суток. Судя по величине $K_в$, равного 1,25, процесс набора прочности продолжается и растягивается на длительный период. Однако кипячение в воде в течение 50 часов понижает $K_в$ до 0,85. Увеличение дозировки шлака до 25 % и щелочи до 8 % к Хребетскому граниту повышает $K_в$ до 1,2.

Хорошие результаты получены на образцах из габбро-диабаза. Образцы, из сложной по минералогическому составу породы, имеют более высокую прочность, чем дацит и граниты, и после кипячения незначительно понижают свою водостойкость.

Таким образом, разработанный способ не только позволяет в течение 1…2 ч кипячения в воде дать оценку непригодности горной породы для получения водостойких щелочных геосинтетических вяжущих из горных пород, но и ускорить по времени прогноз водостойкости вяжущих в 25…30 раз.

Необходимо отметить, что метод кипячения достаточно пористых образцов (P_o = 20…25 %) является очень жестким, чем периодическое воздействие воды от природных осадков на наземные ограждающие конструкции, дорожные покрытия и т. п. Он дает возможность с высокой степенью надежности судить о длительной водостойкости строительных материалов, поиска модифицирующих добавок для повышения водостойкости геосинтетических материалов из горных пород, отверждаемых путем направленного химического синтеза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Влияние вида и количества щелочного активизатора на формирование прочности геосинтетических вяжущих / В. И. Калашников, В. Ю. Нестеров, Ю. В. Гаврилова, Ю. С. Кузнецов // Достижения, проблемы и перспективные направления развития теории и практики строительного материаловедения : Материалы десятых академических чтений РААСН. 2006. С. 207—208.

2. Модификация геосинтетических вяжущих / В. И. Калашников, В. Ю. Нестеров, Ю. В. Гаврилова, Ю. С. Кузнецов // Известия ГулГУ. Сер.: Строительные материалы, конструкции и сооружения. Вып. 9. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2006. — С. 115—120.

3. *Калашников В. И.* Перспективы развития геополимерных материалов // Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения : Восьмые академические чтения РААСН. — Самара, 2004. — С. 193.

4. Технологические и теоретические основы получения высокопрочного силицитового геополимерного камня / В. И. Калашников, В. Ю. Нестеров, Ю. В. Гаврилова, Ю. С. Кузнецов // Строительные материалы. 2006 . № 5. С. 60—63.

5. *Калашников В. И., Грачева Ю. В., Блясов В. Н.* Особенности оценки длительной водостойкости геосинтетического вяжущего, модифицированного реакционно-активными добавками // Приволжский научный журнал. 2012. № 1. Н. Новгород : ННГАСУ, 2012. С. 62—66.

6. Повышение водоустойчивости и прочности вяжущих на основе магматических горных пород / В. И. Калашников, Н. А. Ерошкина, В. Ю. Нестеров и др. // Междунар. науч.-техн. конф. «Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов». — Пенза : Поволжский Дом знаний. 2006. — С. 35—40.

1. Vliyanie vida i kolichestva shchelochnogo aktivizatora na formirovanie prochnosti geosinteticheskikh vyazhushchikh / V. I. Kalashnikov, V. Yu. Nesterov, Yu. V. Gavrilova, Yu. S. Kuznetsov // Dostizheniya, problemy i perspektivnye napravleniya razvitiya teorii i praktiki stroitel'nogo materialovedeniya : Materialy desyatykh akademicheskikh chteniy RAASN. 2006. S. 207—208.

2. Modifikatsiya geosinteticheskikh vyazhushchikh / V. I. Kalashnikov, V. Yu. Nesterov, Yu. V. Gavrilova, Yu. S. Kuznetsov // Izvestiya GulGU. Ser.: Stroitel'nye materialy, konstruktsii i sooruzheniya. Vyp. 9. — Tula : Izd-vo TulGU, 2006. — S. 115—120.

3. *Kalashnikov V. I.* Perspektivy razvitiya geopolimernykh materialov // Sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya stroitel'nogo materialovedeniya : Vos'mye akademicheskie chteniya RAASN. — Samara, 2004. — S. 193.

4. Tekhnologicheskie i teoreticheskie osnovy polucheniya vysokoprochnogo silitsitovogo geopolimernogo kamnya / V. I. Kalashnikov, V. Yu. Nesterov, Yu. V. Gavrilova, Yu. S. Kuznetsov // Stroitel'nye materialy. 2006 . № 5. S. 60—63.

5. *Kalashnikov V. I., Gracheva Yu. V., Blyasov V. N.* Osobennosti otsenki dlitel'noy vodostoykosti geosinteticheskogo vyazhushchego, modifitsirovannogo reaktsionno-aktivnymi dobavkami // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2012. № 1. N. Novgorod : NNGASU, 2012. S. 62—66.

6. Povyshenie vodoustoychivosti i prochnosti vyazhushchikh na osnove magmaticheskikh gornykh porod / V. I. Kalashnikov, N. A. Eroshkina, V. Yu. Nesterov i dr. // Mezhdunarodnaya nauch.-tekhn. konf. «Novye energo- i resursosberegayushchie naukoemkie tekhnologii v proizvodstve stroitel'nykh materialov». — Penza : Povolzhskiy Dom znaniy. 2006. — S. 35—40.

© Калашников В. И., Грачева Ю. В., Миненко Е. Ю., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Калашников В. И., Грачева Ю. В., Миненко Е. Ю. Экспресс-метод для оперативного прогноза длительной водостойкости геосинтетических и геошлаковых вяжущих // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 162—168.

УДК 691.534.2

В. И. Логанина, Э. Р. Акжигитова

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СМЕШАНОСЛОЙНЫХ ГЛИН В РЕЦЕПТУРЕ ИЗВЕСТКОВЫХ ОТДЕЛОЧНЫХ СОСТАВОВ

Приведены сведения о возможности использования смешанослойных глин Пензенского региона в качестве сырья для получения структурирующей добавки для известковых сухих строительных смесей. Исследовано влияние температуры обжига глины на показатели предела прочности при сжатии известковых композитов, а также на энергетическое состояние поверхности минеральной добавки.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сухие строительные смеси, глина, температура обжига, прочность известкового композита, центры адсорбции.

The authors provide data on possibility of use of mixed layered clays of Penza region as raw materials for receiving structuring additive for dry lime construction mixtures. The influence of temperature of clay baking on strength limit indicators at compression of lime composites is investigated, as well as the influence on energy state of mineral additive surface.

K e y w o r d s: dry construction mixes, clay, baking temperature, lime composite strength, adsorption centers.

Для реставрации зданий и сооружений исторической застройки широкое применение нашли сухие строительные смеси (ССС) на основе извести [1]. Однако покрытия на основе известковых составов отличаются низкими показателями прочности и водостойкости. Для улучшения данных показателей в рецептуру ССС на основе извести вводятся модифицирующие добавки, в основном зарубежного производства. Все это делает производство ССС зависимым от зарубежных поставок составляющих и приводит к удорожанию самой смеси.

Многообразие минерального сырья на территории Пензенской области, в частности смешанослойных глин, создает предпосылки для разработки компонентов ССС на основе местных материалов [2].

Предлагается получение активных минеральных добавок из глин Пензенского региона путем их обжига при низких температурах. По данным [3], при обжиге глины в интервале температур 450…650 °С образуется одноводный каолинит, который обладает более высокой реакционной активностью к извести, чем метакаолинит.

В работе использовались глины Воробьевского, Камешкирского, Белинского, а также Иссинского месторождений. В табл. 1 приведены результаты определения предела прочности при сжатии известковых композитов с добавкой обожженных при различных температурах глин Пензенского региона после твердения в воздушно-сухих условиях. Готовились составы с водоизвестковым соотношением В/И, равным В/И = 1,4, при соотношении известь : песок = 1 : 4. В качестве вяжущего использовалась известь 2-го сорта с активностью 84 %.

Предварительные исследования показали, что наибольшее значение предела прочности при сжатии известковых композитов достигается при введении минеральной добавки, составляющей 10 % от массы извести.

Экспериментальные данные (табл. 1) показывают, что введение в состав обожженной глины способствует повышению прочности при сжатии в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения, составляющему в зависимости температуры обжига и вида глины, в 1,5…2,6 раза. При введении Камешкирской глины наибольший предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток твердения достигается при введении в состав добавки, обожженной при температуре 400 °С, и составляет $R_{сж}$ = 1,75 МПа, в то время как у состава без добавки 0,84 МПа. При введении Воробьевской глины, обожженной при температуре 450 °С, прочность повышается до 1,67 МПа. Введение Белинской и Иссинской глин после обжига при температуре 500 °С способствует повышению прочности составов до 2,2 и 1,68 МПа соответственно. Прочность при сжатии составов с введением глины, обожженной при низких температурах, по сравнению со значениями прочности композитов на основе тех же составов, но с введением добавки, полученной при обжиге глин при температуре 600 °С, превосходит в зависимости от вида глины на 6…26 %.

Таблица 1

Влияние температуры обжига на значение предела прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа

Время твердения, сут	Без добавки	С добавкой глины без обжига	Температура обжига глины, °С				
			400	450	500	550	600
Камешкирская глина							
7	0,78	0,64	0,95	0,9	0,8	0,51	0,61
14	0,81	1,05	1,15	1,24	1,25	1,62	1,22
28	0,84	1,22	1,75	1,70	1,69	1,63	1,58
Воробьевская глина							
7	0,78	0,82	0,91	0,94	1,08	1,00	0,9
14	0,81	0,92	1,26	1,38	1,48	1,42	1,38
28	0,84	0,95	1,28	1,67	1,55	1,52	1,5
Белинская глина							
7	0,78	0,65	0,81	0,85	1,12	1,14	0,64
14	0,81	1,38	1,24	1,36	1,35	1,24	1,1
28	0,84	1,6	1,62	1,71	2,2	1,6	1,74
Иссинская глина							
7	0,78	0,62	0,75	0,62	0,85	0,72	0,82
14	0,81	0,82	1,36	1,1	1,25	1,00	1,12
28	0,84	0,95	1,45	1,41	1,68	1,4	1,58

Результаты РФА свидетельствуют, что в известково-песчаных образцах с добавлением глины Воробьевского месторождения, обжигавшейся при температуре 500 °С, интенсивность линий, относящихся к гидроалюмосиликатам кальция ($Ca_6Al_{12}Si_{12}O_{48}\cdot 28\ H_2O$), выше, чем интенсивность тех же линий при добавлении глины после термообработки при 600 °С [4].

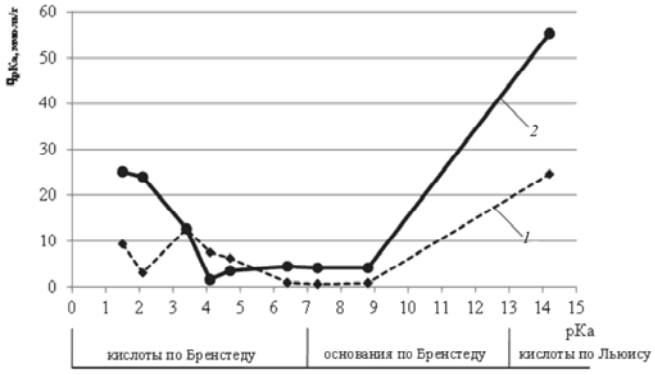
Дополнительно для объяснения механизма упрочнения известковых композитов с добавкой глины, обожженной при низких температурах, оценивались кислотно-основные свойства глин до обжига и после него.

Для исследования активных центров поверхности глин использовали индикаторный метод определения распределения центров адсорбции (РЦА). Исследования производились в области бренстедовских кислотных (рКа 0…7) и основных (рКа 7…13) центров, а также льюисовских кислотных (рКа >13) центров.

На рис. представлены кривые распределения центров адсорбции на поверхности глины Воробьевского месторождения в естественном состоянии и этой же глины после термической обработки при температуре t = 450 °С, построенные в координатах:

$$q_{\text{pKa}} = F(\text{pKa}),$$

где q_{pKa} — содержание активных центров, эквивалентное количеству адсорбированного индикатора определенной кислотной силы — рКа.



Распределение кислотно-основных центров на поверхности минеральной добавки из глины Воробьевского месторождения: *1* — необожженная глина; *2* — глина, подвергнутая термической обработке при температуре 450 °С

Воздействие температурного фактора привело к изменению энергетического состояния поверхности материала. Сравнение распределения адсорбционных центров на поверхности исследуемых материалов, имеющих одинаковый химический, минералогический и гранулометрический составы, свидетельствует о том, что число бренстедовских и льюисовских кислотных центров на поверхности термически обработанной глины превышает число таких же центров на поверхности необожженной глины. В области кислотных бренстедовских центров (рКа 0…7) количество активных центров на поверхности обожженной глины составило 71,17 ммоль/г, в то время как на поверхности необожженной глины — 39,54 ммоль/г. В области основных бренстедовских центров (рКа 7…13) количество активных центров на поверхности обожженной глины составило 8,19 ммоль/г, а на поверхности необожженной глины 1,41 ммоль/г. Наблюдается увеличение количества активных центров при рКа > 13 на поверхности обожженной глины, составляющее 55,36 ммоль/г, в то время как на поверхности необожженной глины 24,6 ммоль/г. Дегидратация поверхности слоистых алюмосиликатов приводит

к образованию большого числа центров Льюиса, которые обладают наибольшей реакционной способностью.

В табл. 2 представлены результаты определения кислотно-основных характеристик глин Пензенского региона в зависимости от температуры обжига.

Таблица 2

Влияние температуры обжига на суммарное количество активных центров

Вид глины	Температура обжига, °С	Суммарное количество активных центров, ммоль/г
Камешкирская глина	без обжига	210,8
	400	413,65
	450	216,96
	600	278,17
Воробьевская глина	без обжига	65,55
	450	134,72
	500	95,7
	600	115,97
Белинская глина	без обжига	204,398
	450	229,09
	500	262,04
	600	218,89
Иссинская глина	без обжига	175,45
	400	239,13
	500	282,69
	600	223,67

Результаты исследований свидетельствуют о значительном различии активности поверхности обожженной и необожженной глины, причем отличается не только количество центров адсорбции различных типов, но и суммарное содержание центров адсорбции. Следуя экспериментальным данным (см. табл. 2), можно говорить о том, что наибольшим суммарным количеством активных центров характеризуются Камешкирская, Иссинская, Белинская и Воробьевская глины после обжига при температурах соответственно 400, 450, 500 и 600 °С. При этих же температурах наблюдается и увеличение прочности при сжатии известковых композитов.

Проведенные исследования доказали целесообразность применения глин Пензенского региона, обожженных при более низких температурах в интервале 400…500 °С, в ССС, что позволяет снизить их себестоимость и повысить эксплуатационные свойства покрытий на их основе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шангина Н. Н., Харитонов А. М.* Особенности производства и применения сухих строительных смесей для реставрации памятников архитектуры // Сухие строительные смеси. 2011. № 4. С. 16—19.

2. *Садыков Р. К., Сенаторов П. П., Рахимов Р. З.* Минерально-производственный комплекс Пензенской области. — Казань : Изд-во Казанск. ун-та, 2002. — 128 с.

3. *Шумков А. И.* Бесклинкерное известково-алюмосиликатное гидравлическое вяжущее естественного твердения // Сухие строительные смеси. 2011. № 3. С. 20—21.

4. *Логанина В. И., Петухова Н. А., Акжигитова Э. Р.* Разработка органоминеральной добавки для сухих строительных смесей // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2011. № 3. С. 8—12.

1. *Shangina N. N., Kharitonov A. M.* Osobennosti proizvodstva i primeneniya sukhikh stroitel'nykh smesey dlya restavratsii pamyatnikov arkhitektury // Sukhie stroitel'nye smesi. 2011. № 4. S. 16—19.

2. *Sadykov R. K., Senatorov P. P., Rakhimov R. Z.* Mineral'no-proizvodstvennyy kompleks Penzenskoy oblasti. — Kazan' : Izd-vo Kazansk. un-ta, 2002. —128 s.

3. *Shumkov A. I.* Besklinkernoe izvestkovo-alyumosilikatnoe gidravlicheskoe vyazhushchee estestvennogo tverdeniya // Sukhie stroitel'nye smesi. 2011. № 3. S. 20—21.

4. *Loganina V. I., Petukhova N. A., Akzhigitova E. R.* Razrabotka organomineral'noy dobavki dlya sukhikh stroitel'nykh smesey // Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova. 2011. № 3. S. 8—12.

© Логанина В. И., Акжигитова Э. Р., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Логанина В. И., Акжигитова Э. Р. Оценка эффективности применения смешанослойных глин в рецептуре известковых отделочных составов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 169—173.

УДК 666.974.2

Н. Н. Дергунов, А. Д. Корнеев

ЖАРОСТОЙКИЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТОНКОМОЛОТЫХ ДОБАВОК И УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Рассматривается вопрос использования тонкомолотой шамотной добавки в качестве наполнителя в жаростойком бетоне. Полученный жаростойкий композиционный материал обладает улучшенными физико-механическими свойствами по сравнению с известными составами жаростойких бетонов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: жаростойкий бетон, шамот, отходы металлургической промышленности, свойства бетонов.

The issue of use of floured fire clay additive in heat-resistant concrete as a filler is considered in the article. The received heat-resistant composite material possesses the improved physical and mechanical properties in comparison with known compositions of heat-resistant concrete.

K e y w o r d s: heat-resistant concrete, fire clay, wastes of metallurgical industry, properties of concrete.

Возведение доменной печи металлургического производства сопровождается строительством целого ряда объектов вспомогательного назначения, которые должны быть изготовлены из жаростойких бетонов. Отсюда возникает необходимость расширения сырьевой базы таких бетонов за счет использования отходов и вторичных продуктов металлургического производства. Получение на их основе изделий для промышленного строительства позволит значительно уменьшить стоимость строительства при сохранении технических свойств жаростойких бетонов. Кроме того, параллельно решается проблема утилизации отходов металлургического производства.

Одним из объектов применения жаростойких бетонов являются шлаковые траншеи. Шлаковые траншеи служат местом слива и последующего хранения шлакового расплава доменных печей предприятий металлургического производства. Условия работы жаростойких бетонов в конструкциях подпорных стен шлаковых траншей крайне неблагоприятны. Температура сливаемого шлака находится в пределах 1280…1300 ^{o}C. Известен состав жаростойких бетонов на шамотных заполнителях ОАО «ЦНИЛ», однако применение таких бетонов не решило проблему эксплуатации шлаковых траншей. При резких перепадах температур от 1300 до 100 ^{o}C и ниже, особенно если шлак для ускорения охлаждения поливают водой, которая быстро превращается в пар, возникают значительные термические напряжения в бетоне, способствующие растрескиванию и разрушению жаростойкого бетона [1].

Нами была предпринята попытка улучшить составы жаростойких бетонов на портландцементе и заполнителях из боя шамотных огнеупоров применением тонкомолотых наполнителей с наноразмерными частицами (50…200 нм). В качестве вяжущего применялся портландцемент. Его расход был фиксированным и составлял 12 % от массы бетона, а расход наноразмерного наполнителя варьировался 10…25 %. Его вводили за счет снижения расхода мелкого

и крупного заполнителя (боя шамотных огнеупоров). Химический состав боя шамотных огнеупоров представлен в табл. 1. Жидкое стекло вводилось в составе тонкомолотой добавки при ее мокром помоле для разжижения шликера (поддержания его текучести) в количестве 0,3 % от массы сухого вещества добавки. Таким образом, жидкое стекло входило в массу нанодобавки. Расход воды корректировался с учетом влажности нанодобавки [2].

Таблица 1

Химический состав боя шамотных огнеупоров

Компонент	Содержание, масс. %		
	Компонент	Компонент	Компонент
CaO	37,8	35,6	38,6
MgO	8,86	8,12	8,92
Al_2O_3	14,85	12,86	13,8
SiO_2	35,7	41,42	36,22
MnO	1,62	0,8	1,12
Fe_3O_4	0,38	0,4	0,5
S	0,79	0,8	0,84
R_2O	следы	следы	следы

Состав жаростойких бетонов представлен в табл. 2, при этом состав ЦНИЛ представлен как известный.

Таблица 2

Составы жаростойких бетонов на портландцементе

Наименование материалов	Расход материалов, % / кг в составах				
	1	2	3	4	Известный
Портландцемент	12/264	12/264	12,0/264	12/264	22,7/500
ТМД шамот 30…200 нм	10/220	15/330	20/440	25/550	—
В т. ч. жид. стекло	0,3/6,6	0,3/9,9	0,3/13,2	0,3/16,5	—
Песок шамотный	26/572	25,7/566	24/545	21,6/476	20,5/450
Щебень фр. 5…20 мм	41/902	35,9/790	31,4/691	29,1/640	31,8/700
ТМД шамот	—	—	—	—	11,4/250
Вода	11/242	11,4/250	11,8/260	12,3/270	13,6/300
Водовяж. отнош.	0,5	0,42	0,37	0,33	0,4
Средн. плотн., кг/м^3	2200	2200	2200	2200	2200

Наноразмеры наполнителя (30…200 нм) позволяют обеспечить закупорку поверхностных пор в крупном и мелком заполнителе, снизить расход цемента — наиболее дорогостоящего компонента в жаростойком бетоне и уменьшить его негативное влияние на огневые свойства жаростойкого бетона. Образцы высушивались до постоянной массы в сушильном шкафу и подвергались испытаниям в соответствии с ГОСТ 30910—90. Для образцов определяли среднюю плотность, прочность после обжига при 800 ^{o}C и при температуре службы, а также остаточную прочность и термостойкость. Результаты испытаний сведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что состав жаростойкого бетона на шамотных заполнителях обеспечивает значительно более низкую среднюю плотность и прочность после твердения и сушки. Это объясняется более высокой пористостью бетона вследствие неоптимальности состава и более высокой крупности зерен наполнителя. После обжига при температуре 800 °С такие бетоны имеют значительно более низкую прочность, чем бетоны с нанодобавками. Поэтому их остаточная прочность как после обжига при температуре 800 °С, так и при температуре 1300 °С в два и более раза ниже, по сравнению с составами жаростойких бетонов с нанонаполнителями.

Таблица 3

Свойства жаростойких бетонов на портландцементе и шамотных заполнителях

Наименование свойств и ед. изм.	Величины свойств в составах				
	1	2	3	4	Изв-й
Ср. плотн., кг/м^3, сух.	2085	2100	2120	2100	1930
То же обож. при 800 °С	2010	2033	2060	2040	1860
То же при 1300 °С	2000	1980	1950	1925	1820
Потери массы, %, обожженных при 800 °С	3,6	3,2	3,0	3,5	3,6
То же при 1300 °С	4,1	5,7	8,0	8,3	5,7
$R_{сж}$, МПа, после сушки	43,2	45,0	47,0	44,0	35,0
То же обож. при 800 °С	30,7	33,0	33,5	30,0	24,0
То же при 1300 °С	26,0	28,0	26,4	23,0	24,0
Остат. прочн., %, обожжженных при 800 °С	73,1	73,3	71,3	68,2	31,4
То же при 1300 °С	60,2	62,2	56,2	52,3	45,7
Термостойк. при 800 °С, число вод. т/см	25	27	30	27	10

Термостойкость после нагревания до температуры 800 °С с последующим резким охлаждением в воде с температурой 18 ± 2 °С также в 2…3 раза превышает у бетонов с нанодобавками по сравнению с обычными тонкомолотыми наполнителями, несмотря на почти одинаковое количественное их содержание. Для анализа полученных результатов по данным табл. 3 построены графики зависимости прочностных и огневых свойств бетонов от добавки нанонаполнителя (рис. 1—4).

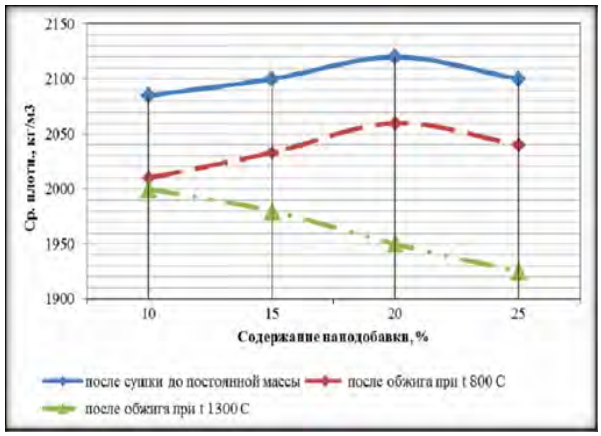


Рис. 1. Зависимость средней плотности бетона от расхода нанонаполнителя

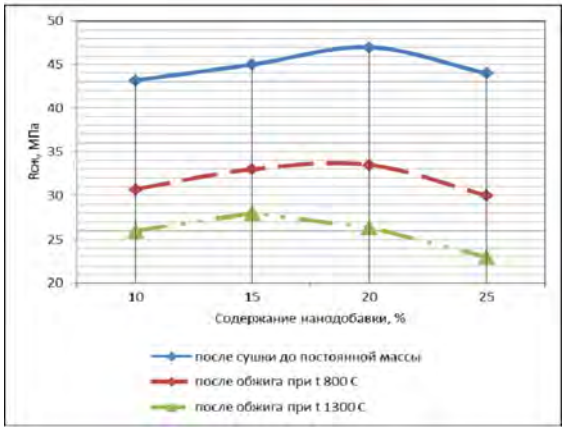


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии от содержания нанонаполнителя

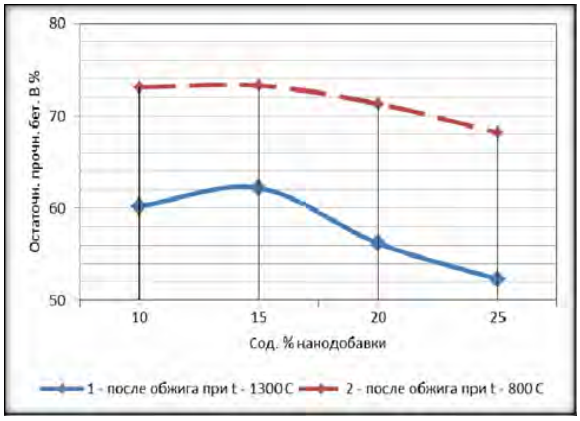


Рис. 3. Зависимость остаточной прочности от содержания нанонаполнителя

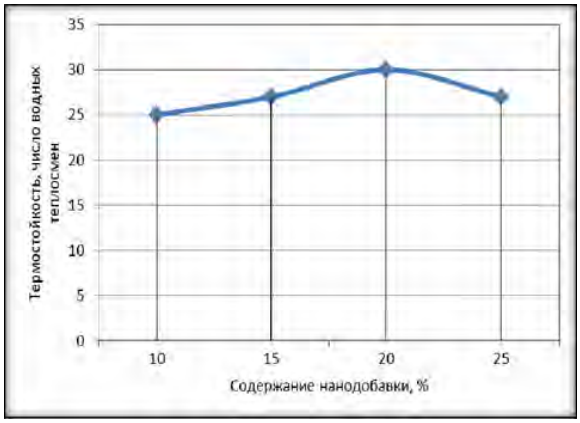


Рис. 4. Зависимость термостойкости бетонов от содержания нанонаполнителя

Анализ рис. 1—4 и данных табл. 3 позволяет сделать следующие выводы о влиянии расхода нанонаполнителя:

1. Средняя плотность жаростойких бетонов, как видно на рис. 1, с увеличением расхода нанодобавки 10…15 % возрастает незначительно, а при

увеличении ее расхода до 25 % начинает снижаться. Это объясняется раздвижкой зерен заполнителей при значительном увеличении ее расхода. Поэтому следует признать оптимальным расход нанодобавки не более 20 %.

2. Прочность бетонов, как видно на рис. 2, несколько возрастает с увеличением расхода нанодобавки 10…20 %, а затем начинает снижаться. Это объясняется вначале заполнением пустот в крупном и мелком заполнителях, а затем недостаточным количеством цементного теста для связывания всех зерен заполнителей, включая зерна нанодобавки. При расходе нанодобавки 15…20 % бетоны достигают марки 450, что по проектным данным для шлаковых траншей не требуется. Поэтому с учетом снижения энергозатрат на помол нанодобавки следует признать нецелесообразным увеличение содержания нанодобавки свыше 10…15 %.

3. Зависимость остаточной прочности бетонов с нанодобавками от ее расхода представлена на рис. 3. После обжига при температурах 800 и 1300 °С остаточная прочность также увеличивается только до 15-процентного содержания нанодобавки, а затем начинает снижаться, особенно после обжига при температуре 1300 °С. Это снижение остаточной прочности, как видно из табл. 3, значительно меньше, чем у аналогичного бетона с обычным наполнителем.

4. Зависимость термостойкости бетонов с нанодобавками от ее содержания представлена на рис. 4. С увеличением расхода нанодобавки термостойкость возрастает до 20%-го ее содержания, а при дальнейшем увеличении снижается. Это объясняется снижением плотности и прочности бетона по указанным выше причинам. Поэтому было принято решение считать оптимальным содержание в бетоне на портландцементе и заполнителях из боя шамотных огнеупоров 15 % нанонаполнителя.

Таким образом, выполненные испытания жаростойких бетонов позволили установить, что бетоны на шамотных заполнителях с применением нанонаполнителя удовлетворяют требованиям ГОСТ 20910—90, а также имеют повышенные физико-механические характеристики по сравнению с известными составами и могут быть использованы для бетонирования стен шлаковых траншей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 20910—90. Бетоны жаростойкие. Технические условия. — М. : Госстандарт, 1990.

2. Пат. № 2272013. Бетонная смесь / Г. Е. Штефан, О. В. Бобоколонова, А. Д. Корнеев. Приоритет 20.10.2004 г. Срок действия до 20.10.2024.

1. GOST 20910—90. Betony zharostoykie. Tekhnicheskie usloviya. — M. : Gosstandart, 1990.

2. Pat. № 2272013. Betonnaya smes' / G. E. Shtefan, O. V. Bobokolonova, A. D. Korneev. Prioritet 20.10.2004 g. Srok deystviya do 20.10.2024.

© Дергунов Н. Н., Корнеев А. Д., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Дергунов Н. Н., Корнеев А. Д. Жаростойкий композиционный материал с применением тонкомолотых добавок и ультрадисперсных наполнителей // Вестник волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 174—178.

УДК 502.51:537.8:666.9

В. Т. Ерофеев, В. Т. Фомичев, Д. В. Емельянов, А. И. Родин, А. В. Еремин

ВЛИЯНИЕ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ ПАСТ

Рассматривается влияние активированной воды затворения на структурообразование цементных паст. Представлены качественный и количественный рентгенофазовые анализы структурообразования цементного камня.

К л ю ч е в ы е с л о в а: активированная вода, электромагнитное поле, рентгеноструктурный анализ, цементный камень.

The influence of activated water mixing on structure formation of cement layers is considered. Qualitative and quantitative X-ray phase analyses of structure formation of cement layers are provided in the article.

K e y w o r d s: activated water, electromagnetic field, X-ray phase analysis, cement stone.

Структурообразование цементных композитов определяется взаимодействиями, происходящими в контакте жидкой и твердой фаз, что зависит от количественного соотношения цемента и воды, а также количественного содержания, дисперсности и физико-химической активности наполнителей.

Вода является обязательным компонентом цементных композитов и определяет их технологические свойства. В наших предыдущих работах было представлено влияние электрического тока и магнитного поля на изменение физико-химических свойств воды затворения, а также экспериментально доказано улучшение физико-механических свойств цементных композитов за счет применения активированной воды затворения [1, 2].

Данная работа посвящена изучению структурных изменений, происходящих в цементном камне на основе активированной воды затворения.

Активация питьевой водопроводной воды проводилась путем последовательной обработки электромагнитным полем и электрическим током с применением установки магнитной противонакипной обработки УПОВС2-5.0 «Максмир». Обработка проводилась по трем режимам, шифр которых составлен из буквенного и цифрового обозначения. Буквенное обозначение «Э + М» означает, что природная вода была подвержена совместной последовательной активации электрическим током (электрохимическая активация) и электромагнитным полем в рабочих зазорах аппарата. Цифровое обозначение соответствует выбранному режиму работы аппарата, которое характеризует силу тока (позицию переключателя) в цепи электролизера и обмотке намагничивающих катушек. Тогда Э + М (1-1) — активированная вода по режиму с плотностью тока j_{max} = 5,65 А/м^2 в камере электрохимической активации и напряженностью электромагнитного поля H_{max} = 24 кА/м в рабочем зазоре камеры электромагнитной активации, Э + М (3-3) — j_{max} = 22,58 А/м^2 и H_{max} = 75 кА/м, Э + М (6-6) — j_{max} = 43,55 А/м^2 и H_{max} = 135 кА/м соответственно. Электрический ток, подаваемый на электроды и катушки электромагнита, — импульсный.

В ходе выполнения эксперимента был использован портландцемент М500 CEM I-42.5 завода ОАО «Мордовцемент». Были изготовлены образцы-кубики цементного камня размером 2 × 2 × 2 см. Водоцементное отношение

для всех составов определялось исходя из нормальной густоты цементного теста. Образцы твердели в нормальных условиях в течение 56 суток. В качестве контрольного образца рассматривался цементный камень, изготовленный на необработанной воде. Полученные образцы мололись в агатовой ступке агатовым пестиком с ацетоном до тех пор, пока все пробы не проходили через сито с апертурой 90 мкм. Истертые пробы помещались в круглые держатели с верхней загрузкой внутренним диаметром 25,65 мм и глубиной 1,9 мм, изготовленные из спец. стали.

Регистрация дифрактограмм осуществлялась на дифрактометре ARL X'tra (Швейцария) через 3, 12, 28 и 56 суток твердения на $CuK\alpha_{1+2}$ излучении в интервале углов $2\Theta = 4…80°$ в пошаговом режиме и временем экспозиции 1 с в каждой точке. Во время съемки образец вращался со скоростью 60 оборотов/мин.

Качественный рентгенофазовый анализ проводился при помощи порошковой базы данных ICDD PDF-2 (2008).

Количественный рентгенофазовый анализ по методу Ритвельда [3] осуществлялся при помощи программного обеспечения Siroquant Sietronics Pty Ltd [4]. В ходе анализа были уточнены параметры решетки, профильные параметры, фон и общая тепловая поправка.

Для определения количества аморфной фазы (C-S-H геля) был использован метод внутреннего стандарта с использованием образца SRM 660b (LaB_6) [5]. Перенормировка осуществлялась по формуле [4]

$$W_{AMORPH} = 1 - y/x, \quad (1)$$

где W_{AMORPH} — массовая доля аморфной фазы в образце; y — вычисленное значение концентрации LaB_6 в ходе уточнения по методу Ритвельда; x — исходная концентрация LaB_6 (10 % масс.).

В ходе качественного анализа дифрактограмм, представленных на рис., было установлено, что в составе всех изученных образцов цементного камня присутствуют следующие минералы:

C_3S (Ca_3SiO_5) с d = [3,044;...; 2,784;…; 2,617; 2,191; …; …1,77; 1,629; …];

C_2S (Ca_2SiO_4) с d = […2,886; …2,784; 2,755;…; 2,617;…; 2,191...];

C_3A ($Ca_{2,96}Na_{0,08}Al_2O_6$) с d = [2,702; …; 2,206;…; 1,912;…1,3510…];

C_4AF ($Ca_2Fe_{0,28}Al_{1,72}O_5$) с d = [7,321;…; 2,65;…; 2,058;…; 1,923…];

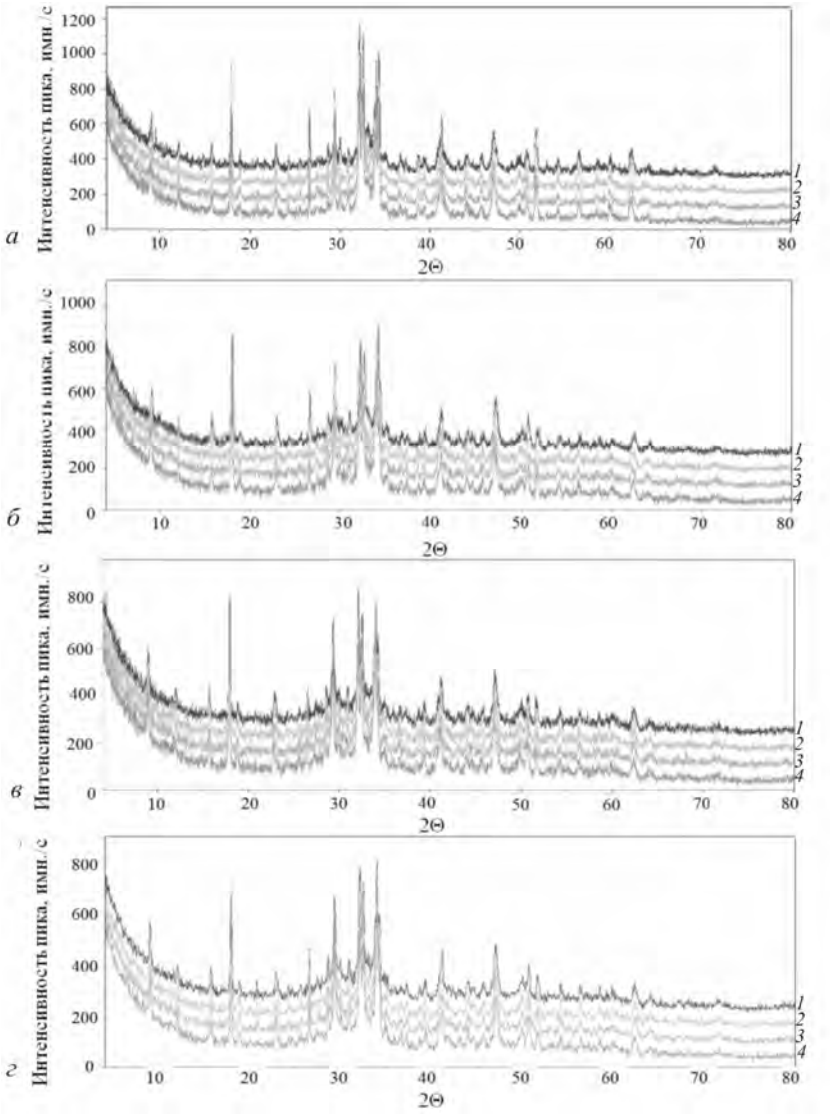
$3CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}3CaSO_4{\cdot}32H_2O$ (эттрингит) с d = [9,733;…; 5,619; 3,872;… 3,49;…];

$Ca(OH)_2$ (портландит) с d = [4,944; 3,04; 2,635; 1,927; 1,8; 1,69…].

Также во всех пробах присутствует SiO_2 (α-Кварц) с d = [4,261; 3,348; 2,459; 2,283;…; 2,13;…; 1,819; 1,543; …], концентрация которого находится в интервале 1…3 % масс. в зависимости от образца. Далее данная фаза не учитывалась в рамках количественного рентгенофазового анализа.

Результаты количественного рентгенофазового анализа цементного камня (табл.) показали, что для цементов, затворенных активированной водой, в первые сутки твердения происходит уменьшение количества фаз всех клинкерных минералов по сравнению с контрольным составом. Как следствие, количество портландита и гидросиликатов кальция увеличивается. Данный процесс можно объяснить действием электрического тока и магнитного поля на воду затворения. При активации воды растворенные в ней соли

жесткости переходят в иное физическое состояние — мелкодисперсный шлам, который образует дополнительные центры кристаллизации, интенсифицирующие процессы растворения и гидратации цемента [6, 7].



Дифрактограммы цементного камня в различные сроки твердения: *а* — 3 суток; *б* — 12 суток; *в* — 28 суток; *г* — 56 суток: *1* — обычная вода; *2* — вода, обработанная электрическим током и магнитным полем по режиму Э + М (1-1); *3* — вода, обработанная электрическим током и магнитным полем по режиму Э + М (3-3); *4* — вода, обработанная электрическим током и магнитным полем по режиму Э + М (6-6)

Количественный анализ дифрактограмм образцов цементного камня через 28 и 56 суток твердения, также свидетельствует об уменьшении количества C_3S в образцах на основе воды, обработанной магнитным полем и электрическим током, что свидетельствует о большей степени гидратации данных образцов.

Интенсивное увеличение гидроксида и гидросиликатов кальция в цементном камне на активированной воде затворения замедляется к 28-м суткам твердения, что еще раз подтверждает большее влияние внешних условий на структурообразование цементных материалов в более поздние сроки, по сравнению с водой затворения на начальных этапах твердения.

Результаты количественного рентгенофазового анализа

Режим активации	Концентрации фаз, % масс.						
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	Портландит	Эттрингит	Аморфная фаза (C-S-H)
3 суток твердения							
«0»	22,2	11,5	2,5	10,9	8	3,7	41,2
Э + М (1-1)	20,8	11,30	1,90	10,10	8,80	3,60	43,50
Э + М (3-3)	18,8	11,40	2,10	9,80	9,00	3,70	45,20
Э + М (6-6)	17,6	11,30	2,10	9,60	9,20	3,70	46,50
12 суток твердения							
«0»	10,5	9,4	0,6	8,9	15,3	3,2	52,1
Э + М (1-1)	9,5	9,10	0,50	8,50	16,10	3,10	53,20
Э + М (3-3)	8,8	9,20	0,50	8,30	16,50	3,20	53,50
Э + М (6-6)	8,2	9,20	0,60	8,30	16,50	3,20	54,00
28 суток твердения							
«0»	8,5	8,5	0	7,1	14,2	3,2	58,5
Э+М (1-1)	8,2	8,50	0	7,00	14,10	3,20	59,00
Э+М (3-3)	7,8	8,40	0	6,90	14,00	3,10	59,80
Э+М (6-6)	7,4	8,60	0	6,90	14,30	3,20	59,60
56 суток твердения							
«0»	7,8	7,1	0	6,2	13,5	3,1	62,3
Э + М (1-1)	7,2	7,30	0	6,10	13,50	3,20	62,70
Э + М (3-3)	6,6	7,20	0	6,00	13,60	3,10	63,50
Э + М (6-6)	6,5	7,30	0	6,10	13,40	3,20	63,50

В образцах, изготовленных на активированной воде затворения, наблюдается интенсификация перехода C_3A в раствор, что свидетельствует о снижении вероятности образования эттрингита на поздних этапах твердения.

Применение в цементных композитах воды затворения, обработанной электрическим током и магнитным полем, позволяет интенсифицировать процессы растворения и гидратации цемента, увеличить содержание гидросиликатов кальция и, как следствие, повысить прочность цементных композитов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цементные композиты на основе магнитно- и электрохимически активированной воды затворения : монография / Ю. М. Баженов, С. В. Федосов, В. Т. Ерофеев и др. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2011. — 128 с.

2. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения / В. Т. Ерофеев, Е. А. Митина, А. А. Матвиевский и др. // Строительные материалы. 2007. № 11. С. 56—57.

3. *Young R. A.* The Rietveld Method / Oxford University Press. New Yourк, 1993.

4. Siroquant Technical & Clay Manuals. Sietronics Pty Limited. First edition: December 2006.

5. National Institute of Standards & Technology Certificate Standard Reference Material® 660b.

6. Теоретическое обоснование получения бетонов на основе электрохимически- и электромагнитноактивированной воды затворения / Ю. М. Баженов, В. Т. Фомичев, В. Т. Ерофеев, С. В. Федосов, А. А. Матвиевский, А. К. Осипов, Д. В. Емельянов, Е. А. Митина, П. В. Юдин // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 2 (22).

7. Моделирование электрохимических процессов, протекающих на электродах в природной воде при ее активации / Ю. М. Баженов, В. Т. Фомичев, В. Т. Ерофеев, С. В. Федосов, А. А. Матвиевский, А. К. Осипов, Д. В. Емельянов, Е. А. Митина, П. В. Юдин // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 2 (22).

1. Tsementnye kompozity na osnove magnitno- i elektrokhimicheski aktivirovannoy vody zatvoreniya : monografiya / Yu. M. Bazhenov, S. V. Fedosov, V. T. Erofeev i dr. — Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 2011. — 128 s.

2. Kompozitsionnye stroitel'nye materialy na aktivirovannoy vode zatvoreniya / V. T. Erofeev, E. A. Mitina, A. A. Matvievskiy i dr. // Stroitel'nye materialy. 2007. № 11. S. 56—57.

3. *Young R. A.* The Rietveld Method / Oxford University Press. New Yourk, 1993.

4. Siroquant Technical & Clay Manuals. Sietronics Pty Limited. First edition: December 2006.

5. National Institute of Standards & Technology Certificate Standard Reference Material® 660b.

6. Teoreticheskoe obosnovanie polucheniya betonov na osnove elektrokhimicheski- i elektromagnitnoaktivirovannoy vody zatvoreniya / Yu. M. Bazhenov, V. T. Fomichev, V. T. Erofeev, S. V. Fedosov, A. A. Matvievskiy, A. K. Osipov, D. V. Emel'yanov, E. A. Mitina, P. V. Yudin // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2012. Vyp. 2 (22).

7. Modelirovanie elektrokhimicheskikh protsessov, protekayushchikh na elektrodakh v prirodnoy vode pri ee aktivatsii / Yu. M. Bazhenov, V. T. Fomichev, V. T. Erofeev, S. V. Fedosov, A. A. Matvievskiy, A. K. Osipov, D. V. Emel'yanov, E. A. Mitina, P. V. Yudin // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2012. Vyp. 2 (22).

© Ерофеев В. Т., Фомичев В. Т., Емельянов Д. В., Родин А. И., Еремин А. В., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013г.

Ссылка для цитирования:

Влияние активированной воды затворения на структурообразование цементных паст / В. Т. Ерофеев, В. Т. Фомичев, Д. В. Емельянов, А. И. Родин, А. В. Еремин // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 179—183.

УДК 620.193:621.644.073

А. М. Ахмедов

АНАЛИЗ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Коррозия — постепенное разрушение металла в результате его химической реакции с окружающей средой. Поэтому анализ антикоррозионной защиты при строительстве и капитальном ремонте играет очень большую роль, так как благодаря этому можно улучшить качества изоляционных материалов, а также технологию их нанесения, что положительно скажется на долговечности изоляции.

К л ю ч е в ы е с л о в а: магистральные трубопроводы, нефть, газ, газопровод, противокоррозионное изоляционное покрытие.

Corrosion is a gradual failure of metal as a result of its chemical reaction with the environment. Therefore the analysis of anticorrosive protection at construction and overhaul repair plays a very important role because thanks to it it is possible to improve the quality of insulating materials, as well as the technology of their application that will affect positively the durability of isolation.

K e y w o r d s: main pipelines, oil, gas, gas pipeline, anticorrosive insulating cover.

Аварийность магистральных трубопроводов (МТ) часто связывают с механическими повреждениями труб, строительным браком, внешней и внутренней коррозией металла. Коррозия — это процесс физико-химического взаимодействия между металлом и средой. Общая протяженность находящихся в эксплуатации стальных нефтегазопродуктопроводов, включая промысловые, магистральные приближаются к одному миллиону километров. В последние годы повышается доля добычи как нефти, так и газа, строятся новые газопроводные магистрали. Поэтому поддержание в работоспособном состоянии магистральных трубопроводов является на сегодняшний день важной задачей. Трубопроводы являются сооружениями, которые почти не подвергаются моральному износу, срок их эксплуатации при хорошей антикоррозионной защите может достигать многих десятков лет. Долговечность и надежность подобных сооружений зависит от уровня развития средств противокоррозионной защиты.

Применение изоляционных покрытий — это один из способов пассивной защиты трубопроводов от коррозии.

Эффективная защита трубопроводных магистралей представляет собой важнейшую научно-техническую проблему и требует особого внимания, ведь именно коррозия в большинстве случаев становится причиной выхода из эксплуатации МТ или его участков, и тем самым приводит к существенным экономическим издержкам.

Все подземные трубопроводы должны быть защищены от почвенной коррозии противокоррозионными изоляционными покрытиями. Выбор изоляционных покрытий должен производиться по результатам технико-экономических расчетов, учитывающих условия прокладки сооружения и данные о коррозионной активности среды по отношению к металлу защищаемого сооружения. Условия эксплуатации МТ различны и поэтому огромнейший выбор имеющихся в настоящее время защитных покрытий, отли-

чающихся друг от друга не только технологией нанесения, но и другими характеристиками, вполне дают возможность с успехом решать проблему коррозии трубопроводов.

В соответствии с [1] экспертами ЗАО «Протекор» было установлено, что в результате обследования состояния трубных образцов газопровода, построенного в 1982—1983 гг., показывали среднюю скорость коррозии с существующими системами антикоррозионной защиты 0,2 мм/год, т. е. за 30 лет эксплуатации — 6 мм. При отсутствии наружной изоляции фиксировалась внешняя коррозия в среднем более 1 мм/год. Отсюда можно сделать вывод, что применение труб с толщиной стенки 10 мм и с существующей на тот момент изоляцией не дает гарантий, что этот газопровод простоит еще хоть какое-то время. Его ремонт или полная замена просто необходима на сегодняшний день, а ведь таких сооружений в России много. В целях предотвращения аварий и выхода из строя магистральных трубороводов необходимо проводить мониторинг, отслеживание их участков.

Характерным примером служит состояние магистрального трубопровода Уренгой — Новопсков, который находится в эксплуатации уже 40 лет. Состояние магистрального газопровода на отдельных участках газопровода оставляет желать лучшего. В ходе проведенной диагностики на поверхности трубопровода были зафиксированы: коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) на 3 и 9 часов (рис. 1), язвенная коррозия глубиной до 9,5 мм при толщине стенки трубы 14 мм (рис. 2), дефекты сварного шва (рис. 3), сквозное повреждение изоляции (рис. 4), а также сквозное повреждение самой трубы (рис. 5).

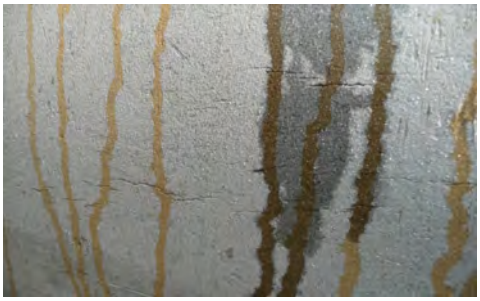


Рис. 1. Коррозионное растрескивание под напряжением

Рис. 2. Язвенная коррозия глубиной до 9,5 м

Рис. 3. Дефект сварного шва

Рис. 4. Сквозное повреждение изоляции

Рис. 5. Сквозной коррозионный дефект трубы

Качество изоляционного покрытия является одним из основных критериев, определяющих срок службы магистрального нефтегазопровода.

На сегодняшний день на рынке существует огромное количество изоляционных материалов как отечественного, так и зарубежного производства. Среди них изоляционные материалы производства США («Поликен 980-20», «Поликен 980-25», «Тек-Рап 240-25», «Плайкофлекс 450-25»), Италии («Альтене 100-25»), Югославии («Пластоизол»), Болгарии («Кил»), России («Биурс», «Карбофлекс», «Галоплен», «Изокор 140», «Полилен»), Японии («Нитто 53-635», «Фурукава Рапко НМ-2»).

Несмотря на все разнообразие представленных на рынке изоляционных материалов, для защиты магистральных нефтегазопроводов от коррозии мастичные покрытия остаются наиболее конкурентноспособными по стоимости и технологии нанесения.

Переход на заводскую изоляцию труб и элементов трубопроводов высокоэффективными полиэтиленовыми и полиуретановыми покрытиями в значительной степени повысил качество противокоррозионной защиты трубопроводов. После того как трубы с заводской изоляцией привезены на место строительства, сварены, проверены сварные стыки труб появляется вопрос о нанесении хорошей и надежной защитной изоляции, близкой по свойствам к заводскому покрытию труб. В трассовых условиях трудно обеспечить хорошее качество очистки зоны сварных стыков.

Для изоляции сварных стыков на отечественном рынке предлагается целая серия отечественных термоусаживающихся манжетов «ТЕРМОРАДМСТ» и «ТЕРМА-СТМП» производства России, манжета термоусаживающая Raychem HTLP-60 производства Бельгии, Canusa GTS производства Канады. На сегодняшний день можно сказать о достаточно высоком уровне противокоррозионной защиты стыков труб, но по некоторым свойствам таким как адгезия к стали и к заводскому покрытию, стойкость к отслаиванию, прочность при ударе, сдвигу, стойкость к продавливанию, изоляция на стыках труб существенно отличается от изоляции, изготовленной в заводских условиях.

Установлено, что 50…70 % аварий происходит под действием внутренней и наружной коррозии. По данным экологов [1], от скважины до конечного потребителя ежегодно теряется 8…10 % добываемой нефти. Аварии на нефтегазопроводах влекут за собой финансовые и экологические проблемы. Для локализации пожара или разлива нефти уходят большие средства, останавливается поставка, страдает окружающая среда и это далеко не предел.

Такие крупнейшие компании, как ОАО «ГАЗПРОМ», ОАО «РОСНЕФТЬ», а также зарубежные компании в нынешнее время категорически запрещают строительство магистральных трубопроводов в битумной или пленочной изоляции трассового назначения из-за низкого качества устройства изоляции по сравнению с заводским.

На сегодняшний день используются в строительстве магистральных трубопроводов трубы с заводской изоляцией из пенополиуретана (ППУ) (рис. 6). Согласно исследованиям использование труб с ППУ изоляцией позволяют увеличить срок службы трубопроводов до 30 лет, в то время как срок службы материалов «Поликен 980-20», «Нитто 53-635», «Плайкофлесс 450-25» не превышает 20 лет. Благодаря своим характеристикам, предизолированные трубы в ППУ изоляции имеют очень широкое применение как у нас в России, так и по всему миру.

Рис. 6. Секции труб с заводской изоляцией из пенополиуретана

Наружные полиуретановые покрытия на основе термореактивных материалов, которые применяются в настоящее время в строительстве, приведены в табл.

Наружные полиуретановые покрытия, применяемые в строительстве, на основе термореактивных материалов

Наименование материала	Производитель, город, страна	Условия нанесения
«БИУРС» (двухкомпонентная битумно-уретановая мастика «БИУР», грунтовка «Праймер-МБ»)	ООО «БИУРС», Санкт-Петербург, Россия	Заводское и трассовое нанесение
PROTEGOL EP-Coating 130HT (двухкомпонентная эпоксидная мастика)	Goldschmidt TIB GMBH, Германия	Заводское и трассовое нанесение
FRUCS-1000A/UP 1000 (двухкомпонентная полиуретановая мастика Frucs-1000A, грунтовка UP-1000)	Kawakami paint, Япония	Заводское и трассовое нанесение

Окончание табл.

Наименование материала	Производитель, город, страна	Условия нанесения
Scotchkote 352 ht (двухкомпонентная полиуретановая мастика)	«3М», США	Трассовое нанесение
Acothane TU (двухкомпонентная полиуретановая мастика)	Metrotest Ltd, Англия	Трассовое нанесение
PROTEGOL UR-Coating 32-55 H (двухкомпонентная полиуретановая мастика)	Goldschmidt TIB GMBH, Германия	Заводское и трассовое нанесение
Pur Stop 2000 (двухкомпонентная полиуретановая мастика)	Stoppani S.p.A., Италия	Заводское нанесение
«Карбофлекс» (двухкомпонентная полиуретановая мастика)	ООО «НПК Спецполимер», Россия	Заводское нанесение
PROTEGOL UR-Coating 32-55 R(RR) (двухкомпонентная полиуретановая мастика)	Goldschmidt TIB GMBH, Германия	Заводское и трассовое нанесение
COPON HYCOTE 165 (двухкомпонентная полиуретановая мастика)	E.WOOD, Англия	Заводское нанесение

Японский полиуретановый материал «Фрусис-1000А» (FRUCS-1000A). Покрытие «Фрусис-1000А» с праймером ЮП 1000 (UP 1000) обеспечивает надежную, более чем 30-летнюю защиту от коррозии трубопроводов, фасонных соединительных деталей, фитингов, запорной арматуры и т. п. Эта изоляция начиная с 2000 г. по настоящее время успешно применяется субподрядными организациями на стройках и ремонтах важнейших газопроводов в том числе «Ямал-Европа» и «Голубой поток» [2].

Было установлено, что качество изготавливаемых стальных труб в СССР не соответствовала требованиям, которые должны были к ним предъявляться. Большая часть трубопроводов выпускалась при использовании низкосортных сталей. И это послужило одной из причин их эксплуатационной непригодности — отсутствия сопротивляемости самого материала к коррозии [3].

На сегодняшний день заводами уделяется особое внимание к качеству выпускаемой продукции. Прежде чем поступить на заводской склад, они проходят контроль качества и испытания на заводе.

Поставку труб для строительства и капитального ремонта магистральных трубопроводов осуществляют как отечественные заводы, так и зарубежные. К числу отечественных заводов относится Волжский трубный завод, Синарский трубный завод, Северский трубный завод, Выксунский металлургический завод, а также зарубежные заводы, такие как Евротайп (Германия), завод Ниппон Стил и Сумитомо Корп (Япония) и т. п. Благодаря тому, что продукция этих заводов успешно применяется при строительстве и капитальном ремонте магистральных трубопроводов в таких компаниях, как

ОАО «ГАЗПРОМ» и ОАО «РОСНЕФТЬ», то можно сказать, что качество производимой продукции находится на высоком уровне.

В настоящее время вопрос ремонта нефтегазопроводов с заменой изоляции остается и будет оставаться актуальным, так как «львиная доля» трубопроводов заизолирована пленочными и битумными покрытиями, срок службы которых колеблется от 15 до 20 лет. С каждым годом технология защиты трубопровода от коррозии совершенствуется, появляются новые материалы, корректируются способы их нанесения. Только с применением новых методик и технологий представляется возможность еще большего увеличения срока службы линейно-протяженных сооружений — более 35 лет, что непременно скажется на стоимости капитального ремонта, восстановления и поддержания предусмотренной проектом надежности конструкций и сооружений в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Винтайкин В. В.* Характеристика эксплуатации условий трубопроводов // Территории Нефтегаз. 2007. Вып. 3(8) С. 30—31.

2. *Юрьев В. А.* Работа с двухслойным антикоррозионным покрытием «FRUCS-1000A с праймером UP 1000» // Территории Нефтегаз. Март 2008. Вып. 1(9). С.35—36.

3. *Крамаренко И. А., Ткачев А. Н.* Технико-экономическое обоснование строительства трубопроводов с учетом экологической безопасности // Территории Нефтегаз. Март 2008. Вып. 1(9). С. 21—22.

1. *Vintaykin V. V.* Kharakteristika ekspluatatsii usloviy truboprovodov // Territorii Neftegaz. 2007. Vyp. 3(8) S. 30—31.

2. *Yur'ev V. A.* Rabota s dvukhsloynym antikorrozionnym pokrytiem «FRUCS-1000A s praymerom UP 1000» // Territorii Neftegaz. Mart 2008. Vyp. 1(9). S.35—36.

3. *Kramarenko I. A., Tkachev A. N.* Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie stroitel'stva truboprovodov s uchetom ekologicheskoy bezopasnosti // Territorii Neftegaz. Mart 2008. Vyp. 1(9). S. 21—22.

© Ахмедов А. М., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Ахмедов А. М. Анализ антикоррозионной защиты при строительстве и капитальном ремонте линейно-протяженных сооружений // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30 (49). С. 184—189.

УДК 624.131

В. А. Перфилов, С. В. Кузнецова, В. Н. Синяков

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Волгоградский мегаполис расположен на правобережной части широкой аллювиальной долины Волги. Она сложена мощной (более 30 м) толщей песчаных отложений. Выявлены пространственные закономерности грунтов и их геотехнических характеристик.

К л ю ч е в ы е с л о в а: намывные грунты, песчаные отложения, техногенные породы, пространственные закономерности, физико-механические свойства.

Volgograd megalopolis is situated on right-bank part of a wide alluvial valley of the Volga. It is made up by powerful (more than 30 m) depths of sand deposits. Spatial regularities of soil and their geotechnical characteristics are revealed.

K e y w o r d s: alluvial soils, sand deposits, technogenic breeds, spatial regularities, physical and mechanical properties.

По данным энциклопедии Волгоградской области, среди месторождений основных строительных материалов Волгоградской области выявлены в Городищенском районе 4 месторождения песка, Даниловском районе — 2 месторождения песка и 2 месторождения строительного камня (песчаники), Дубовском районе — 13 месторождений песка и 1 месторождение песчаников, Еланском районе — 2 месторождения песка и песчаника, Жирновском районе — 1 месторождение песка, Калачевском районе — 1 месторождение песка, Камышинском районе — 3 месторождения песков и песчаников, Киквидзенском, Клетском, Котовском и Кумылженском — 1 месторождению песка, а также 7 месторождений песчаников; Михайловском, Нехаевском, Новоаннинском, Октябрьском и Ольховском — 7 месторождений песка и 5 месторождений песчаника. В Руднянском, Светлоярском, Серафимовичском, Среднеахтубинском, Суровикинском, Урюпинском, Фроловском районах выявлено 14 месторождений песка и 17 месторождений песчаника.

Характеристика изученных инженерно-геологических участков территории Волгоградской области

Участок 1 расположен западнее г. Урюпинска у южной окраины х. Сычевский. В верховье балки непосредственно под почвой вскрывается песчаник серый, кварцево-глауконитовый, мелкозернистый, плотный, крепкий, пятнами ожелезненный. Видимая мощность 2,0 м.

Участок 2 расположен северо-западнее г. Новониколаевского, у юго-западной окраины х. Большинского (Урюпинского района). На правом борту долины р. Касарки под толщей в 1,5 м эоловых песков и покровных суглинков обнажается супесь коричневато-желтая, разнозернистая, кварцевая с дутиками и желваками извести. Мощность ее 1,2 м. Подстилается она песком серовато-желтым, кварцевым, мелкозернистым с прослоями бурого глинистого песка. Видимая мощность песка 4,5 м. Гранулометрический состав супеси следующий: частиц размером 1...2 мм — 2,59; 1...0,5 мм — 16,47; 0,5...0,25 мм — 8,51; 0,25...0,1 мм —33,0; 0,1...0,01 мм — 12,57 и менее 0,01 мм — 26,78 %.

Гранулометрический состав песка мелкого характеризуется содержанием частиц 1...2 мм — 4,55 %; 1...0,5 мм — 24,92 %; 0,5...0,25 мм — 14,19 %; 0,25...0,1 мм — 45,53 %; 0,1...0,01 — 5,4 %; меньше 0,01 мм — 5,4 %. Супесь и песок пригодны для кирпичного производства.

Участок 3 расположен северо-восточнее г. Урюпинска у северо-восточной окраины х. Ольшанка на правом борту долины р. Ольшанки.

Непосредственно под почвой вскрывается толща песков желтовато-серых, прослоями охристых, кварцевых мелко- и тонкозернистых с прослоями суглинков и глин 0,6…3 мм. Мощность всей толщи песков 10,3 м. Гранулометрический состав песков мелких характеризуется содержанием частиц размером 1...2 мм — 0,62…4,74 %; 1...0,5 мм — 8,21...15,6 %; 0,05...0,25 мм — 7,77...12,94 %; 0,25...0,1 мм — 46,47...52,81 %; 0,1...0,01 мм —13,00…25,56 % и менее 0,01 мм — 3,03…9,25 %. Эти пески содержат 94…97,6 % кварца, 2,4…4,4 % полевых шпатов, 0,3…1 % остальных минералов. Зерна угловатые, окатанные и полуокатанные, иногда таблитчатые и неправильной формы. Песок пригоден для балласта и строительных работ.

Участок 4 расположен северо-восточнее р. Елань, в 2 км от устья левостороннего притока р. Елань, на правом склоне долины р. Березовой. Непосредственно под почвой вскрывается суглинок желтовато-коричневый, плотный, пятнами обизвесткованный. Мощность слоя 2,4 м. Гранулометрический состав суглинка следующий: частиц размером 1...2 мм — 0,49 %; 1...0,5 мм — 0,42 %; 0,5...0,25 мм — 3,08 %; 0,25...0,1 мм — 9,97 %; 0,1...0,01 мм — 6,75 %; менее 0,01 мм — 79,29 %. Суглинок на 75 % состоит из кварца, на 15,1 % из полевых шпатов, 2,5 % содержит кальцита, 1 % — глауконита, 1 % — слюды; сульфитов и сульфатов нет. Остальные минералы составляют 5,4 %. Глинистые минералы по данным термического анализа относятся к монтмориллонитовой и гидрослюдистой группам. Пригоден как сырье для производства керамики.

Участок 5 расположен на северной окраине с. Булгурино Ельшанского района на правом берегу долины р. Бузулук. Под толщей суглинков и глин мощностью 2,8 м вскрывается песок желтый, кварцевый, разнозернистый с прослоями глины (1 см), светло-серый, плотный, оскольчатый и с прослоями гравия (5 см) различного состава. Видимая мощность 3,2 м. Гранулометрический состав песков крупных содержит частиц более 2 мм — 0,36 %; 1...2 мм — 11,77 %; 1...0,5 мм — 53,06 %; 0,5...0,25 мм — 17,31 %; 0,25...0,1 мм — 15,91 %; 0,1...0,01 мм — 0,43 % и менее 0,01 мм — 1,16 %. На 77 % этот песок состоит из кварца, 4,2 % содержится полевых шпатов и 15 % кальцита. Остальные минералы в сумме составляют 4 %.

Участок 6 находится в Даниловском районе, на правом борту р. Медведицы, южнее р/п Рудня, в 15 км от восточной окраины деревни Прыдки. Здесь в устье I надпойменной террасы, под 305-метровой толщей суглинков, глин и песков аллювиальных вскрывается песок зеленовато-серый, кварцевый, мелкозернистый, глинистый, с пятнами ожелезнения, мощностью 2,0 м. Гранулометрический состав песков пылеватых состоит из частиц размером 1...0,5 мм — 0,25 %; 0,5...0,25 мм — 0,49 %; 0,25...0,1 мм — 60,37 %; 0,1...0,01 мм — 31,6 %; меньше 0,01 — 7,2 %. В песке 86,5 % кварца, 8,0 % полевых шпатов, 1,5 % глауконита, 3 % составляют все остальные минералы. Зерна полуокатанные и окатанные.

Участок 7 находится в 4,2 км северо-западнее с. Семеновки Камышинского района. В овраге обнажаются под маломощным почвенным слоем суглинки светло-желтые, плотные, пористые. Мощность их достигает 5,0 м. Сложены они 4,17…5,56 % гравелистыми, 2,13…2,2 % крупнозернистыми, 17,93…21,93 % среднезернистыми и 18,48…23,33 % мелкозернистыми разностями. В них же 8,57…12,51 % и 36,45…47,03 % присутствуют соответственно алевритовые и глинистые частицы. Пригодны для кирпичного производства.

Участок 8 приурочен также к левому склону р. Семеновки и находится в 4,3 км северо-западнее с. Семеновки. На данном участке под почвенным слоем залегают суглинки желтовато-коричневые, пористые. Видимая мощность 3,5 м. Суглинки состоят из частиц следующих размерностей: гравелистых до 4,31 %, крупнозернистых до 1,78 %, среднезернистых до 16,12 %, мелкозернистых до 22,68 %, алевритистых до 9,19 % и глинистых до 45,92 %. Может использоваться как сырье для кирпичного производства.

Участок 9 расположен в 800 м от х. Авраамовского Нехаевского района на север, на правом борту долины р. Тишанки. Здесь непосредственно под почвой вскрывается песчаник серый, кварцевый, сливной, очень плотный, разбит трещинами на глыбы 1,0 × 2,5 × 0,5 м, по трещинам ожелезненный, с гнездами песка желтого, кварцевого, среднезернистого. Мощность пачки 20 м.

Участок 10 расположен северо-восточнее г. Михайловки в 2000 м от юго-западной окраины х. Ежеревский на правом берегу р. Медведицы. Здесь на II надпойменной террасе реки развиты эоловые пески серовато-желтые, кварцевые, преимущественно средней крупности, разнозернистые. Мощность их 1,6…5,5 м. Они создают развеваемые бугры высотой 2…6 м. Гранулометрический состав их следующий: частиц размером 1…2 мм — 16,26 %; 1…0,5 мм — 43,11 %; 0,5…0,25 мм — 12,08 %; 0,25…0,1 мм — 24,88 %; 0,1…0,01 мм — 2,81 % и менее 0,01 мм — 0,86 %. Пески на 95,5 % состоят из кварца с полуокатанными и окатанными неправильных очертаний зернами и на 3,8 % из полевых шпатов, остальные минералы составляют 0,7 %. Пески широко распространены. Они тянутся от г. Михайловки до х. Сенного и занимают площадь в 125 км^2.

Участок 11 расположен юго-восточнее г. Михайловки в 2400 м от южной окраины совхоза Отрадный, на правом берегу р. Медведицы, где непосредственно под почвой вскрываются пески средней крупности кварцевые, светло-серые, с линзами глины темно-серой, комковатой. Размеры линз 10 × 15 см. Мощность слоя 2,4 м. Песок слагает поверхность поймы. Гранулометрический состав его следующий: частиц размером 1...2 мм — 11,12 %; 1...0,5 мм — 46,71 %; 0,5...0,25 мм — 9,85 %; 0,25...0,1 мм — 22,34 %; 0,1...0,01 мм — 6,58 % и менее 0,01 мм — 2,41 %. Пески состоят из кварца 95 %, полевых шпатов 4 % и темноцветных минералов 1 %. Зерна таблитчатые и неправильные, полуокатанные и окатанные. Площадь этих песков 62 км^2.

Участок 12 находится в 10 км севернее ж.д. ст. Раковки (х. Сухов 2-й), в 0,6 км восточнее ПТФ х. Глинище Михайловского района, на правом склоне б. Песковатки. Здесь обнажаются под эоловыми песками буровато-желтого цвета супеси того же цвета плотные, с редкими валунами местных

и изверженных пород. Суммарная их мощность равна 6,6 м. Супеси по результатам механического анализа сложены следующими фракциями: частиц размером менее 2 мм — до 22,29 %; 20...0,5 мм — до 11,22 %; 0,5...0,25 мм — до 31,65 %; 0,25...0,1 мм — до 22,82 %; 0,1...0,05 мм — до 4,9 % и менее 0,0005 мм — до 7,1 %. Мелко-песчано-алевритистая фракция включает 98,92 % минералов легкой фракции, среди которых описаны: кварц — 88,3 %, полевые шпаты — 8,4 % и глауконит — 1,8 %. В тяжелой фракции присутствуют черные рудные (26,8 %), циркон (19,9 %), лимонит (12,8 %), в меньшем количестве ставролит (5,7 %), кианит (6,6 %), лейкоксен (12,8 %) и другие минералы.

Залегающие ниже их флювиогляциальные пески светло-серого до белого цвета, кварцевые, имеют мощность 6,0...8,0 м. Для них характерно следующее наличие фракций: более 20 мм — до 5,12 %, 2...0,5 мм — 1,47 %; 0,5...0,25 мм — до 31,6 %, 0,25...0,1 мм — до 58,72 %; 0,1...0,05 мм — до 2,5 % и менее 0,005 мм — до 0,59 %. Тяжелая фракция (2,24 %) сложена черными рудными — 42,6 %, цирконом — 15,6 %, рутилом — 12,8 % и другими минералами. Незначительное содержание пылеватых частиц позволяет использовать пески при различных строительных работах.

Участок 13 находится в 4,0 км юго-восточнее р/п Михайловки, в 2,0 км северо-восточнее ст. Староселье, на правом склоне б. Мал. Песковатка. Здесь обнажается аллювиальная толща песков, которая в верхней части толщи сложена (до 2,2 м) супесями светло-коричневыми слоистыми, а в нижней песками светло-серыми, кварцевыми, слоистыми, видимая мощность 6,0 м. Для данных супесей и песков характерно соответственно следующее присутствие фракций в процентах: 2...0,5 мм — 4,6 и 4,0 %; 0,5...0,25 мм — 44,02 и 46,9 %; 0,25...0,1 мм — 39,4 и 42,1 %; 0,01...0,005 мм — 5,45 и 5,37 % и менее 0,005 мм — 6,40 и 1,51%. В легкой фракции (99,47—99,58 %) в значительном количестве присутствуют кварц (89,5...92,6 %) и полевые шпаты (6,3...9,2 %), а в тяжелой — черные рудные (29,4...36,0 %), циркон (6,8...8,0 %), турмалин (6,4...7,9 %), рутил (8,9...9,2 %) и другие минералы.

Участок 14 расположен в 16 км юго-западнее ж.д. ст. Раковки, у с. Безымянки Михайловского района. Здесь на поверхности террасы р. Безымянки выделяются в рельефе бугры эолового происхождения. Они сложены песками мелкими светло-коричневато-желтыми, кварцевыми, сыпучими. Видимая мощность 4,5...5,0 м. Сложены частицами размером 0,5...0,25 мм — 0,64 %; 0,25...0,1 мм — 25,63 %; 0,25...0,1 мм — 66,68 %; 0,1...0,005 мм — 5,32 %; и менее 0,005 мм — 1,73 %. В легкой фракции (99,21 %) присутствует кварц — 95,2 % и полевые шпаты — 4,1 %, а в тяжелой — черные рудные — 39,1 %, циркон — 20,6 % и другие минералы в долях и единицах процента. Описываемые пески могут быть использованы как строительный материал.

Участок 15 расположен в Ольховском районе у х. Гурова на левобережной пойменной террасе р. Ольшанка, где под 2,8 м песков вскрывается песок мелкий желтовато-серый, прослоями желтый, кварцевый, аллювиальный, современного возраста. Мощность слоя песков 2,0 м. Эти пески содержат частицы размером 1...2 мм — 0,93 %; 1...0,5 мм — 9,37 %; 0,5...0,25 мм — 10,15 %; 0,25...0,1 мм — 68,46 %; 0,1...0,01 мм — 8,68 % и менее 0,01 мм — 2,41 %. В них 93,5 % кварца, 4,5 % полевых шпатов, остальные минералы составляют 2 %. Зерна неправильные окатанные и полуокатанные. Пески пригодны для кирпичного производства.

Участок 16 расположен в Дубовском районе на правом склоне безымянного оврага. На данном участке ниже почвенного слоя выходят суглинки бурые, которые на 37,82 % сложены мелкозернистыми частицами, 10,57 % — алевритистыми и на 49,1% — глинистыми. Мощность 8,0 м. Пригодны для кирпичного производства.

Участок 17 находится в 1,8 км севернее с. Семеновки Дубовского района, в устьевой части б. Усть-Погожей. Здесь обнажаются суглинки буровато-коричневые, грубые, плотные, которые перекрыты почвенным слоем и имеют мощность 3,3 м. В результате их гранулометрического анализа установлено, что они сложены частицами размером более 2 мм до 6,71 %; 2...0,5 мм — 18,94 %; 0,5...0,25 мм — 6,32 %; 0,25...0,1 мм — 21,4 %; 0,1...0,005 мм — 7,08 % и менее 0,005 мм — 39,41 %. Пригодны для изготовления кирпича.

Участок 18 расположен в 1,0 км юго-восточнее х. Садки Дубовского района, в левом склоне р. Тешанки. Участок сложен делювиальными суглинками коричневого и светло-коричневого цвета, с гнездами мела. Суглинки перекрыты почвенным слоем и имеют видимую мощность 6,0 м. Для них характерен следующий состав: более 0,5 мм — 7,24 %; 0,5...0,25 мм — до 3,43 %; 0,25...0,1 мм — до 25,97 %; 0,1...0,005 мм — до 21,95 % и менее 0,005 мм — до 41,41 %. Пригоден для кирпичного производства.

Участок 19 расположен западнее г. Серафимович на правом борту долины р. Дона, где непосредственно под почвой вскрываются:

1) суглинок малиновый, алевритистый, слюдистый, слабоуплотненный, мощностью 3,0 м;

2) суглинок малиново-красный, пластичный, слюдистый, в верхней части с крупными до 10 см в диаметре известковыми стяжениями, мощностью 1,4 м.

Гранулометрический состав этих суглинков характеризуется следующим содержанием: частиц 1...2 мм — 0,03…0,08 %; 1...05 мм — 0,13…0,53 %; 0,5...0,25 мм — 0,11…0,25 %; 0,25...0,1 мм — 0,54...5,05 %; 0,1...0,01 мм — 28,92…66,92 %; менее 0,01 мм — 32,17…65,17 %. Эти суглинки содержат 71,3...74,5 % кварца, от 7,0…10 % полевых шпатов, 6…21 % глауконита, 0,6…2,3 % слюды и 0,4…0,7 % всех остальных минералов, сульфатные и сульфидные минералы отсутствуют. Состав глинистых минералов — гидрослюды и каолины. Суглинок может служить сырьем для производства керамики.

Участок 20 расположен юго-западнее г. Серафимовича, в 2 км севернее северной окраины х. Фомихинский, на левом борту долины р. Царицы.

Под толщей суглинка мощностью в 2,3 м вскрывается глина буровато-желтая с зеленоватым оттенком, пластичная с прослоями и пятнами ожелезнения, мощностью 5,0 м. Ее гранулометрический состав следующий: частиц размером больше 2 мм — 0,14 %; 1...2 мм — 0,21 %; 1...0,5 мм — 0,18 %; 0,5...0,25 мм — 0,11 %; 0,25...0,1 мм — 0,40 %; 0,1...0,01 мм — 5,37 %; меньше 0,01 мм — 93,59 %. Эти глины содержат 62 % кварца, 16,5 % полевых шпатов, 1 % слюды, 1 % глауконита, 19,4 % гидрослюды, 0,1 % остальных минералов. Глинистые минералы представлены гидрослюдой. Глины могут использоваться как сырье для изготовления керамики.

Участок 21 расположен на южной окраине станицы Клетской у грейдера ст. Клетская — пос. Селиванов. Под толщей супеси и песков мощностью 2,9 м вскрывается песчаник светло-серый, кварцево-глауконитовый, плотный, крепкий с кремнистым цементом. Видимая мощность 6,5 м.

Участок 22 расположен южнее г. Суровикино, в 5 км западнее северо-западной окраины х. Островский у грейдера Суровикино—Сысоевский, где непосредственно под почвой вскрывается песчаник светло-бурый, крепкий, кварцевый, мелкозернистый. Видимая мощность 1,5 м.

Участок 23 расположен на южной окраине х. Тормосин Чернышковского района на р. Аксенец, южнее которого развиты эоловые пески сероватo-желтые, кварцевые, мелкозернистые, хорошо отсортированные. Мощность 2,0…8,0 м. Гранулометрический состав их характеризуется содержанием частиц размером 1...0,5 мм — 36,26 %; 0,5...0,25 мм — 16,75 %; 0,25...0,1 мм — 43,82 %; 0,1...0,01 мм — 2,86 % и менее 0,01 мм — 0,30 %. Эти пески содержат 99 % кварца, 0,6 % полевых шпатов и 0,4 % всех остальных минералов. Пески пригодны как сырье для бетона и штукатурных работ, так как имеют крупность 0,14…0,5 мм и содержат сернистых соединений и серно-кислых соединений не более 2 %, слюды не более 1 %, а глинисто-алевритовых частиц не более 15,0 %.

В целом, минерально-сырьевую базу строительных песков представляют 62 месторождения и проявления, в том числе 38 разведанных месторождений. Общие разведанные запасы по состоянию на 1 января 2003 г. составляют около 139 млн. $м^3$. Разведанными утвержденными запасами располагают 22 района области, из которых наибольшее количество запасов сосредоточено в Дубовском районе, в пределах территории Волгограда, а также в Светлоярском, Городищенском и Камышинском районах. Основной объем добычи осуществляется ГП «Волгоградавтодор» и АООТ «Волгоградский речной порт» [1]. В пределах области учтено 18 карьеров по добыче строительных песков с поверхности и из русла Волги [2]. В целом, имеющаяся сырьевая база строительных песков обеспечит потребности области разведанными запасами на достаточно длительный срок (свыше 25 лет). Среди неразрабатываемых месторождений можно отметить крупные и средние по запасам Гусевское [3], Песковатское-2 и Растегинское [4], которые (в случае необходимости) могут служить дополнительным источником данного вида сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инженерная геология и геоэкология Волгограда / В. Н. Синяков, С. В. Кузнецова, С. В. Честнов, С. И. Махова, А. П. Долганов. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2007. — 126 с.

2. *Емельянов В. И.* Исследование строительных свойств намывных песков. Вопросы устройства оснований и фундаментов в Волгоградской области. — Волгоград, 1971. — С. 86—89.

3. *Панова К. М.* Аллювиальные грунты окрестностей Волгограда. Изыскания, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. — Волгоград, 1966. — С. 137—142.

4. *Розовский Л. Б.* Инженерно-геологические проблемы добычи морских строительных песков и методы их решения // Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы. М. : Наука, 1980. — С. 222—226.

1. Inzhenernaya geologiya i geoekologiya Volgograda / V. N. Sinyakov, S. V. Kuznetsova, S. V. Chestnov, S. I. Makhova, A. P. Dolganov. — Volgograd : VolgGASU, 2007. — 126 s.

2. *Emel'yanov V. I.* Issledovanie stroitel'nykh svoystv namyvnykh peskov. Voprosy ustroystva osnovaniy i fundamentov v Volgogradskoy oblasti. — Volgograd, 1971. — S. 86—89.

3. *Panova K. M.* Allyuvial'nye grunty okrestnostey Volgograda. Izyskaniya, proektirovanie i stroitel'stvo v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh Volgograda. — Volgograd, 1966. — S. 137—142.

4. *Rozovskiy L. B.* Inzhenerno-geologicheskie problemy dobychi morskikh stroitel'nykh peskov i metody ikh resheniya // Gidrogeologiya. Inzhenernaya geologiya i stroitel'nye materialy. M. : Nauka, 1980. — S. 222—226.

© Перфилов В. А., Кузнецова С. В., Синяков В. Н., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Перфилов В. А., *Кузнецова С. В.*, *Синяков В. Н.* Пространственные закономерности распространения месторождений строительных материалов Волгоградской области // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 190—196.

УДК 691.327.666

Т. А. Соловьева, Т. К. Акчурин, О. Ю. Пушкарская

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ УГЛЕВОЛОКНА В КАЧЕСТВЕ АРМИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Наиболее перспективным направлением в строительстве является использование дисперсного многокомпонентного бетона и усиление строительных конструкций дополнительным армированием. Цементные бетоны, имея высокую прочностью на сжатие, обладают сравнительно низкими показателями прочности при растяжении и изгибе, трещиностойкости. Дополнительное армирование бетона дисперсными волокнистыми наполнителями повышает трещиностойкость и надежность бетонных изделий. Область использования цементно-волокнистых (фиброцементных) плит — реконструкция, ремонт объектов и создание новых зданий и сооружений. Углеродные волокна по своим свойствам являются хорошим вариантом строительной фибры, но высокая цена не позволяет их использовать в полной мере. Авторами работы предлагаются отходы углеродного волокна в качестве армирующего элемента цементных композиций (фиброцементных плит).

К л ю ч е в ы е с л о в а: углеродное волокно, фиброцементные плиты, цементно-волокнистые композиции.

The most perspective direction in construction is use of disperse multicomponent concrete and strengthening of construction structures by additional reinforcing. Cement concrete, having high compression strength, possesses rather low tensile and bending strength indexes and crack resistance. Additional reinforcing of concrete by disperse fiber fillers increases crack resistance and reliability of concrete products. The sphere of use of cement and fiber (fibrocement) panels — reconstruction, repair of objects and construction of new buildings. Carbon fibers with their properties are good option for construction fiber, but the high price does not allow use them to the full extent. The authors of the paper offer carbon fiber wastes as a reinforcing element of cement compositions (fibrocement panels).

K e y w o r d s: carbon fiber, fibrocement panels, cement and fiber compositions.

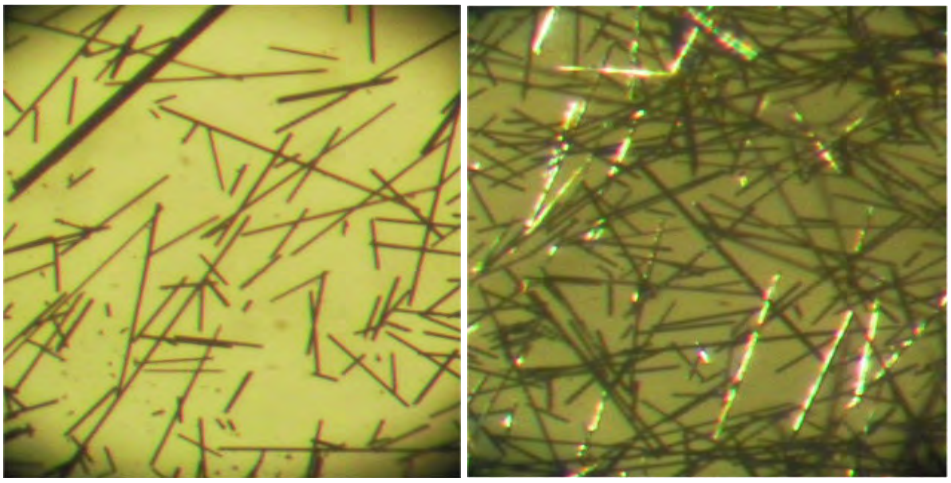
Ужесточение требований к безопасности зданий и сооружений требует повышения показателей физико-технических свойств и долговечности строительных материалов, используемых при строительстве, реконструкции и ремонте. Цементные бетоны, как наиболее широко применяемые строительные материалы, обладают высокой прочностью на сжатие, но имеют сравнительно низкие показатели прочности при растяжении и изгибе, трещиностойкости. Применение дисперсного армирования бетона волокнами (фиброй), стальными, стеклянными, базальтовыми, целлюлозными, синтетическими, углеродными и другими, улучшает показатели перечисленных свойств бетонов.

Многокомпонентные бетонные системы, с использованием минеральных компонентов различной дисперсности, химических модификаторов, дисперсных волокнистых наполнителей и других специальных компонентов, постепенно замещают обычные традиционные бетоны. Эффективное управление структурообразованием в многокомпонентных системах на всех этапах технологии позволяет получать материалы с самым различным комплексом свойств.

Исследования по разработке строительных композиций нового поколения, модифицированных углеродными материалами, являются перспективным направлением. Вводимые в бетонную смесь тонкодисперсные добавки углеволокна позволяют придать новые свойства цементному камню и бетону

в целом, существенно повысить его показатели за счет энергии взаимодействия на межфазных границах. Вводимые добавки углеволокна модифицируют структуру цементного камня и его контактные зоны с наполнителем.

Определенный интерес представляют отходы производства препрегов — композиционных материалов-полуфабрикатов, которые получают путем пропитки армирующей волокнистой основы (углеполотно) равномерно распределенными полимерными связующими. Углеродное волокно сегодня производят чаще всего из полиакрилонитрилового волокна путем окислительного пиролиза и стабилизации в инертном газе. При этом полиакрилонитрил (ПАН) подвергается сложной многоступенчатой обработке на специальных производственных линиях. В зависимости от вариантов обработки, получается углеволокно с той или иной плотностью, прочностью и упругостью, из которого затем делают нити. Углеволокно соединяют в пучки по несколько тысяч нитей в каждом, непрерывные жгуты, собраны в ленты, ровинги или нити, ткани. При формировании определенного размера углеволоконных материалов, перед пропиткой полимерным связующим образуются обрезки углеродного материала, которые используются нами в качестве армирующего элемента цементных композиций (рис. 1, *а*, *б*) [1, 2].



а *б*

Рис. 1. Материал отходов углеволокна (МБС-9)×(3,3…100,8) в проходящем (*а*) и отраженном (*б*) свете

Углеродным волокнистым материалам присущи такие уникальные свойства, как развитая активная поверхность, обеспечивающая сочетание фильтрующих и сорбционных свойств с высокими кинетическими характеристиками, развитая и регулируемая в широких пределах пористость, хорошая электрическая проводимость, термическая и радиационная стойкость [3]. Волокна имеют трубчатую структуру, характеризующуюся структурными слоями из атомов углерода, гексогональные плоскости параллельны и одинаково удалены друг от друга. Но в то же время они беспорядочно ориентированы в направлении, перпендикулярном базисным плоскостям. Синтетическая фибра (углеволокно) обеспечивает трехмерное упрочнение бетона по сравнению

с традиционной арматурой, которая обеспечивает лишь двухмерное упрочнение, увеличивает сопротивление цементного камня изгибающим нагрузкам [3].

Дозировка углеволокна в цементно-волокнистой композиции определялась экспериментально. Образцы изготавливались с содержанием отходов углеволокна около 0,05 % от массы цемента. Образцы цементно-волокнистой композиции, армированные отходами углеволокна (ЦВКУ), были изготовлены в условиях лаборатории кафедры СМ и СТ. Анализ структуры образцов производился методами количественной металлографии (рис. 2, 3). Излом образца (см. рис. 2) позволяет выявить структурные поверхности разрушения, что является эффективным средством анализа причин эксплуатационных повреждений в изделиях из цементно-волокнистых композиций. Плоскость разрушения меняет свою ориентировку от зерна к зерну наполнителя (кварцевого песка), образуя так называемые фасетки. В микроскопе видно, что скол не идеально гладок — на его поверхности имеются ступеньки, придающие структуре вид ручьистых узоров. В многокомпонентных образцах ЦВКУ вид узоров при переходе от зерна к зерну наполнителя меняется, так как плоскость разрушения меняет свою ориентировку. По основным деталям рельефа (взаимное расположение, направление ступенек ручьистого узора) можно выявить очаг главной трещины. Очаг располагается вблизи границы цементной матрицы и кварцевого наполнителя, в узлах пространственно-ориентированной структуры, а также вблизи избыточных фаз на границе зерен кварцевого песка (см. рис. 2).

Рис. 2. Микроскопическое изображение излома образца цементно-волокнистой композиции (МБС-9)× 4,0…14

Микроармирующий эффект отходов углеволокна исследован на образцах ЦВКУ, поверхность не шлифованная (см. рис. 3). Структура образца дисперсно-упрочненная с наличием армирующего элемента, отходов углеволокна (ОУВ). Распределение ОУВ по объему образца неравномерное, присутствуют скопления углеволоконного материала в промежутках между кварцевым наполнителем, что является положительным эффектом дополнительного

микроармирования ЦВКУ. Сцепление в зоне межфазного контакта «цементная матрица — углеволокно» препятствует образованию очагов вторичных трещин и их локальному распространению. Адгезия ОУВ к цементной матрице проявляется в постоянстве внешнего вида углеродной фибры (см. рис. 1, 3), ОУВ не скручивается, соотношение размеров больших и малых отрезков ОУВ не изменяется после технологических операций изготовления образцов. Повышение трещиностойкости образцов ЦВКУ объясняется механизмом торможения распространения трещин за счет отсутствия разрушений на границе раздела цементная матрица — ОУВ, а также удаления ОУВ из матрицы за счет выдергивания. Дополнительное сопротивление трещинообразованию уже на начальной стадии способствует равномерному распределению напряжений по всему объему ЦВКУ. Микроармирование цементно-волокнистых композиций отходами углеволокна будет способствовать повышению долговечности материала, снижению усадочной деформации, значительному повышению трещиностойкости и ударной вязкости.

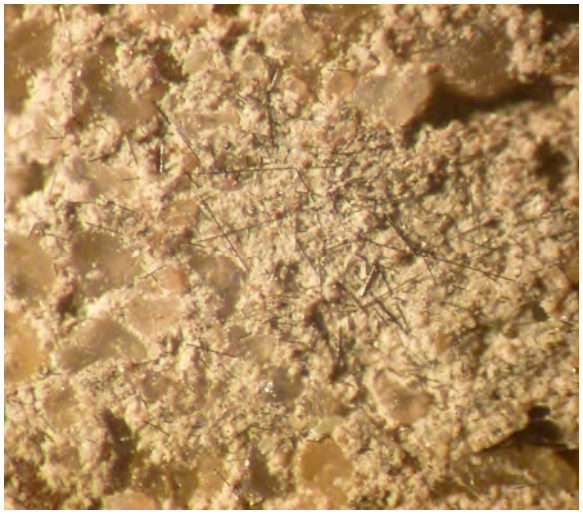


Рис. 3. Микроскопическое изображение внутренней структуры среза образца ЦВКУ, поверхность не шлифованная (МБС-9)×4,0…14

Испытания образцов ЦВКУ на прочность при сжатии показали увеличение этой характеристики на 25 %, водопоглощение снизилось на 15 % в сравнении с волокнисто-цементными плитами российского производства. Плотность образцов составила 1700…1850 кг/м^3. Прочность на изгиб образцов изменялась в пределах 20…28 МПа.

При оптимизации состава ЦВКУ варьирование такими параметрами, как В/Ц, наполнитель, добавки, армирующий компонент ОУВ, технологические параметры изготовления композиции, позволят получить ЦВКУ с улучшенными техническими характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Соловьева Т. А., Пушкарская О. Ю., Акчурин Т. К.* Перспективы и возможности использования отходов углеволокна в технологии эффективных цементных композиций // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы III Междунар. науч.-техн. конф. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2012. — С. 172—175.

2. *Соловьева Т. А.*, *Пушкарская О. Ю.*, *Акчурин Т. К.* Строительные композиции нового поколения, модифицированные углеродными волокнами // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство : материалы Междунар. конф. 60 лет. Ч. I. — Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2012. — С. 229—301.

3. *Земскова Л. А.*, *Шевелева И. В.* Модифицированные сорбционно-активные углеродные волокнистые материалы / Рос. Хим. Ж (Ж. Рос. Хим. Об-ва им. Д. И. Менделева). 2004. Т. XLVIII. № 5. С. 53—57.

1. *Solov'eva T. A.*, *Pushkarskaya O. Yu.*, *Akchurin T. K.* Perspektivy i vozmozhnosti ispol'zovaniya otkhodov uglevolokna v tekhnologii effektivnykh tsementnykh kompozitsiy // Inzhenernye problemy stroitel'nogo materialovedeniya, geotekhnicheskogo i dorozhnogo stroitel'stva : materialy III Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. — Volgograd : Izd-vo VolgGASU, 2012. — S. 172—175.

2. *Solov'eva T. A.*, *Pushkarskaya O. Yu.*, *Akchurin T. K.* Stroitel'nye kompozitsii novogo pokoleniya, modifitsirovannye uglerodnymi voloknami // Nauka i obrazovanie: arkhitektura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo : materialy Mezhdunar. konf. 60 let. Ch. I. — Volgograd : Izd-vo VolgGASU, 2012. — S. 229—301.

3. *Zemskova L. A.*, *Sheveleva I. V.* Modifitsirovannye sorbtsionno-aktivnye uglerodnye voloknistye materialy / Ros. Khim. Zh (Zh. Ros. Khim. Ob-va im. D. I. Mendeleva). 2004. T. XLVIII. № 5. S. 53—57.

© Соловьева Т. А., Акчурин Т. К., Пушкарская О. Ю., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Соловьева Т. А., Акчурин Т. К., Пушкарская О. Ю. Оценка возможности использования отходов углеволокна в качестве армирующего элемента цементных композиций // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 197—201.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.543

С. В. Павлова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ АРОМАТИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ КАТАЛИТИЧЕСКИМ ОЗОНИРОВАНИЕМ

Представлены материалы по источникам образования сточных вод, загрязненных ароматическими соединениями в технологических процессах химических и нефтехимических предприятий. Приведена усовершенствованная технологическая схема каталитического озонирования сточных вод, стадии пиролиза углеводородов производства ПВХ.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сточные воды, каталитическое озонирование, ароматические соединения.

Materials on sources of formation of the sewage polluted by aromatic compounds in technological processes of chemical and petrochemical enterprises are presented. The advanced technological scheme of catalytic ozonization of sewage, the stages of pyrolysis of hydrocarbons of PVC production is provided.

K e y w o r d s: sewage, catalytic ozonization, aromatic compounds.

В процессах водоснабжения и канализации промышленных предприятий немаловажную роль играет очистка сточных вод. Проблема полной очистки производственных сточных вод от загрязнений промышленного характера является одной из наиболее актуальных и одновременно трудно решаемых. Несмотря на огромное число отечественных и зарубежных исследований, данную проблему нельзя считать решенной. Поэтому поиск новых эффективных способов очистки промышленных сточных вод является важным.

В настоящее время все больше внимания уделяется поиску новых перспективных методов очистки сточной воды, более компактных, быстро окупаемых, простых в эксплуатации. К их числу относится метод озонирования [1].

На предприятиях химической и нефтехимической промышленности в качестве сырья, промежуточных веществ и конечных продуктов достаточно широко используются различные производные ароматических соединений: фенол, бензол, толуол. В результате технологических процессов эти соединения попадают в сточные воды. Локальную очистку сточных вод проводят, используя методы отстаивания, коагуляции и флокуляции, после чего для их окончательной доочистки направляют на биохимические очистные сооружения (БОС).

Ароматические соединения — это термодинамически устойчивые системы, практически не подвергающиеся биохимическому воздействию бактерий и микроорганизмов, кроме этого они являются весьма токсичными веществами.

Указанные свойства ароматического класса углеводородов обуславливают достаточно жесткие требования по их концентрации при приеме сточных вод на биологические очистные сооружения, поэтому проблема очистки стоков от ароматических соединений на локальных промышленных установках перед биохимической доочисткой является весьма актуальной.

В частности, наиболее широко исследовался процесс образования сточных вод, содержащих производные фенола**,** бензола, толуола на стадии пиролиза углеводородов на промышленном предприятии производства ПВХ. Среднестатистическое содержание ароматических производных в отводимых сточных водах вышесказанного производства значительно превышает нормы биохимических сооружений.

Целью данного исследования является совершенствование технологической схемы очистки сточных вод стадии высокотемпературного пиролиза углеводородного сырья производства винилхлорида от примесей ароматических соединений с использованием каталитического озонирования.

Использование катализаторов в процессе озонирования достаточно широко известно [2]. В настоящее время промышленностью выпускается большое количество каталитических систем, в частности оксидов металлов на твердых сорбентах (Al_2O_3, MoO_3). Данные катализаторы используются в радикальных окислительно-восстановительных процессах, и исследовалось их применение в процессе озонирования сточных вод.

Исследования проводили на лабораторной установке, состоящей из озонатора, реактора озонирования и баллона с кислородом, имеющей следующие технические характеристики:

1) питающий газ — кислород технический;

2) расход кислорода — 10…130 норм. л/ч;

3) производительность по озону — 2…5 г/ч;

4) диапазон рабочих концентраций озона на выходе — 10…120 мг/л.

В качестве объектов исследований использовались модельные сточные воды, содержащие фенол, бензол и толуол в широком интервале исходных концентраций (10…100 мг/л), а также реальные сточные воды, образующиеся после стадии пиролиза углеводородного сырья производства ПВХ.

В качестве катализаторов использовались марки S-120, ГП-534, ГП-534М, а также отработанные катализаторы тех же марок. Наиболее эффективным показал себя катализатор марки ГП-534М следующего состава:

1) тип носителя — Al_2O_3;

2) массовая доля активных компонентов, %:

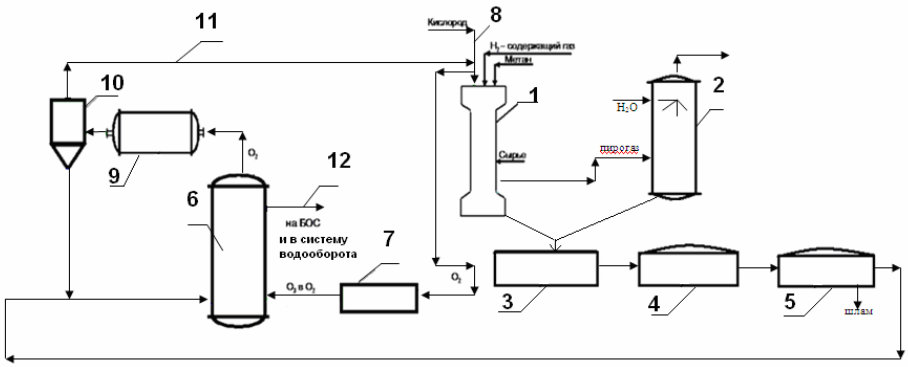
MoO_3 — 18,0…23,0;

NiO — 3,0…6,0;

P_2O_5 — 2,0…5,0.

Результаты, проведенных исследований, показали, что применение метода каталитического озонирования позволяет снизить содержание основных примесей нефтепродуктов с 10…100 мг/л до 0,1…1 мг/л, что соответствует нормативным требованиям, определяющим возможность их дальнейшей биохимической доочистки.

На рис. представлена усовершенствованная технологическая схема очистки сточных вод от ароматических соединений производства винилхлорида методом каталитического озонирования [3].



Усовершенствованная технологическая схема очистки сточных вод от примесей ароматических соединений методом каталитического озонирования: действующая схема очистки: *1* — реактор пиролиза; *2* — колонна промывки; *3* — сборник; *4* — коагулятор; *5* — сепаратор; предлагаемая дополнительная схема: *6* — реактор озонирования; *7* — озонатор; *8* — подача кислорода; *9* — адсорбер с насадкой из активированного угля; *10* — каплеотбойник; *11* — трубопровод возврата кислорода; *12* — вывод очищенных сточных вод

В усовершенствованной технологической схеме, помимо действующей схемы очистки, устанавливается дополнительная система очистки — каталитическое озонирование. Данная система очистки содержит озонатор получения озона из кислорода в газовом разряде, реактор озонирования сточных вод, содержащих ароматические соединения, в присутствии гетерогенного катализатора, адсорбер с насадкой из активированного угля и каплеотбойник. Выходы сточных вод из реактора пиролиза и колонны промывки пирогаза подключены к входу сборника сточных вод, реактору озонирования подсоединен трубопровод подвода сточных вод от сепаратора, а реактор озонирования соединен с трубопроводом вывода очищенной воды в систему водооборота и на биологические очистные сооружения.

В результате действия усовершенствованной технологической схемы очистки сточных вод от ароматических соединений каталитическим озонированием степень очистки увеличивается до 98,8…100 %, что является необходимым и достаточным при приеме сточных вод на биологические очистные сооружения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Драгинский В. Л.*, *Алексеева Л. П.*, *Самойлович В. Г.* Озонирование в процессах очистки воды. — М. : ДеЛи принт, 2007.

2. Интенсификация процесса озонирования сточных вод, содержащих алкилсульфонат натрия / П. Т. Полуэктов, Л. Л. Юркина, В. И. Корчагин, Л. А. Власова // Экология и промышленность России. 2008. № 1. — С. 24—25.

3. Установка для очистки сточных вод : пат. 125576 Российская Федерация, МПК CO2F 1/46 / С. В. Павлова, [и др]; № 2012110631; заявл. 20.03.2012 ; опубл. 10.03.2013. Бюл. № 7.

1. *Draginskiy V. L.*, *Alekseeva L. P.*, *Samoylovich V. G.* Ozonirovanie v protsessakh ochistki vody. — M. : DeLi print, 2007.

2. Intensifikatsiya protsessa ozonirovaniya stochnykh vod, soderzhashchikh alkilsul'fonat natriya / P. T. Poluektov, L. L. Yurkina, V. I. Korchagin, L. A. Vlasova // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2008. № 1. — S. 24—25.

3. Ustanovka dlya ochistki vod. : pat. 125576 Rossiyskaya Federatsiya, MPK CO2F 1/46 / S. B. Pavlova, [i dr]; № 2012110631; zayavl. 20.03.2012; opubl. 10.03.2013. Byul. № 7.

©. Павлова С. В., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Павлова С. В. Совершенствование технологической схемы очистки сточных вод от загрязнений ароматическими соединениями каталитическим озонированием // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 202—205.

УДК (470.23-25):613

В. Ф. Желтобрюхов, Е. Г. Фельдштейн

ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Рассмотрены подходы к решению проблем очистки поверхностных сточных вод.

К л ю ч е в ы е с л о в а: поверхностные сточные воды, очистка.

Approaches to the solution of problems of surface runoffs are considered in the article.

K e y w o r d s: surface runoff, cleaning

Аналогично производственным сточным водам повышенную опасность для окружающей природной среды представляют поверхностные сточные воды, отводимые с территорий предприятий. Состав и концентрация загрязняющих веществ в этих стоках зависят от номенклатуры выпускаемой продукции, санитарного состояния промышленной площадки и степени ее благоустройства, наличия на территории водосборного бассейна, незащищенных от атмосферных осадков хранилищ сырья, твердого топлива и промышленных отходов, а также от культуры производства, эффективности и надежности работы систем защиты атмосферного воздуха от загрязнений, технического состояния промышленного оборудования, внутризаводского транспорта и систем водоотведения. В поверхностные сточные воды поступают загрязняющие вещества, выносимые из производственных цехов обслуживающими их транспортными средствами, на одежде и обуви работающих, а также с выбросами от вентиляционных систем предприятий. Поэтому, наряду с традиционными примесями поверхностного стока, к которым относятся механические частицы и нефтепродукты, в дождевых и талых водах с промышленной площадки могут присутствовать также тяжелые металлы, специфические органические соединения и другие загрязняющие вещества.

Вместе с тем поверхностный сток характеризуется крайней степенью неравномерности формирования и непредсказуемостью качественного и количественного состава загрязняющих веществ. Все расчеты дождевого и талого стока носят вероятностный характер и не претендуют на полное соответствие реальным условиям. Тем не менее эти расчеты позволяют прогнозировать эффективность работы систем ливневой канализации с учетом предполагаемых режимов выпадения дождей и образования талого стока.

Очистка дождевых и талых вод в системах ливневой канализации начала широко применяться сравнительно недавно. На сегодняшний день существует несколько отличающихся между собой вариантов решения проблемы очистки поверхностного стока, отводимого с территорий промплощадок предприятий, а также с селитебных территорий системами ливневой канализации. Практически все эти варианты рассмотрены в рекомендациях [1].

Одно из наиболее часто применяемых проектных решений при устройстве систем ливневой канализации предусматривает размещение подземных установок заводского изготовления непосредственно на коллекторах, транспортирующих дождевые и талые воды. При этом перед очистным устройст-

вом всегда располагается разделительная камера (ливнеспуск), позволяющая сбрасывать в водный объект без очистки часть дождевого стока, расход которого превышает расчетные значения [2].

Несмотря на очевидную простоту этого варианта, следует отметить его существенные недостатки.

Во-первых, отсутствует гарантия того, что установка очистки будет функционировать в расчетном режиме и обеспечивать очистку предусмотренного нормативами расхода сточных вод. Дело в том, что требуемое качество очищенных вод обеспечивается только при условии применения для очистки фильтрующих элементов. Наличие таких элементов в очистной установке, смонтированной на самотечном коллекторе, вызывает увеличение потерь напора в процессе работы фильтров в связи с их постепенной закупоркой. Поэтому даже при малых дождях пропускной способности установки, как правило, недостаточно для очистки поступающего потока дождевых вод, и они без очистки через ливнеспуск сбрасываются в водный объект.

Во-вторых, отсутствуют возможности применения реагентов для очистки поверхностного стока. Вследствие этого очищенная вода по многим показателям обычно не отвечает нормативным требованиям.

В-третьих, сложность и значительная трудоемкость эксплуатации и технического обслуживания подземных установок заводского изготовления.

Поэтому применение для очистки поверхностного стока устройств подземного типа, расположенных на самотечных коллекторах, может быть оправдано только при малых площадях водосбора, глубине заложения коллектора до 2…2,5 м, незначительной загрязненности обслуживаемой территории, а также при условии самотечного отвода очищенной воды в водный объект или более крупную систему дождевой канализации. Кроме того, необходимым условием контроля работы подземных устройств является наличие приборов для измерения количества очищенного поверхностного стока и стока, сбрасываемого через ливнеспуск без очистки. Без таких контролирующих устройств отсутствуют объективные доказательства того, что через очистной комплекс протекает расчетный объем стоков, а не его часть.

Значительно реже, по сравнению с первым вариантом, применяется устройство ливневой канализации с подачей всего поверхностного стока на очистные сооружения насосной станцией. В связи с отсутствием в схеме аккумулирующей емкости этот вариант характеризуется громоздкостью очистных сооружений, которые рассчитываются по значению часовой производительности насосной станции. Вполне очевидно, что при отсутствии осадков такие очистные сооружения будут простаивать, а при дождях малой интенсивности работать в соответствии с режимом функционирования насосной станции.

В настоящее время подавляющее число специалистов отдают предпочтение системам ливневой канализации, в которых предусматривается аккумулирование поверхностного стока перед его подачей на очистку. При этом поступление стока в аккумулирующую емкость осуществляется самотеком, а при значительном заглублении подводящего коллектора поток подается в емкость насосной станцией. Аккумулирующая емкость позволяет существенно уменьшить часовую производительность очистных сооружений, не сокращая при этом общего объема подлежащего очистке стока [2].

В общем случае такая система ливневой канализации предусматривает сбор дождевых, талых и поливомоечных вод с территории водосборного бассейна дождеприемниками, транспортирование стока самотечной сетью дождевой канализации, разделение стока в ливнеспуске при превышении расчетного объема и самотечный отвод или перекачку стока в аккумулирующую емкость. Во втором случае перекачку поверхностного стока целесообразнее осуществлять двумя насосами разной производительности. Из аккумулирующей емкости сток насосом подается на очистные сооружения.

По результатам научно-технических исследований разработано несколько вариантов технологических схем очистки поверхностного стока после его аккумулирования в подземной емкости. Один из вариантов предусматривает применение электрокоагуляционной технологии.

В этом варианте принципиальная схема очистки поверхностного стока включает в себя: решетку; песколовку; секционный накопитель-отстойник; насос подачи стока в установку очистки; электрокоагулятор; выпрямитель; осветлитель; пенополистирольный фильтр; трубчатые адсорбционные фильтры; аппарат для УФ-обеззараживания очищенной воды; водомерный узел; песковый насос; контейнер для песка; шламовый насос; уплотнитель осадка; насос подачи; насадка на обезвоживание; установка для обезвоживания осадка; скиммер; бак нефтепродуктов.

В соответствии с технологической схемой вначале из поверхностного стока при помощи решетки извлекаются крупные загрязняющие компоненты, смываемые с территории водосборного бассейна и не задержанные решетками дождеприемников. Решетка, ручная или автоматизированная, устанавливается перед аккумулирующей емкостью или, в случае перекачки стока, в насосной станции.

После процеживания поверхностный сток поступает самотеком или подается насосной станцией в песколовку, расположенную перед аккумулирующей емкостью. Затем поток самотеком направляется в секционный накопитель-отстойник, который обеспечивает аккумулирование поверхностного стока, а также извлечение из него основной массы взвешенных веществ и нефтепродуктов.

Накопитель-отстойник разделен на две или три секции и может работать в трех режимах. При первом режиме аккумулирования поверхностного стока не происходит, и весь поступающий объем стока подается на доочистку. Этот режим возникает, когда приток очищаемой воды равен или меньше производительности очистных сооружений. Поступивший в первую секцию накопителя-отстойника поверхностный сток отстаивается, и осветленная вода насосом подается на доочистку. Во втором режиме работы в отстойнике-накопителе происходит как аккумулирование поверхностного стока, так и одновременная подача его на доочистку. Этот режим возникает при длительных дождях и притоке стока больше производительности очистных сооружений. Осветленная вода после первой секции накопителя-отстойника насосом подается на доочистку. В третьем режиме работы в накопителе-отстойнике вначале производится аккумулирование поверхностного стока, а после прекращения дождя — подача стока на доочистку. Этот режим возникает при кратковременных дождях высокой интенсивности, когда

происходит быстрое заполнение аккумулирующих объемов всех секций накопителя-отстойника. После прекращения дождя и отстаивания накопленного объема в течение расчетного времени производится подача осветленной воды насосом на доочистку.

Подача осветленной в накопителе-отстойнике воды на доочистку производится погружным насосом из камеры осветленной воды, находящейся в конце первой секции накопителя-отстойника за переливной перегородкой.

Для доочистки поверхностного стока после предварительного осветления в накопителе-отстойнике применяется блочно-модульный водоочистной комплекс (БМВК) «УКОС-Д», состоящий из электрокоагулятора, осветлителя, механического фильтра и адсорбционных фильтров [2].

Вначале осветленная вода подается насосом в подключенный к выпрямителю электрокоагулятор, в котором происходит растворение алюминиевых электродов под действием постоянного электрического тока.

В результате электрохимической обработки очищаемой воды протекают следующие реакции:

1) на алюминиевых анодах $Al - 3e^- \rightarrow Al^{3+}$ (растворение алюминиевых анодов);

2) на катодах $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ (образование газообразного водорода, подщелачивание воды).

В электрокоагуляторе обеспечивается коагуляция микро- и коллоидных частиц твердых примесей, а также эмульгирование частиц нефтепродуктов. Кроме того, происходит образование хлопьев гидроксида алюминия ($Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow (AlOH\downarrow)_3$) и сорбция ими загрязняющих компонентов поверхностного стока, в том числе растворенных веществ.

После обработки в электрокоагуляторе очищенная вода поступает в осветлитель, в котором происходит осаждение скоагулированных частиц примесей под действием силы тяжести. Образующийся осадок накапливается в нижней части осветлителя, а осветленная вода отводится на фильтр, заполненный слоем полимерного материала из гранул вспененного полистирола. В некоторых случаях, если показатели БПК и ХПК очищенной воды превышают нормативные значения, перед фильтром производится обработка потока окислителем — раствором перекиси водорода.

Глубокая доочистка дождевых вод осуществляется в трубчатых адсорбционных фильтрах, находящихся над синтетической фильтрующей загрузкой. В результате фильтрования через трубчатые адсорбционные фильтры происходит поглощение растворимых нефтепродуктов из очищаемой воды высокопористым гранулированным адсорбционным материалом.

В БМВК «УКОС-Д» все ступени очистки работают гидравлически независимо, без промежуточных перекачек, в безнапорном режиме.

Из БМВК «УКОС-Д» очищенная вода отводится по самотечному трубопроводу и после обработки в установке для УФ-обеззараживания проходит водомерный узел для контроля объема водосброса. Сброс производится в наружный коллектор очищенной воды, по которому она отводится в водоем или сбрасывается на рельеф. При возможности утилизации очищенная вода собирается в резервуаре для дальнейшего использования.

Фильтр БМВК «УКОС-Д» периодически промывается водой, находящейся над фильтрующей загрузкой. Промывка осуществляется при помощи встроенной промывной системы фильтра. Промывная вода фильтра сбрасывается в накопитель-отстойник. Осадок, накапливающийся в нижней части осветлителя БМВК «УКОС-Д», периодически сбрасывается в накопитель-отстойник.

Осадок из песколовки песковым наосом периодически откачивается в оборудованный дренажом контейнер, который после заполнения твердыми отходами вывозится автотранспортом. Дренажная вода сбрасывается в накопитель-отстойник.

Осадок из накопителя-отстойника после накопления в иловом приямке перекачивается шламовым насосом в уплотнитель осадка. Затем осадок из уплотнителя насосом подается на установку для механического обезвоживания осадка. Обезвоженный осадок вывозится в места, согласованные с местными уполномоченными органами. Декантат из уплотнителя осадка и фильтра после установки обезвоживания сбрасывается в накопитель-отстойник.

Всплывающие в секциях накопителя-отстойника нефтепродукты задерживаются от выноса полупогружными перегородками. Образующаяся на поверхности воды пленка периодически удаляется скиммером или другим аналогичным приспособлением в бак. После заполнения бака нефтепродукты вывозятся на утилизацию.

Работа БМВК «УКОС-Д» полностью автоматизирована и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Очистные сооружения с БМВК «УКОС-Д» монтируются на перекрытии накопителя-отстойника в здании из быстро сборных строительных конструкций.

Показатели качества очищенного в БМВК «УКОС-Д» поверхностного стока соответствуют требованиям для сброса в водоемы рыбохозяйственного значения. При этом не происходит увеличение солесодержания очищенной воды. БМВК «УКОС-Д» экономически выгодно применять при производительности очистных сооружений аккумулированного поверхностного стока до 200 $м^3$/ч, что соответствует обычно площади водосбора до 80 га.

При больших площадях стока для очистки вместо электрокоагуляции применяется напорная флотация. В этом случае после накопителя-отстойника осветленные стоки подаются в смеситель флотатора, в который также дозируется раствор коагулянта. Одновременно во флотатор подается часть очищенного потока после насыщения его под избыточным давлением в сатураторе. В результате смешения очищаемого поверхностного стока с рециркулирующим потоком при атмосферном давлении происходит выделение из пересыщенной смеси мелких пузырьков воздуха, образующих с коагулированными частицами флотокомплексы. Затем во флотаторе происходит всплывание флотокомплексов на поверхность воды с формированием устойчивого слоя флотационного шлама, который периодически удаляется скребковым механизмом. Применение напорной флотации позволяет сократить продолжительность процесса удаления коагулированных частиц из стока до 15…20 мин и, соответственно, уменьшить производственные площади под очистные сооружения. После напорной флотации производится глубокая доочистка поверхностного стока на пенополистирольных и трубчатых адсорбционных фильтрах. При этом поток из флотатора на фильтр поступает самотеком.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объемы. — М. : ФГУП «НИИ ВОДГЕО», 2006. — 56 с.

2. *Анопольский В. Н., Фельдштейн Г. Н., Фельдштейн Е. Г.* Сооружения для очистки поверхностного стока // Вода Magazine. 2009. №3. С. 60—65.

1. Rekomendatsii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i ochistki poverkhnostnogo stoka s selitebnykh territoriy, ploshchadok predpriyatiy i opredeleniyu usloviy vypuska ego v vodnye ob"emy. — M. : FGUP «NII VODGEO», 2006. — 56 s.

2. *Anopol'skiy V. N., Fel'dshteyn G. N., Fel'dshteyn E. G.* Sooruzheniya dlya ochistki poverkhnostnogo stoka // Voda Magazine. 2009. №3. S. 60—65.

© Желтобрюхов В. Ф., Фельдштейн Е. Г., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Желтобрюхов В. Ф., Фельдштейн Е. Г. Проблемы очистки поверхностного стока // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 206—211.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 536.24

В. М. Фокин, П. А. Рощин, В. И. Лепилов, А. В. Ковылин

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ УСТАНОВОК СО СПИРАЛЬНЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ КИПЯЩЕГО ТИПА

Рассмотрена технология работы теплообменного аппарата кипящего, псевдоожиженного слоя. Представлен спиральный теплообменный аппарат кипящего слоя для утилизации вторичных энергетических ресурсов. Разработана экспериментальная установка для исследования энергоэффективности спирального теплообменника кипящего типа.

К л ю ч е в ы е с л о в а: кипящий слой, теплообменный аппарат кипящего слоя, псевдоожиженный слой, утилизация вторичных энергетических ресурсов, энергоэффективность.

The technology of performance of the heat exchanger of boiling, pseudofluidized layer is considered. The spiral heat exchanger of boiling layer for recycling of secondary energy resources is presented. Experimental installation to research energy efficiency of the spiral heat exchanger of boiling type is developed.

K e y w o r d s: boiling layer, heat exchanger of boiling layer, pseudofluidized layer, recycling of secondary energy resources, energy efficiency.

Энергосбережение и оптимизация систем производства и распределения тепловой энергии, корректировка энергетических балансов позволяют улучшить перспективы развития теплоэнергетики и повысить технико-экономические показатели. Неотложная задача настоящего времени — за счет энергосберегающих технологий существенно снизить удельное энергопотребление во всех отраслях производства, на транспорте и в ЖКХ [1].

В существующих теплообменных аппаратах кипящего слоя [2, 3] преобладает лучистый теплообмен, однако, если использовать теплообменный аппарат кипящего слоя для утилизации вторичных энергетических ресурсов систем вентиляции и кондиционирования, а также уходящих дымовых газов теплогенерирующих установок, преобладать будет кондуктивно-конвективный теплообмен и предложенные конструкции теплообменных аппаратов будут менее эффективными. Велика интенсивность внешней эрозии при предложенном расположении поверхностей теплообмена.

Согласно [4, 5] интенсивность внешней эрозии поверхностей нагрева, размещенных в кипящем слое, неравномерна по поверхности труб. При горизонтальном расположении поверхностей нагрева (одиночной трубы) зоны максимального износа находятся симметрично слева и справа от ее нижней

образующей под углом π/8. При достижении трубы вертикального положения интенсивность внешней эрозии становится одинаковой. Это свидетельствует о том, что вертикальные трубы подвержены существенно менее интенсивной внешней эрозии, чем горизонтальные и наклоненные.

Размещение поверхностей нагрева в псевдоожиженном (кипящем) слое позволяет значительно интенсифицировать теплообмен. Теплообменный аппарат кипящего слоя, устанавливаемый на источник вторичных энергетических ресурсов (нагретые уходящие газы технологических агрегатов, вентиляционные выбросы), позволяет значительно интенсифицировать теплообмен, снизить металлоемкость, предотвратить отложение сажи (летучей золы), а также процесс низкотемпературной коррозии на внешних стенках поверхностей нагрева.

Основными трудностями, стоящими на пути широкого внедрения данной технологии, являются высокая внешняя эрозия, вызывающая необходимость частого обновления поверхностей нагрева, и большое гидравлическое сопротивление распределительной решетки и самого кипящего слоя.

Авторами разработан спиральный теплообменник кипящего типа [6], продольный и поперечный разрез которого приведен на рис. 1.

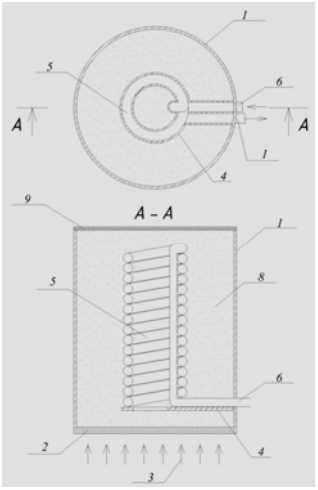


Рис. 1. Схема спирального теплообменника кипящего типа: *1* — цилиндрический полый корпус; *2* — распределительная решетка; *3* — источник; *4* — стальная подставка; *5* — трубчатый цилиндрический змеевик; *6* — ввод; *7* — вывод; *8* — кипящий слой; *9* — заградительная решетка

Спиральный теплообменник кипящего типа содержит цилиндрический полый корпус *1*, внутри которого размещены и жестко связаны с ним внизу распределительная решетка *2* с отверстиями диаметром 1,5…2,5 мм, к которой внизу присоединен источник *3* вторичного газообразного теплоносителя, на определенном расстоянии от решетки *2* стальная подставка *4*, на которой установлен соосно с корпусом и с отверстием в подставке *4* трубчатый цилиндрический змеевик *5*, ввод *6* и вывод *7* которого через боковое отверстие корпуса *1* выведены наружу с возможностью подачи в змеевик жидкости, нагреваемой кипящим слоем *8* со стеклянными шариками диаметром 2…3 мм, вверху корпуса *1* установлена заградительная решетка *9*.

Подача жидкости происходит через ввод *6* змеевика *5*, установленный на подставке *4*, защищающей горизонтальные участки змеевика от внешней эрозии, нагревается, проходя через весь змеевик *5*, расположенный в кипящем

слое *8*, и выходит через вывод *7* змеевика *5*. Подача вторичного газообразного теплоносителя производится от источника *3* через распределительную решетку *2*. Заградительная решетка *9* препятствует выносу частиц кипящего слоя *8* за пределы корпуса *1*. Теплообменная поверхность в форме спирали позволяет значительно увеличить поверхность теплообмена, а также имеет малое количество горизонтальных поверхностей, подверженных высокой интенсивности внешней эрозии, при защите которых значительно повышается долговечность и надежность теплообменного аппарата кипящего слоя.

С целью разработки и определения методики расчета низкотемпературных теплообменников кипящего слоя разработана экспериментальная тепловая установка [7], приведенная на рис. 2.

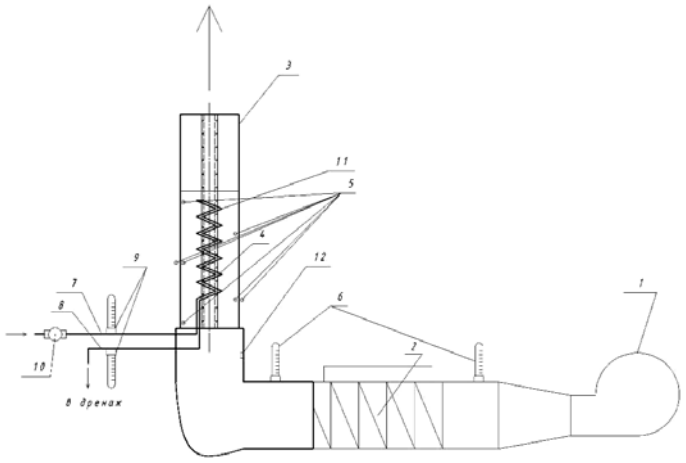


Рис. 2. Экспериментальная тепловая установка: *1* — вентилятор; *2* — электрический воздухонагреватель; *3* — корпус; *4* — смотровое стекло; *5* — термопары; *6* — термометры; *7* — подающий трубопровод; *8* — обратный трубопровод; *9* — термометры; *10* — водомер; *11* — спираль; *12* — точка измерения расхода воздуха

Экспериментальная тепловая установка состоит из высоконапорного вентилятора *1*, электрического воздухонагревателя *2*, корпуса *3*, состоящего из трубы круглого сечения Ду 100 мм и распределительной решетки внизу, для удобства наблюдения за кипящим слоем в корпус трубы вмонтировано смотровое стекло *4*, для измерения температуры по все ширине слоя погружены термопары *5*, для измерения температуры наружного, нагретого воздуха применены термометры *6*, для измерения температуры теплоносителя на подающем *7* и обратном *8* трубопроводах установлены термометры *9*. Для учета расхода теплоносителя используется водомер *10*. Теплообменная поверхность, погруженная в кипящий слой, выполнена в виде спирали *11*. Расход воздуха измеряется в точке *12* при помощи термоанемометра.

Для исследования энергоэффективности тепловой установки со спиральным теплообменником кипящего типа была выбрана фракция слоя из щебня диаметром 10…20 мм, плотностью ρ = 1500 кг/м^3. Вертикальный воздуховод с кипящим слоем имеет диаметр 0,11 м, а высота слоя засыпки составляет 0,23 м.

Энергоэффективность тепломассообмена оценивалась коэффициентом полезного действия, равного отношению количества теплоты воспринимаемые водой в спиральном теплообменнике, к количеству теплоты передаваемого

от нагретого воздуха к теплообменнику в кипящем слое засыпки. Мощность электрического воздухонагревателя изменяется от 100 до 180 Вт. Для кипящего псевдоожиженного слоя с диаметром засыпки 10…20 мм характерна скорость воздуха υ = 2,5…4,2 м/с.

Коэффициент энергоэффективности тепловой установки со спиральным теплообменником кипящего типа составляет 0,49…0,61. Тогда как коэффициент энергоэффективности передачи теплоты от воздуха к воде в спиральном теплообменнике без слоя засыпки составляет лишь 0,15…0,18. Это подтверждает высокую степень энергоэффективности тепловой установки со спиральным теплообменником кипящего типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фокин В. М.* Основы энергосбережения и энергоаудита. М. : Машиностроение-1, 2006. 256 с.

2. Инженерная методика и численные результаты расчетов топки котлоагрегата с циркулирующим кипящим слоем / А. Ю. Майстренко, Б. Б. Рохман, А. И. Топал, В. Г. Выфатюк, Н. В. Чернявский // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2010. № 5. С. 6—13.

3. Пат. № 914923 Союз Советских Социалистических Республик, МПК F 28 D 13/00//, F 23 C 11/02. Теплообменник / Н. В. Антонишин, В. А. Бородуля, В. С. Никитин, О. Г. Мартынов. Заявл. 27.06.80 ; опубл. 23.03.82.

4. *Воинов А. П.* Положение котельной трубы в кипящем слое и ее внешняя эрозия // Теплоэнергетика. 2003. № 8. С. 59—61.

5. *Красных В. Ю., Королев В. Н.* Оптимизация энергетических затрат на образование псевдоожиженного слоя при сохранении высокой интенсивности внешнего теплообмена // Промышленная энергетика. 2006. № 12. С. 30—33.

6. Пат. РФ № 109838. Спиральный теплообменник кипящего слоя / В. М. Фокин, П. А. Рощин, А. В. Ковылин.

7. Пат. РФ № 109835. Тепловая установка / В. М. Фокин, П. А. Рощин, А. В. Ковылин.

1. *Fokin V. M.* Osnovy energosberezheniya i energoaudita. M. : Mashinostroenie-1, 2006. 256 s.

2. Inzhenernaya metodika i chislennye rezul'taty raschetov topki kotloagregata s tsirkuliruyushchim kipyashchim sloem / A. Yu. Maystrenko, B. B. Rokhman, A. I. Topal, V. G. Vyfatyuk, N. V. Chernyavskiy // Energotekhnologii i resursosberezhenie. 2010. № 5. S. 6—13.

3. Pat. № 914923 Soyuz Sovetskikh Sotsialisticheskikh Respublik, MPK F 28 D 13/00//, F 23 C 11/02. Teploobmennik / N. V. Antonishin, V. A. Borodulya, V. S. Nikitin, O. G. Martynov. Zayavl. 27.06.80 ; opubl. 23.03.82.

4. *Voinov A. P.* Polozhenie kotel'noy truby v kipyashchem sloe i ee vneshnyaya eroziya // *Teploenergetika. 2003. № 8. S. 59—61.*

5. Krasnykh V. Yu., Korolev V. N. Optimizatsiya energeticheskikh zatrat na obrazovanie psevdoozhizhennogo sloya pri sokhranenii vysokoy intensivnosti vneshnego teploobmena // Promyshlennaya energetika. 2006. № 12. S. 30—33.

6. Pat. RF № 109838. Spiral'nyy teploobmennik kipyashchego sloya / V. M. Fokin, P. A. Roshchin, A. V. Kovylin.

7. Pat. RF № 109835. Teplovaya ustanovka / V. M. Fokin, P. A. Roshchin, A. V. Kovylin.

© Фокин В. М., Рощин П. А., Лепилов В. И., Ковылин А. В., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Энергоэффективность тепловых установок со спиральным теплообменником кипящего типа / В. М. Фокин, П. А. Рощин, В. И. Лепилов, А. В. Ковылин // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 212—215.

УДК 621.6:62-55

Б. Н. Курицын, Н. Н. Осипова, С. А. Максимов

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕГУЛЯТОРОВ ДАВЛЕНИЯ РЕЗЕРВУАРНЫХ УСТАНОВОК СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса дросселирования влажного углеводородного газа в регуляторах давления резервуарных установок сжиженного газа, которые позволяют рекомендовать режимы безгидратной работы редуцирующих устройств.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сжиженный углеводородный газ, регуляторы давления, дросселирование, образование гидратов, теоретические и экспериментальные исследования.

The authors provide the results of theoretical and experimental research of the process of moist hydrogen gas expansion in pressure regulators of reservoir installations of liquefied gas which allow to recommend modes of nonhydrated performance of reduce devices.

K e y w o r d s: liquefied hydrogen gas, pressure regulators, expansion, formation of hydrates, theoretical and experimental research.

Для газификации коммунально-бытовых, промышленных и сельскохозяйственных потребителей, удаленных от магистралей природного газа, широкое распространение получили резервуарные системы газоснабжения на базе сжиженных углеводородных газов (СУГ).

СУГ, используемые в качестве топлива, обычно содержат в небольших количествах растворенную воду. Наличие растворенной влаги осложняет эксплуатацию резервуарных установок в холодный период времени года, вследствие образования ледяных или гидратных пробок в трубопроводной обвязке, арматуре и, особенно, в регуляторах давления газа. Указанное обстоятельство снижает надежность работы систем газоснабжения и при определенных условиях может создать аварийную ситуацию [1].

Разработка мероприятий по предупреждению кристаллизации влаги требует изучения физических процессов дросселирования влажного газа.

Рассмотрим процесс дросселирования сжиженного газа для трех фазовых состояний дросселируемого потока в *P*—*I* диаграмме [1, 2].

В качестве расчетной модели СУГ примем жидкий пропан с параметрами насыщения $P_н$ = 0,458 МПа (абс.), $t_н$ = 0 °С. Результаты соответствующего анализа представлены в табл. 1 и рис. 1.

Т а б л и ц а 1

Параметры процесса дросселирования сжиженного газа

Фазовое состояние СУГ	Параметры процесса дросселирования		
	давление *P*, МПа (абс.)	температура *t*, °С	степень сухости пара *x*
Насыщенный пар	0,458 / 0,1	0 / –4	1,0 / 1,0
Парожидкостная смесь	0,458 / 0,1	0 / –42	0,86 / 1,0
Насыщенная жидкость	0,458 / 0,1	0 / –42	0 / 0,22

Примечание: в числителе — перед дросселированием СУГ; в знаменателе — после дросселирования СУГ.

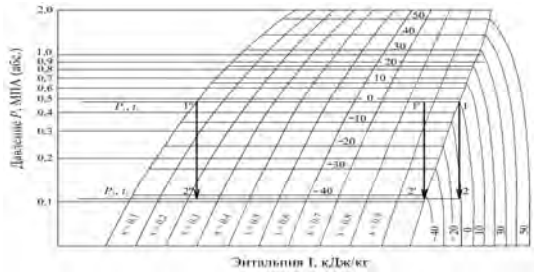


Рис. 1. Параметры состояния сжиженного газа при дросселировании в регуляторах давления: 1—2 — дросселирование насыщенного пара; 1′—2′ — дросселирование парожидкостной смеси; 1″—2″ — дросселирование насыщенной жидкости

Динамика давления и температуры сжиженного газа при его дросселировании обуславливает соответствующую динамику влагосодержания.

Максимальное влагосодержание сжиженного газа перед дросселированием однофазной среды (насыщенная жидкость $W_{ж,1}$ или насыщенный пар $W_{п,1}$) принимается по соответствующей литературе [3, 4] в зависимости от начальных параметров процесса P_1 и t_1.

При наличии парожидкостной смеси максимальное влагосодержание СУГ $W_{пж,1}$ находится по правилу аддитивности [4, 5]:

$$W_{пж,1} = W_{п,1}(t_1)x_1 + W_{ж,1}(t_1)(1 - x_1),$$

где $W_{п,1}(t_1)$, $W_{ж,1}(t_1)$ — максимальное влагосодержание паровой и жидкой фазы СУГ перед дросселированием, вес. %; x_1 — степень сухости паров перед дросселированием.

Максимальное влагосодержание СУГ после дросселирования определяется в зависимости от фазового состояния потока и конечных параметров процесса t_2 и P_2. В том числе для перегретого пара, мол. %:

$$W_{п,2} = \frac{P_{H_2O}(t_2)}{P_{СУГ}(P_2)},$$

где $P_{H_2O}(t_2)$ — максимальное давление водяного пара при конечной температуре дросселирования СУГ t_2 МПа (абс.); $P_{СУГ}(P_2)$ — давление паров СУГ в конце процесса дросселирования МПа (абс.);

$$W_{пж,2} = W_{п,2}(t_2)x_2 + W_{ж,2}(t_2)(1 - x_2).$$

Результаты соответствующих расчетов представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Максимальное влагосодержание сжиженного газа при его дросселировании, вес. %

Фазовое состояние СУГ перед дросселированием		
насыщенный пар	парожидкостная смесь	насыщенная жидкость
0,051 / 0,182	0,018 / 0,0024	0,0023 / 0,0007

Примечание: в числителе — перед дросселированием СУГ; в знаменателе — после дросселирования СУГ.

Таблица 3

Значения начального и конечного влагосодержания пропана при дросселировании в регуляторе давления

Влагосодержание пропана, %	Насыщенный пар	Парожидкостная смесь	Насыщенная жидкость
Начальное	0,125	0,0056	0,051
Конечное	0,445	0,0016	0,006

Как видно из табл. 3, дросселирование насыщенных (перегретых) паров пропана, при условии их полного водонасыщения, сопровождается увеличением влагосодержания газа. Отсутствие в потоке газа свободной воды исключает образование твердой фазы воды (льда или гидратов). Дросселирование насыщенной жидкости и парожидкостной смеси при условии их полного водонасыщения сопровождается снижением влагоемкости потока. Как следствие в дросселирующем органе регулятора выделяется свободная вода, которая в области отрицательных температур замерзает, а при положительных температурах образует гидраты.

С целью проверки достоверности выводов, полученных в результате анализа теоретического материала, были проведены экспериментальные исследования на лабораторной установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 2.

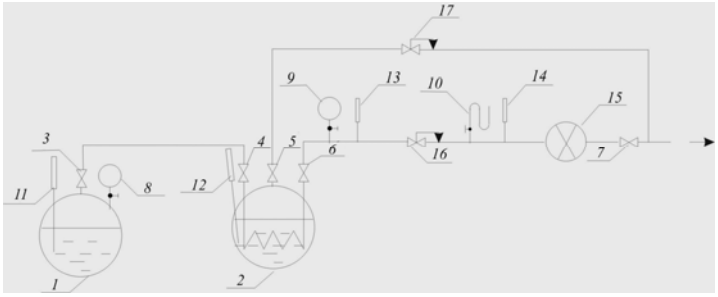


Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки: *1* — расходная емкость; *2* — промежуточный теплообменник; *3*, *4*, *5*, *6*, *7* — вентили; *8*, *9* — пружинные манометры; *10* — *U*-образный манометр; *11*, *12*, *13*, *14* — термометры; *15* — газовый счетчик; *16*, *17* — регуляторы

Основными элементами установки являлись два 5-литровых баллона: расходная емкость *1* и промежуточный теплообменник *2*, соединенные дюритовыми шлангами. Схема включала также узлы для установки манометров *8*, *9*, *10* и термометров *11*, *12*, *13*, *14*, регуляторы давления *16*, *17* и газовый счетчик *15*. Эксперимент проводился при открытых вентилях *3*, *4*, *5*, *6*, *7*. Паровая фаза из расходного баллона подавалась в промежуточный теплообменник, где в зависимости от потребности опыта перегревалась или конденсировалась. Затем перегретые пары или парожидкостная смесь поступали в регулятор давления *16* и после дросселирования сбрасывались в атмосферу. Генерация пара в расходном баллоне осуществлялась по принципу естественной регазификации (за счет теплообмена между сжиженным газом и окружающим воздухом). При высоких температурах сжиженного газа прово-

дился обогрев баллона горячей водой с помощью водяной ванны. Необходимая температура газа в баллоне обеспечивалась соответствующим отбором паров с помощью вентиля *3*.

В качестве промежуточного теплообменника использовался 5-литровый баллон с вмонтированным змеевиком. В процессе испытаний баллон заполнялся сжиженным газом, который использовался в качестве теплоподводящей (теплоотводящей) среды. Степень сухости исследуемых паров регулировалась путем изменения температуры среды в промежуточном теплообменнике.

Необходимая температура среды в теплообменнике достигалась соответствующим сбросом паровой фазы СУГ в атмосферу с помощью вентиля *5*. Степень перегрева исследуемых паров регулировалась также путем изменения температуры среды в промежуточном теплообменнике вентилем *5*. При этом сброс паровой фазы СУГ дополнялся обогревом баллона горячей водой с помощью водяной ванны.

В качестве объекта испытаний использовался серийно выпускаемый регулятор давления сжиженного газа РДГБ-6. В целях более четкой фиксации процесса кристаллизации воды в регуляторе применялись съемные сопла уменьшенного размера (1 мм).

В эксперименте использовался сжиженный газ следующего исходного состава (мольных %): 1,9 % — этан, 82,8 % — пропан, 14,7 % — бутан, 0,6 % — пентан. Рабочие смеси с различным содержанием пропана и бутана приготовлялись путем фракционного испарения исходного газа на специальной установке.

Исследования проводились в условиях полного насыщения сжиженного газа водой. С этой целью в расходный баллон перед его заправкой заливалось 50…70 мл воды. В процессе эксперимента для надежного контакта воды с паровой и жидкой фазой СУГ содержимое баллона периодически взбалтывалось. Во время испытаний замерялись следующие параметры: температура $t_{бал}$ и давление $P_{бал}$ сжиженного газа в расходном баллоне, температура $t_р$ и давление $P_р$ газа на входе в регулятор, давление за регулятором. Для измерения высокого давления газа применялись пружинные манометры *8, 9* МТ-160 класса 1,5. Низкое давление газа (300 даПа) измерялось водяным *U*-образным манометром *10*. Для измерения температуры газа использовались ртутные термометры ТЛ-2 № 1 *11, 12, 13, 14* с ценой деления 0,1 °С. Исследования проводились при среднем расходе газа 0,1 $м^3$/ч. Расход газа контролировался по счетчику ГСБ-400 *15*.

Замеры показаний приборов снимались с периодичностью в 2…3 минуты и фиксировались по выходу установки на стационарный режим. В качестве стационарного принимался такой режим эксплуатации, когда на протяжении 4-5 соседних замеров показания приборов отличались не более чем на 5 %.

Образование в регуляторе ледяных (гидратных) пробок фиксировалось по показаниям *U*-образного манометра *10* (пульсации с последующим снижением давления газа до нуля). Наличие твердой фазы воды в регуляторе контролировалось также визуально. С этой целью экспериментальный регулятор давления *16* отсоединялся от коммуникаций и проводилась его разборка. Во всех опытах причиной снижения давления за регулятором являлась кристаллизация

влаги в дросселирующем органе (сопло и зазор между соплом и клапаном). Последующее разложение ледяных (гидратных) пробок под воздействием температуры окружающего воздуха сопровождалось образованием капелек влаги.

Экспериментальные значения исследуемых параметров принимались осредненно по результатам 4-5 измерений для каждого опыта. При обработке результатов эксперимента использовались соответствующие расчетные зависимости. По известной температуре $t_{бал}$ и давлению сжиженного газа $P_{бал}$ в расходном баллоне содержание пропана в жидкой $\psi_ж$ и паровой $\psi_п$ фазах СУГ определялось по диаграммам состояния [5].

Начальная степень сухости парожидкостной смеси x_1 на входе в регулятор давления находилась по формуле [5]

$$x_1 = P_р\left(\frac{\psi_п}{Д} + \frac{1-\psi_п}{Е}\right);$$

$$Д = P_р - 10^{A_б - \frac{B_б}{C_б + t_р}};$$

$$Е = P_р - 10^{A_{пр} - \frac{B_б}{C_{пр} + t_р}},$$

где $P_р$ — давление газа перед регулятором, МПа (абс.); $A_{пр}$, $A_б$, $B_{пр}$, $B_б$, $C_{пр}$, $C_б$ — эмпирические коэффициенты для пропана и н-бутана; $t_р$ — температура газа перед регулятором, °С [5].

Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 4.

Таблица 4

Сводная таблица экспериментальных данных

Температура газа в баллоне $t_{бал}$, °С	Давление газа в баллоне $P_{бал}$, МПа (абс.)	Состав газа, мол.% пропана		Температура газа перед регулятором $t_{бал}$, °С	Давление газа перед регулятором $P_р$, МПа (абс.)	Степень сухости СУГ перед регулятором x	Наличие твердой фазы воды в регуляторе
		жидкая фаза $\psi_ж$	паровая фаза $\psi_п$				
Паровая фаза СУГ							
–10,5	0,26	75,0	93,8	–8,8	0,26	1,0	—
–10,3	0,29			–5,4	0,28	1,0	—
–9,8	0,27			14,8	0,26	1,0	—
0,8	0,28	49,3	87,6	1,3	0,27	1,0	—
0,4	0,26			9,8	0,26	1,0	—
0,1	0,29			15,2	0,28	1,0	—
Парожидкостная смесь СУГ							
–10,2	0,171	35,7	73,5	–11,03	0,17	0,94	+
–10,4	0,169			–17,61	0,169	0,47	+
–9,9	0,173			–23,90	0,172	0	+

Окончание табл. 4

Температура газа в баллоне $t_{бал}$,°С	Давление газа в баллоне $P_{бал}$, МПа (абс.)	Состав газа, мол.% пропана		Температура газа перед регулятором $t_{бал}$, °С	Давление газа перед регулятором $P_р$, МПа (абс.)	Степень сухости СУГ перед регулятором x	Наличие твердой фазы воды в регуляторе
		жидкая фаза $\psi_ж$	паровая фаза $\psi_п$				
0,3	0,34	63,2	89,2	–1,78	0,34	0,75	+
0,5	0,33			–2,65	0,33	0,63	+
0,7	0,34			–6,78	0,34	0,14	+
20,3	0,74	84,6	95,7	20,09	0,72	0,95	+
20,6	0,77			18,02	0,76	0,44	+
20,1	0,76			16,0	0,76	0	+

Анализ результатов эксперимента, проведенного в широком диапазоне измерений определяющих параметров: температура газа $t_{бал} = -10…+20$ °С, состав газа $\psi_ж = 35…85$ мол.% пропана, степень сухости парожидкостной смеси $x = 0…1$, подтверждает важный качественный вывод, сделанный при анализе результатов теоретических исследований: образование ледяных и гидратных пробок в регуляторе давления происходит только при дросселировании насыщенной жидкости или парожидкостной смеси СУГ. Дросселирование насыщенных или перегретых паров СУГ кристаллизации растворенной влаги не вызывает.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Никитин Н. И.* Снабжение сжиженным газом объектов жилищно-коммунального и сельского хозяйства. — М. : Стройиздат, 1976. — 104 с.

2. *Павлович Н. В.* Справочник по теплофизическим свойствам природных газов и их компонентов. — М. : Госэнергоиздат, 1962. — 119 с.

3. *Рубинштейн С. В., Щуркин Е. П.* Газовые сети и оборудование для сжиженных газов. — Л. : Недра, 1991. — 252 с.

4. *Стаскевич Н. Л., Вигдорчик Д. Я.* Справочник по сжиженным углеводородным газам. — Л. : Недра, 1986. — 543 с.

5. *Курицын Б. Н.* Системы снабжения сжиженным газом : учеб. пособие. — Саратов : СПИ, 1992. — 196 с.

1. *Nikitin N. I.* Snabzhenie szhizhennym gazom ob"ektov zhilishchno-kommunal'nogo i sel'skogo khozyaystva. — M. : Stroyizdat, 1976. — 104 s.

2. *Pavlovich N. V.* Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam prirodnykh gazov i ikh komponentov. — M. : Gosenergoizdat, 1962. — 119 s.

3. *Rubinshteyn S. V., Shchurkin E. P.* Gazovye seti i oborudovanie dlya szhizhennykh gazov. — L. : Nedra, 1991. — 252 s.

4. *Staskevich N. L., Vigdorchik D. Ya.* Spravochnik po szhizhennym uglevodorodnym gazam. — L.: Nedra, 1986. — 543 s.

5. *Kuritsyn B. N.* Sistemy snabzheniya szhizhennym gazom : ucheb. posobie. — Saratov : SPI, 1992. — 196 s.

© Курицын Б. Н., Осипова Н. Н., Максимов С. А., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Курицын Б. Н., Осипова Н. Н., Максимов С. А. Особенности эксплуатации регуляторов давления резервуарных установок сжиженного углеводородного газа // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 216—221.

УДК 699.86

Н. М. Пащенко, В. М. Фокин, Д. Г. Усадский

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОБЪЕКТАХ СТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИК ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ

Описаны основы тепловизионного обследования строительных объектов с целью определения характерных областей тепловых потерь для разработки ресурсосберегающих мероприятий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ресурсосбережение, тепловизионное обследование, тепловые потери.

The basis of thermovision examination of construction objects in order to define characteristic areas of thermal losses for the development of resource-saving measures are described in the article.

K e y w o r d s: resource-saving, thermovision examination, thermal losses.

Для обеспечения ресурсосбережения на объектах строительства в настоящее время широко применяются неразрушающие методы контроля теплотехнических параметров ограждающих конструкций [1]. Одним из таких методов является тепловизионное обследование. Оно основано на определении сопротивления теплопередаче в реперной зоне и дистанционном измерении тепловизором температуры поверхностей ограждающих конструкций, между внутренними и наружными поверхностями которых имеется температурный перепад, и вычислении сопротивления теплопередаче участков наружных ограждающих конструкций [2].

Тепловизионному контролю подвергают наружные и внутренние поверхности ограждающих конструкций [3]. По термограммам наружной поверхности ограждающих конструкций выявляют участки с повышенной температурой, которые затем подвергают детальному обследованию с внутренней стороны ограждающих конструкций.

Тепловизионное обследование необходимо проводить при наружной температуре, близкой к среднесуточной. Оптимальное время для тепловизионной съемки — поздний вечер (21…24 ч) или утро (10…12 ч).

Тепловизионное обследование необходимо проводить при отсутствии атмосферных осадков, тумана, смога и задымленности. Обследуемые поверхности должны быть очищены от грязи, плесени, наледи, снега и других налетов, не свойственных материалам исследуемых конструкций. Обследуемые поверхности не должны подвергаться в процессе измерений воздействию прямого и отраженного солнечного облучения, а также отопительных приборов. Основной трудностью при дистанционном измерении температуры является определение степени черноты поверхности.

Перед началом тепловизионной съемки необходимо произвести настройку тепловизора в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Перед съемкой измеряется температура в центре помещения и на расстоянии 10 см от поверхности наружных стен, а также температура наружного воздуха.

Термографирование проводится последовательно по предварительно намеченным участкам с покадровой записью термограмм в компьютер и одновременной фотосъемкой этих участков цифровой камерой.

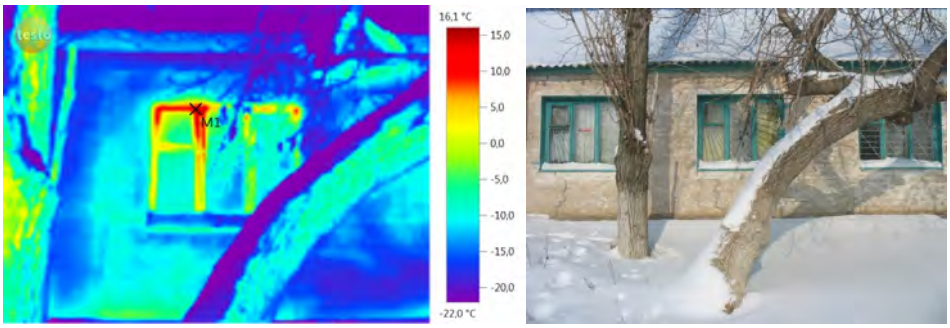
Термографирование стены по возможности производят в перпендикулярном направлении к стене. Возможные отклонения от этого направления не должны превышать 30°. Измерения по возможности должны производиться с фиксированного расстояния.

Результаты визуально-инструментальных наблюдений и информация о термографировании заносятся в журнал.

Завершающим этапом обследования является проверка количества и качества собранной информации.

Тепловизионное обследование позволяет определить участки наружных ограждающих конструкций с повышенной температурой, т. е. те участки наружных ограждающих конструкций, где происходят потери теплоты.

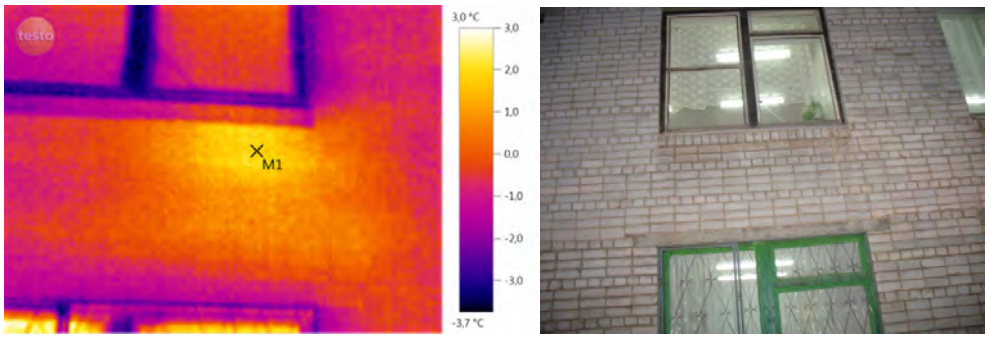
Ниже приведены характерные теплопотери ограждающих конструкций, которые определены при помощи тепловизионной съемки (рис. 1—5).



№	Темп., °C	Излуч.	Отраж. темп., °C
M1	16	0,95	20,0

Рис. 1. Наружное окно здания

Температура в точке M1 равна 16 °C, при температуре на остальной поверхности окна здания до –22 °C. Этот факт говорит о том, что через ограждающие конструкции в области точки M1 происходят потери теплоты, так как окна физически устарели и не имеют тепловой изоляции.

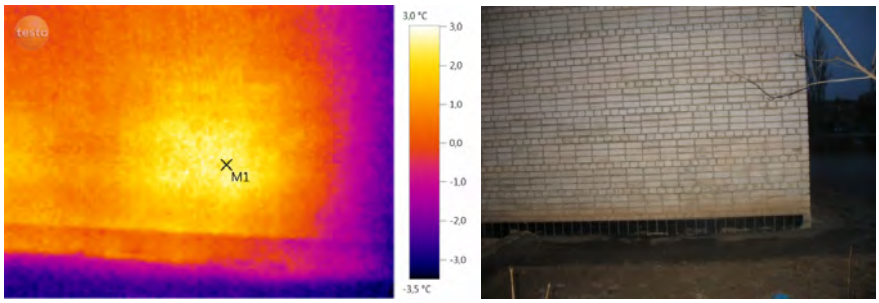


№	Темп., °C	Излуч.	Отраж. темп., °C
M1	2,6	0,95	20,0

Рис. 2. Наружная стена здания

Температура в точке M1 равна 2,6 °C, при температуре на остальной поверхности наружных стен здания до –3,7 °C. Этот факт говорит о том, что через ограждающие конструкции в области точки M1 происходят потери

теплоты, так как в этом месте установлен радиатор отопления и стены имеют плохую тепловую изоляцию.



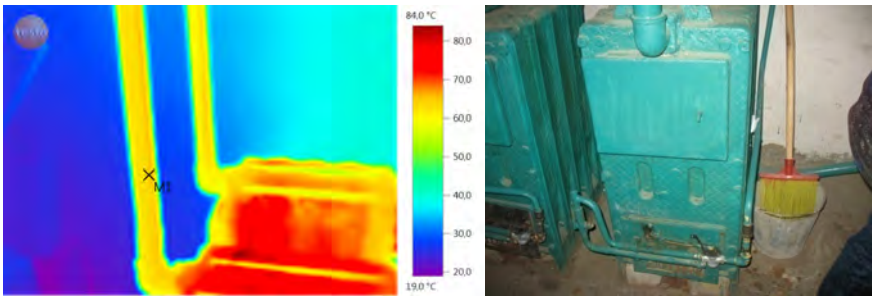
№	Темп., °C	Излуч.	Отраж. темп., °C
M1	3	0,95	20,0

Рис. 3. Наружная стена здания

Температура в точке M1 равна 3 °C, при температуре на остальной поверхности наружных стен здания до –3,5 °C. Этот факт говорит о том, что через ограждающие конструкции в области точки M1 происходят потери теплоты, так как в этом месте установлен радиатор отопления и стены имеют плохую тепловую изоляцию.

Качественное энергетическое обследование не возможно без тепловизионной съемки, именно она позволяет определить участки повышенных тепловых потерь и правильно разработать первоочередные мероприятия по энергосбережению [4]. К примеру, в зданиях это может быть замена окон и дверей на энергосберегающие, установка теплоотражающих экранов за радиаторами отопления, утепление стен, подвала, чердака и т. д.

Очень важна тепловизионная съемка также в тепловых сетях и котельных, и даже в электрических сетях. В тепловых сетях и котельных тепловизионная съемка позволяет определить участки сетей и трубопроводов, которые нуждаются в тепловой изоляции.

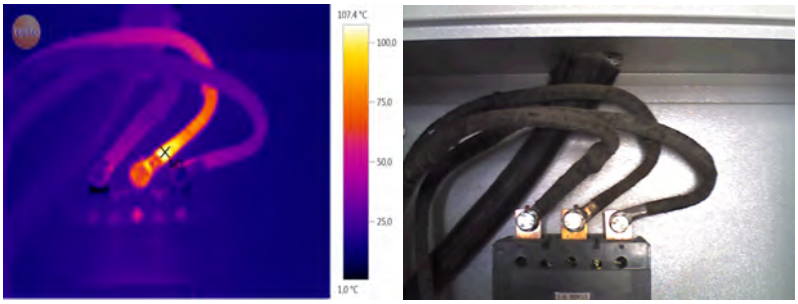


№	Темп., °C	Излуч.	Отраж. темп., °C
M1	70	0,95	20,0

Рис. 4. Отопительный газовый котел

Температура в точке M1 равна +70 °C, при температуре воздуха до +19,5 °C. Этот факт говорит о том, что через поверхности трубопроводов происходят потери теплоты из-за высокой температуры теплоносителя и отсутствия тепловой изоляции.

В электрических же сетях она позволяет определить нагрев контактных, болтовых соединений, шлейфов, бандажей и т. д. Это дает возможность без остановки и вывода в ремонт трансформаторных подстанций и линий получить достоверную информацию о состоянии участков электрических сетей.



№	Темп., °C	Излуч.	Отраж. темп., °C
M1	104,1	0,95	20,0

Рис. 5. Ввод электроэнергии

Температура в точке M1 равна +104,1 °C. Это говорит о том, что необходимо произвести перетяжку болтового соединения, чтобы избежать потерь электроэнергии на нагрев и ускоренного износа кабелей.

Таким образом, выявление характерных областей тепловых потерь при помощи тепловизионного обследования позволяет получить полную картину тепловых потерь строительного объекта или оборудования и разработать первоочередные мероприятия по энергосбережению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фокин В. М.* Основы энергосбережения и энергоаудита. — М. : Издательство «Машиностроение-1», 2006. 256 с.

2. СНиП 23-01—99*. Строительная климатология. — М., 1999.

3. ГОСТ 26629—85. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. — М., 1985. — 16 с.

4. МДК 1-01.2002. Методические указания по проведению энергоресурсоаудита в жилищно-коммунальном хозяйстве. — М., 2002.

1. *Fokin V. M.* Osnovy energosberezheniya i energoaudita. — M. : Izdatel'stvo «Mashinostroenie-1», 2006. 256 s.

2. SNiP 23-01—99*. Stroitel'naya klimatologiya. — M., 1999.

3. GOST 26629—85. Metod teplovizionnogo kontrolya kachestva teploizolyatsii ograzhdayushchikh konstruktsiy — M., 1985. — 16 s.

4. MDK 1-01.2002. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu energoresursoaudita v zhilishchno-kommunal'nom khozyaystve. — M., 2002.

© Пащенко Н. М., Фокин В. М., Усадский Д. Г., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Пащенко Н. М., Фокин В. М., Усадский Д. Г. Разработка ресурсосберегающих мероприятий на объектах строительства с использованием методик тепловизионного контроля // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 222—225.

УДК 699.86:697.133

Д. Г. Усадский, Н. М. Пащенко, В. М. Фокин, А. В. Ковылин

ТЕПЛОВОЙ МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ НАУЧНОМ ОБОСНОВАНИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Приведено описание теплового метода неразрушающего контроля ограждающих конструкций объектов строительства. Указаны практические особенности метода.

К л ю ч е в ы е с л о в а: тепловой метод неразрушающего контроля.

The description of a thermal method of nondestructive control of protecting envelopes of construction objects is provided. Practical features of the method are specified.

K e y w o r d s: thermal method of nondestructive control.

Решение задачи по оценке технического состояния ограждающих конструкций зданий и сооружений в значительной степени зависит от внедрения эффективных методов инструментального контроля и, в частности, теплового метода неразрушающего контроля.

Тепловизионный контроль качества теплозащиты зданий и сооружений используется для контроля состояния ограждающих конструкций по окончании строительства, а также в период эксплуатации. Он отличается оперативностью, наглядностью метода и достоверностью полученных результатов. Метод позволяет выявить нарушения теплозащиты ограждающих конструкций, возникшие в результате следующих причин:

1) нарушение технологии изготовления строительных материалов, правил складирования, перевозки и т. п.;

2) ошибки и нарушения при строительстве зданий;

3) неправильный режим эксплуатации.

Перечисленные факторы приводят к преждевременному снижению теплозащитных свойств в отдельных местах ограждающих конструкций в результате воздействия погодных (ветер, атмосферные осадки) и естественно-климатических (циклы тепло-холод-тепло, влажность) условий. Это, в свою очередь, приводит к ухудшению микроклимата внутри зданий и перерасходу топлива.

Современные тепловизионные системы позволяют быстро и точно выявить участки с повышенными теплопотерями и определить их границы. Количественная оценка обнаруженного дефекта производится в лабораторных условиях с использованием современной программной продукции и традиционного математического аппарата.

Необходимо заметить, что физическая сторона явлений, происходящих при излучении и распространении тепла поверхностями ограждающих строительных конструкций, достаточно хорошо изучена и описана в перечисленной ниже литературе [1—3]. Относительно требований к термографии зданий и сооружений, а также порядку ее проведения существует соответствующий ГОСТ.

Практическое применение различных тепловизионных систем для обследования зданий и сооружений позволяет сделать вывод о том, что тепловизоры для термографии зданий и сооружений должны отвечать требованиям:

1) диапазон измеряемых температур: –20…+30 °С;

2) предел температурной чувствительности: 0,5 °С;

3) диапазон рабочих температур: –15…+40 °С;

4) возможность применения сменных объективов, угол обзора: 7…20°;

5) число элементов в строке × число элементов в кадре, не менее: 100 × 100;

6) возможность получения значения температуры, °С, на экране дисплея тепловизора или переносного компьютера непосредственно на месте съемки;

7) возможность записи термоизображения на видеомагнитофон или иной магнитный носитель информации.

Кроме тепловизора, для обследования зданий и сооружений необходимо следующее оборудование:

1) прибор для контактного измерения температуры с погрешностью не более 0,5 °С;

2) чашечный анемометр (прибор для определения скорости ветра);

3) штатив;

4) измерительная рулетка (более 10 м);

5) ртутный термометр для измерения температуры окружающего воздуха;

6) преобразователь теплового потока;

7) желательно иметь ИК-пирометр.

Термографию зданий и сооружений следует проводить в отопительный сезон, так как при этом перепад температур будет максимально возможным. Необходимо отсутствие осадков, поверхность обследуемых зданий должна быть свободна от инея. Условия тепловой инерции материалов конструкций при термографии наружной части здания требуют, чтобы обследуемый объект не находился на солнце в течение 12 часов, предшествовавших съемке. Лучше проводить измерения утром, в пасмурную погоду. При инфракрасной съемке внутри помещений следует особое внимание обратить на экранирование источников света и тепла (ламп накаливания, отопительных радиаторов), расположенных вблизи объекта термографии.

При ветреной погоде необходимо осуществлять корректировку измеренных значений температур. По возможности следует выбирать безветренные дни. Сила и направление ветра оказывают существенное влияние на теплопотери воздухопроницанием и теплопотери конвекцией с наружной поверхности.

Все значения температур, определенных при помощи тепловизионного обследования, должны быть предварительно скорректированы с учетом излучательной способности объекта. Большинство современных тепловизоров делают эту коррекцию автоматически, достаточно ввести значение излучательной способности измеряемой поверхности. Значения излучательной способности для основных строительных материалов приведены в различной справочной литературе. Однако следует помнить, что они предназначены для использования только в качестве ориентира, так как зависят не только от температуры материала, но и от спектральной чувствительности используемого прибора. В связи с этим рекомендуется излучательную способность исследуемой поверхности определять для каждого обследуемого объекта непосредственно на месте съемки.

Для этого контактным термометром определяют истинную температуру объекта, а затем вводят в процессор тепловизора все новые значения излучательной способности, добиваясь равенства измеренных температур при помощи тепловизора и контактного термометра.

Установленное при достижении указанного равенства значение излучательной способности и будет являться истинной излучательной способностью объекта. Необходимо иметь ввиду, что ошибка в измерении температуры от неверного определения излучательной способности зависит от используемого ИК-диапазона и температуры объекта съемки. При температуре около 0 °С эта погрешность незначительна (около нуля), но она возрастает с понижением температуры объекта и достигает нескольких градусов на ошибку в 0,1 при температуре объекта –20 °С. Просмотрев поверхность исследуемого здания и записав ее термоизображение на носитель информации, выбирают базовый участок, размером больше двух толщин ограждающей конструкции и имеющий равномерное температурное поле. Этот участок должен быть выполнен из тех же стройматериалов и иметь ту же конструкцию, что и исследуемая поверхность с температурными аномалиями. Его температурное поле должно соответствовать минимальному выходному сигналу тепловизора для исследуемого объекта. Сравнивая термоизображение ограждающей конструкции и базового участка, выявляют места с повышенными теплопотерями. Температура наружной поверхности таких участков превышает температуру базового участка, как минимум, на величину цены деления шкалы тепловизора.

Базовый участок и места с температурными аномалиями подвергаются детальной термографии уже с минимально возможного расстояния снаружи и внутри зданий, там же измеряется температура окружающего воздуха. Необходимо визуально осмотреть этот участок, чтобы определить, не является ли его тепловая картина следствием, например, локального загрязнения и соответственно изменения излучательной способности. По окончании съемки должны быть измерены и записаны для каждого аномального и базового участков следующие величины:

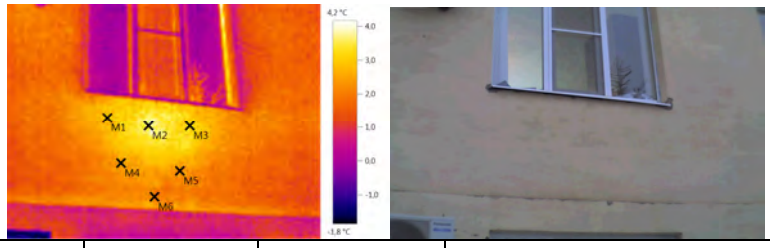
1) температура наружного воздуха;
2) скорость ветра;
3) наружная температура на поверхности исследуемого участка;
4) температура внутренней поверхности исследуемого участка;
5) температура окружающего воздуха внутри здания;
6) температурный диапазон и уровень в момент съемки;
7) угол зрения используемого объектива;
8) расстояние до исследуемой поверхности;
9) излучательная способность поверхности объекта;
10) тепловой поток через исследуемый участок, если такие измерения проводились;
11) распределение температур по элементам системы отопления в обследуемом секторе здания.

Можно выделить три основные задачи при обработке термоизображений зданий и сооружений:

1. Определение участков ограждающих конструкций с повышенными теплопотерями согласно указаниям соответствующих СНиП и ГОСТ. Здесь

рассчитываются сопротивления теплопередаче для базового и других характерных участков и сравниваются с требуемым значением. Уже на этом этапе необходимо разделить ограждающую конструкцию на стену, окна и цоколь и в дальнейшем для каждой из этих поверхностей производить отдельные вычисления сопротивления теплопередаче, выявление базового участка, расчет теплопотерь и экономический ущерб.

Пример тепловизионной съемки приведен на рис.1.



№	Темп., °С	Излуч.	Отраж. темп., °С
M1	2,8	0,95	20,0
M2	3,5	0,95	20,0
M3	3,2	0,95	20,0
M4	2,3	0,95	20,0
M5	2,4	0,95	20,0
M6	2,0	0,95	20,0

Рис.1. Пример тепловизионной съемки

2. Определяются удельные теплопотери q, Вт/м^2, для всех характерных участков.

3. Определение экономического ущерба от выявленных тепловых аномалий:

а) определение площади участков с повышенными теплопотерями;

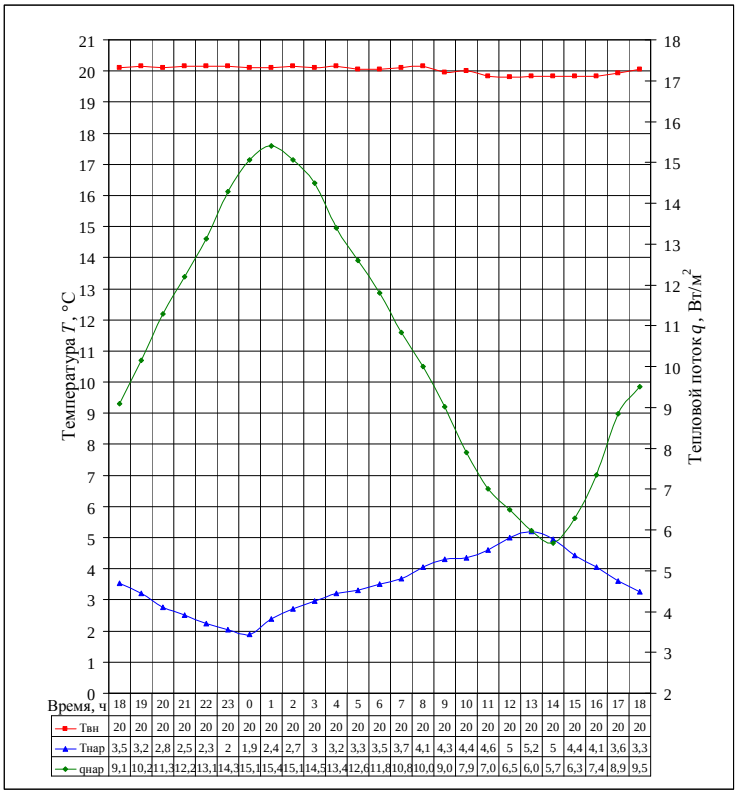
б) определение избыточных теплопотерь через эти участки;

в) определение количества и стоимости перерасходованных энергоносителей.

Плотность теплового потока при определении сопротивления теплопередаче конструкции необходимо измерять непосредственно при обследовании зданий. Делать это необходимо, в соответствии с требованиями ГОСТ 25380—82 [4], преобразователем теплового потока ИТП-11 или аналогичным (приборы по ГОСТ 7076—78 [5]). Длительность измерений с наружной стороны ограждающих конструкций определяется тепловой инерцией последних (до 15 суток). Согласно прил. 3 из ГОСТ 26254—84 [6] определяется диапазон температур наружного воздуха, при котором погрешность таких измерений будет минимальна.

Для уменьшения погрешности из-за тепловой инерции измерения теплового потока проводят, как правило, с внутренней стороны ограждающих конструкций. С наружной стороны такие измерения производят в случаях сохранения устойчивой температуры на поверхности и невозможности проведения измерений внутри. Воздушные зазоры между датчиками и поверхностью не допускаются. Шероховатости устраняются, датчики укрепляют на термопроводную пасту.

Пример графика распределения температуры и тепловых потоков приведен на рис. 2.



Время, ч	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Твн	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Тнар	3,5	3,2	2,8	2,5	2,3	2	1,9	2,4	2,7	3	3,2	3,3	3,5	3,7	4,1	4,3	4,4	4,6	5	5,2	5	4,4	4,1	3,6	3,3
qнар	9,1	10,2	11,3	12,2	13,1	14,3	15,1	15,4	15,1	14,5	13,4	12,6	11,8	10,8	10,0	9,0	7,9	7,0	6,5	6,0	5,7	6,3	7,4	8,9	9,5

Рис. 2. График распределения температуры и тепловых потоков

По известным удельным тепловым потокам через аномальные участки вычисляют полный тепловой поток, путем умножения на площадь этого участка. Полученное значение позволяет определить избыточные теплопотери за счет наличия участков с повышенными теплопотерями, перерасход топлива, и в итоге — экономический ущерб.

Приведенная выше методика не учитывает теплопотери воздухопроницанием. Определить теплопотери воздухопроницанием через ограждающие конструкции достаточно трудно. Данное явление связано с переносом вещества. Таким образом, в настоящее время достоверно возможно определить только теплопотери через ограждающие конструкции за счет теплового потока. Эти теплопотери будут несколько меньше действительных из-за теплопотери воздухопроницанием.

При практической термографии следует иметь ввиду, что участки с повышенным воздухопроницанием — это предельный случай участка с повышенными теплопотерями, когда термическое сопротивление равно нулю. Процесс воздухопроницания зависит от разности давлений, температур, ориентации здания относительно сторон света, направления и силы ветра. При обследовании здания важно выявить такие места, что легко осуществляется при тепловизионной съемке и ликвидировать их (заклейка окон, герметизация швов).

Тепловой метод неразрушающего контроля в настоящее время получил широкое распространение. Многие предприятия организовали у себя диагностические лаборатории, оснастив их современными тепловизионными системами. Поэтому необходимо как можно шире использовать возможности этих систем, расширяя диапазон контролируемых объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фокин В. М.*, *Ковылин А. В.*, *Чернышов В. Н.* Энергоэффективные методы определения теплофизических свойств строительных материалов и изделий. — М. : Издательский дом «Спектр», 2011. — 156 с.

2. *Фокин В. М.*, *Усадский Д. Г.* Пароконденсатные нагреватели в автономных системах отопления. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. — 72 с.

3. *Фокин В. М.* Основы энергосбережения и энергоаудита. — М. : Издательство «Машиностроение-1», 2006. — 256 с.

4. ГОСТ 25380—82 (1987). Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции. — М. : Изд-во стандартов, 1987. — 9 с.

5. ГОСТ 7076—78. Материалы строительные. Методы определения коэффициента теплопроводности. — М., 1976.

1. *Fokin V. M.*, *Kovylin A. V.*, *Chernyshov V. N.* Energoeffektivnye metody opredeleniya teplofizicheskikh svoystv stroitel'nykh materialov i izdeliy. — M. : Izdatel'skiy dom «Spektr», 2011. — 156 s.

2. *Fokin V. M.*, *Usadskiy D. G.* Parokondensatnye nagrevateli v avtonomnykh sistemakh otopleniya. — Volgograd : VolgGASU, 2012. — 72 s.

3. *Fokin V. M.* Osnovy energosberezheniya i energoaudita. — M. : Izdatel'stvo «Mashinostroenie-1», 2006. — 256 s.

4. GOST 25380—82 (1987). Zdaniya i sooruzheniya. Metod izmereniya plotnosti teplovykh potokov, prokhodyashchikh cherez ograzhdayushchie konstruktsii. — M. : Izd-vo standartov, 1987. — 9 s.

5. GOST 7076—78. Materialy stroitel'nye. Metody opredeleniya koeffitsienta teploprovodnosti. — M., 1976.

© Усадский Д. Г., Пащенко Н. М., Фокин В. М., Ковылин А. В., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Тепловой метод неразрушающего контроля ограждающих конструкций при научном обосновании энергоэффективных строительных систем / Д. Г. Усадский, Н. М. Пащенко, В. М. Фокин, А. В. Ковылин // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 226—231.

УДК 536.24

А. В. Ковылин, А. В. Попова, В. М. Фокин

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕКЛОПАКЕТА

Приведена принципиальная схема прибора ИТП-МГ4 «Поток», предназначенного для определения коэффициента теплопроводности и термического сопротивления твердых строительных материалов, а также материалов, предназначенных для ограждений зданий. Показано распределение температуры поверхности оконного стекла от времени нагрева.

К л ю ч е в ы е с л о в а: теплофизические свойства, стекло, удельный тепловой поток, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, объемная теплоемкость, коэффициент теплоусвоения, термическое сопротивление, тепловая инерция.

The authors suggest basic scheme of the “Stream” ITP-MG4 device used for determination of coefficient of heat conduction and thermal resistance of solid construction materials, as well as materials used for enclosures of buildings. Temperature distribution of the surface of a window pane depending on heating time is shown.

K e y w o r d s: thermophysical properties, glass, specific current stream, heat conduction coefficient, temperature conductivity coefficient, volume heating capacity, heat absorption coefficient, thermal resistance, thermal inertia.

Для экспериментального определения теплофизических свойств (ТФС) ограждений зданий из стекла выбирается стеклопакет толщиной δ. Используя переносной тепломер, устанавливаются датчики температур и теплового потока, выполняются замеры плотности теплового потока на поверхности ограждения здания из стекла в течение суток, а также температуры на наружной и внутренней поверхности стеклопакета [1].

Для определения коэффициента теплопроводности λ, объемной удельной теплоемкости $c\rho$ и коэффициента температуропроводности a замеряется расстояние δ между датчиками температур на поверхностях стеклопакета. Датчиками температур замеряются температуры на наружной и внутренней поверхности стеклопакета в течение суток. Измерителем тепловых потоков ИТП-МГ4 «Поток» или ИТП «Теплограф» замеряется плотность теплового потока в течение суток. Выявляется максимальная плотность теплового потока $q_{\text{п}}^{\max}$ на наружной поверхности стеклопакета и для этого периода времени определяется разность температур между внутренней $T_{\text{п1}}$ и наружной $T_{\text{п2}}$ поверхностью стеклопакета [2].

Схема установки датчиков температур и теплового потока на наружных поверхностях стеклопакета приведена на рис. 1.

Используя закон теплопроводности Фурье, определяется коэффициент теплопроводности стеклопакета по формуле [3]

$$\lambda = \left(q_{\text{п}}^{\max}\delta\right)/\left(T_{\text{п2}} - T_{\text{п1}}\right), \text{ Вт/(м·К)}. \quad (1)$$

Максимальная амплитуда колебаний температурной полуволны на наружной поверхности стеклопакета определяется по формуле

$$\vartheta_{\text{п}}^{\max} = 0{,}5\left(T_{\text{п1}}^{\max} - T_{\text{п1}}^{\min}\right), \tag{2}$$

где $T_{\text{п1}}^{\max}$, $T_{\text{п1}}^{\min}$ — максимальная и минимальная температуры на наружной поверхности стеклопакета по амплитуде колебаний в течение суток.

Коэффициент теплоусвоения стеклопакета определяется по формуле

$$B = q_{\text{п}}^{\max} / \vartheta_{\text{п}}^{\max},\ \text{Вт}/\left(\text{м}^2 \cdot \text{К}\right). \tag{3}$$

Коэффициент теплоусвоения определяется из выражения

$$B = \sqrt{\lambda (c\rho)\omega},$$

где $c\rho$ — объемная теплоемкость материала; $\omega = 2\pi/z$ — частота колебаний температуры; z — полный период колебаний температурной волны.

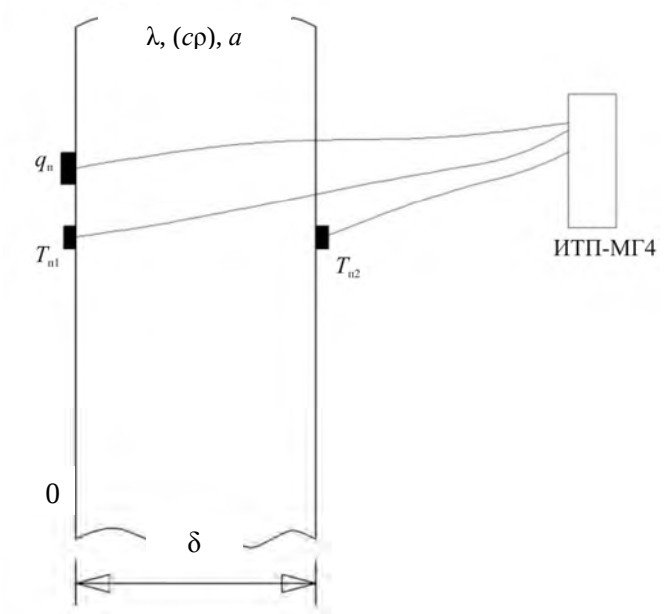


Рис. 1. Схема установки датчиков температур и теплового потока на наружных поверхностях стеклопакета: $T_{\text{п1}}$ — температуры на наружной поверхности стеклопакета; $T_{\text{п2}}$ — температуры на внутренней поверхности стеклопакета; $q_{\text{п}}$ — удельный тепловой поток; δ — толщина стеклопакета; ИТП-МГ4 — измеритель тепловых потоков

Полный период колебаний температуры на наружной поверхности стеклопакета z составляет 24 ч или 86 400 с. Тогда объемная теплоемкость cρ ограждающей конструкции стеклопакета определится из выражения [4]

$$(c\rho) = \left(B^2 z\right)/\left(\lambda 2\pi\right),\ \ \text{Дж}/\left(\text{м}^3 \cdot \text{К}\right). \tag{4}$$

Коэффициент температуропроводности a стеклопакета определится из соотношения

$$a = \lambda/\left(c\rho\right),\ \text{м}^2/\text{с}. \tag{5}$$

Термическое сопротивление теплопроводности стеклопакета определяется из выражения

$$R = \delta / \lambda, \quad \left(\text{м}^2 \cdot \text{К}\right)/\text{Вт}. \tag{6}$$

Тепловая инерция стеклопакета рассчитывается, согласно с ГОСТ Р 51337—99 по формуле

$$b = \lambda\left(c\rho\right), \ \text{Дж}/\left(\text{с} \cdot \text{м}^4 \cdot \text{К}\right). \tag{7}$$

Методика неразрушающего контроля, основанная на измерении температур на наружной и внутренней поверхности стеклопакета и измерении плотности теплового потока на наружной поверхности стеклопакета, позволяет определять весь комплекс теплофизических свойств стеклопакета:

1) коэффициент теплопроводности λ;

2) объемную теплоемкость $c\rho$;

3) коэффициент температуропроводности a;

4) коэффициент теплоусвоения B;

5) тепловую инерцию b.

Все графические построения и математические расчеты не представляют сложности и легко выполняются в программе Excel или других аналогичных программах ЭВМ.

Методика комплексного определения коэффициентов теплопроводности, температуропроводности, объемной теплоемкости, термического сопротивления, теплоусвоения и тепловой инерции стеклопакета ограждений зданий по тепловым и температурным измерениям на поверхности стеклопакета в течение одного опыта методом неразрушающего контроля имеет значительные преимущества по сравнению с известными методами и способами ранее:

1) нет необходимости создавать нагрев или охлаждение материала стеклопакета для проведения эксперимента;

2) отсутствие необходимости измерения в процессе эксперимента таких физических параметров, как коэффициент теплообмена, степень черноты, мощности нагревателя;

3) нет необходимости в создании чисто конвективной или чисто лучистой окружающей среды, что значительно упрощает экспериментальные установки;

4) не требуется учета потерь теплоты за счет теплообмена с окружающей средой, а также контактным сопротивлением между образцом и нагревателем;

5) измерения температур производятся на поверхности стеклопакета без нарушения целостности и эксплуатационных характеристик материалов.

Эти преимущества значительно упрощают условия проведения эксперимента (экспериментальную установку) и повышают метрологический уровень результатов измерения.

Кроме того, способ неразрушающего контроля комплекса теплофизических свойств стеклопакета позволяет легко автоматизировать теплофизический эксперимент, легко реализуется на базе микропроцессорной техники

и поэтому является перспективным для использования в информационно-измерительных системах неразрушающего контроля ТФС материалов, в строительной теплотехнике и различных отраслях народного хозяйства.

Контрольно-измерительное оборудование включает в себя переносной измеритель тепловых потоков ИТП-МГ4 «Поток» или измеритель теплофизических параметров ИТП «Теплограф» с датчиками температур и теплового потока, которые выполняют замеры плотности теплового потока на поверхности стеклопакета в течение суток, а также температуры на наружной и внутренней поверхности стеклопакета.

Приборы ИТП-МГ4 и ИТП «Теплограф» предназначены для измерения плотности тепловых потоков, проходящих через однослойные и многослойные ограждающие конструкции зданий и сооружений по ГОСТ 25380, через облицовку и теплоизоляцию ограждений зданий, сооружений и энергообъектов при экспериментальном исследовании и в условиях эксплуатации.

Приборы позволяют измерять температуру поверхности ограждения и воздуха внутри и снаружи ограждения помещения, а также определять термическое сопротивление ограждающих конструкций зданий, сооружений и изделий по ГОСТ 26254 и ГОСТ 26602.1.

Приборы ИТП-МГ4 «Поток» и ИТП «Теплограф» обеспечивают выполнение измерений в оперативном режиме, а также в режиме наблюдения с автоматической регистрацией тепловых потоков и температуры через интервалы времени, установленные пользователем. Приборы оснащены функцией передачи данных на ЭВМ или ПК и часами реального времени. Получаемая в процессе измерений информация автоматически архивируется и маркируется датой и временем измерения.

Снижение погрешностей измерения температур достигалось следующими приемами: все датчики термопар размещались в изотермических плоскостях; датчики термопар теплоизолировались от окружающей среды защитным экраном (кожухом). Для измерения температур на поверхности ограждения здания использовался контактный метод неразрушающего контроля. Для снижения контактного сопротивления между материалом стеклопакета и датчиком прибора использовалась теплопроводная паста КПТ-8.

На рис. 2 приведены экспериментальные распределения одинарного оконного стекла ограждения здания толщиной $\delta = 0{,}012$ м, по часам в течение суток с интервалом в один час; температуры внутренней $T_{вн}$, ºС, и наружной поверхности одинарного стекла для ограждения здания $T_{нар}$, а также теплового потока на наружной поверхности оконного стекла $q_{нар}$, Вт/м^2.

Максимальная плотность теплового потока на наружной поверхности оконного стекла наблюдалась в ночные часы и составила $q_{п}^{max} = 27$ Вт/м^2.

При максимальной плотности теплового потока $q_{п}^{max} = 27$ Вт/м^2 температура наружной поверхности оконного стекла составляла $t_{нар} = 10{,}8$ ºС, температура внутренней поверхности $t_{вн} = 11{,}5$ ºС. Разность температур наружной и внутренней поверхности одинарного оконного стекла составила $\Delta t = 11{,}5 - 10{,}8 = 0{,}7$ °С.

Согласно методике для определения коэффициента теплопроводности используется температура внутренней $T_{вн}$ и наружной поверхности оконного стекла для ограждения здания $T_{нар}$, ºС, при максимальном тепловом потоке на наружной поверхности стекла $q_{нар}$, Вт/м^2.

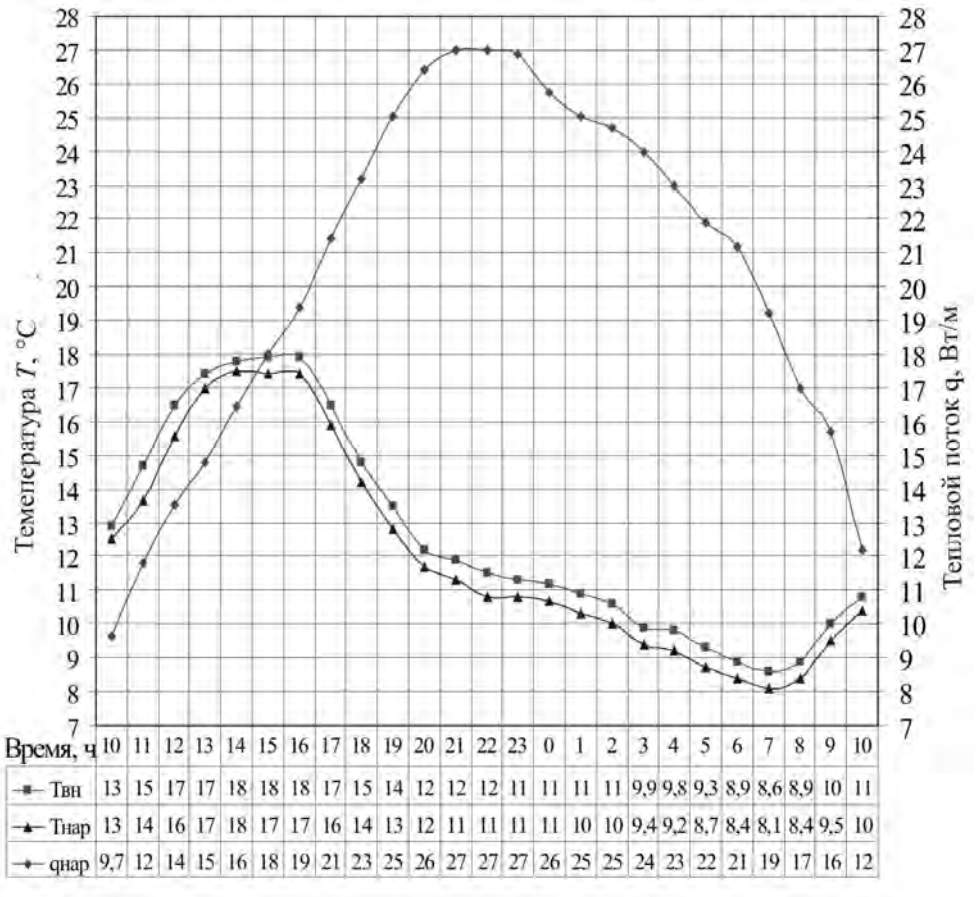


Рис. 2. Экспериментальные распределения температур и теплового потока оконного стекла для ограждения здания (декабрь 2010 г.):

■ — температура поверхности внутренней стены ограждения здания, °С;

▲ — температура поверхности наружной стены ограждения здания, °С;

♦ — плотность теплового потока наружного ограждения здания, Вт/м^2.

Рассчитанные по (1—7) значения ТФС одинарного оконного стекла для ограждения здания: коэффициент теплопроводности λ, температуропроводности a, объемная теплоемкость $c\rho$, коэффициент теплоусвоения B, термическое сопротивление R, тепловая инерция b приведены в табл.

ТФС одинарного оконного стекла для ограждения здания

ТФС одинарного оконного стекла	ИТП «Теплограф»	ИТП-МГ4 «Поток»
Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м·К)	0,463	0,47
Коэффициент температуропроводности a, м^2/с	$0{,}269\cdot10^{-6}$	$0{,}25\cdot10^{-6}$
Объемная теплоемкость $c\rho$, кДж/(м^3·К)	1720	1800
Коэффициент теплоусвоения B, Вт/(м^2·К)	7,61	—
Термическое сопротивление R, (м^2·К)/Вт	0,0259	0,026
Тепловая инерция b, кДж/$\left(\text{с}\cdot\text{м}^4\cdot\text{К}\right)$	$0{,}796\cdot10^{3}$	$0{,}89\cdot10^{3}$

Предлагаемая методика определения ТФС свойств стекла с помощью электронного измерителя плотности тепловых потоков ИТП «Теплограф» и ИТП-МГ4 «Поток» позволяет достаточно точно определить ТФС оконного стекла для ограждения здания методом неразрушающего контроля по тепловым измерениям на поверхности.

Вывод

Предлагаемая методика определения ТФС стекла позволяет достаточно точно определить коэффициент теплопроводности λ, объемную теплоемкость *c*ρ, коэффициент температуропроводности *a* методом неразрушающего контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент на изобретение № 2421711. Способ неразрушающего контроля комплекса теплофизических характеристик твердых строительных материалов / В. М. Фокин, А. В. Ковылин.

2. *Фокин В. М., Ковылин А. В.* Определение теплофизических свойств ограждающих конструкций зданий методом неразрушающего контроля с использованием электронного измерителя плотности тепловых потоков ИТП-МГ4.03 «Поток» // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика : матер. 66-й Всероссийской науч.-технической конф. по итогам НИР университета за 2008 г. Самара : СГАСУ, 2009. — С. 273—275.

3. *Фокин В. М., Ковылин А. В* Теоретические основы определения теплопроводности, объемной теплоемкости и температуропроводности материалов по тепловым измерениям на поверхности методом неразрушающего контроля // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. — Вып. 14 (33). — С. 123—127.

4. *Ковылин А. В., Фокин В. М.* Определение теплотехнических свойств оконного стекла для ограждений зданий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. — Вып. 21 (40). — С. 124—127.

1. Patent na izobretenie № 2421711. Sposob nerazrushayushchego kontrolya kompleksa teplofizicheskikh kharakteristik tverdykh stroitel'nykh materialov / V.M. Fokin, A.V. Kovylin.

2. *Fokin V. M., Kovylin A. V.* Opredelenie teplofizicheskikh svoystv ograzhdayushchikh konstruktsiy zdaniy metodom nerazrushayushchego kontrolya s ispol'zovaniem elektronnogo izmeritelya plotnosti teplovykh potokov ITP-MG4.03 «Potok» // Aktual'nye problemy v stroitel'stve i arkhitekture. Obrazovanie. Nauka. Praktika : mater. 66-y Vserossiyskoy nauch.-tekhnicheskoy konf. po itogam NIR universiteta za 2008 g. Samara : SGASU, 2009. — S. 273—275.

3. *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 Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. — Volgograd : VolgGASU, 2009. — Vyp.14 (33). — S. 123—127.

4. *Kovylin A. V., Fokin V. M.* Opredelenie teplotekhnicheskikh svoystv okonnogo stekla dlya ograzhdeniy zdaniy // Vestnik Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-ta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura. — Volgograd : VolgGASU, 2011. — Vyp. 21 (40). — S. 124—127.

© Ковылин А. В., Попова А. В., Фокин В. М., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Ковылин А. В., Попова А. В., Фокин В. М. Энергоэффективный и экологически безопасный метод экспериментального определения теплофизических свойств стеклопакета // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 232—237.

УДК 699.86:691.175.5/.8

М. А. Шило, А. В. Ковылин, В. М. Фокин

СОВРЕМЕННАЯ МНОГОСЛОЙНАЯ ТЕПЛОЗАЩИТНАЯ СИСТЕМА ОГРАЖДЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОЖОГОВОГО ПОРОГА

Разобрана сущность многослойной теплозащитной системы для повышения ожогового порога.

К л ю ч е в ы е с л о в а: экологическая безопасность, ожоговый порог, теплоизоляционный материал.

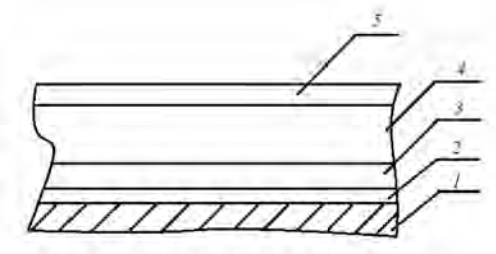
The essence of multilayered heat-protective system for increase of burn threshold is developed.

K e y w o r d s: environmental safety, burn threshold, heat-protective material.

В работе представлена к рассмотрению многослойная теплозащитная система для повышения ожогового порога. Актуальность применения многослойной теплозащитной системы для повышения ожогового порога в промышленности не вызывает сомнения, так как позволяет обеспечить защиту от травмирующего воздействия при прикосновении к поверхности с высокой и низкой температурой и создания надежного барьер тепловому потоку [1].

Сущность многослойной теплозащитной системы для повышения ожогового порога заключается в следующем [2]. Теплозащитная система состоит из определенной композиции материалов в виде последовательно расположенных слоев: основания, в виде подготовленной поверхности; клеевого слоя, на базе водно-дисперстной полиакриловой грунтовки, экранирующего слоя, в качестве которого использована краска «серебрянка»; слоя теплоизоляции, на базе жидкого теплоизоляционного полимерного покрытия и теплозащитного слоя, который выполнен из жидкого полимерного покрытия, имеющего низкий коэффициент теплоусвоения менее 30 Вт/м^2·К [3].

Многослойная теплозащитная система для повышения ожогового порога приведена на рис.



Многослойная теплозащитная система для повышения ожогового порога на поверхности: *1* — основание в виде подготовленной поверхности; *2* — клеевой слой; *3* — экранирующий слой; *4* — основной слой теплоизоляции; *5* — теплозащитный слой

Многослойную теплозащитную систему для повышения ожогового порога осуществляют следующим образом [4]. Наносятся на подготовленную поверхность *1* сплошным, равномерным слоем с помощью кисти, валика или краскопультом в следующей последовательности:

1) грунтовочный слой *2* из водно-дисперсионной полиакриловой грунтовки толщиной 0,1…0,2 мм, с периодом сушки 2 ч;

2) экранирующее покрытие *3* из краски «серебрянки» толщиной 0,1…0,2 мм, с периодом межслойной сушки 2 ч, направленное на решение повышения защиты от лучевого воздействия теплового потока;

3) теплоизоляционное покрытие *4* из жидкого полимерного теплоизоляционного покрытия в количестве слоев *n* и толщиной *m*, где *m* = 0,3…0,5 мм, в зависимости от применяемого метода нанесения;

4) теплозащитный полимерный слой *5*, толщиной 0,3…0,5 мм, который служит для обеспечения защиты от травмирующего воздействия при прикосновении к поверхности с высокой и низкой температурой.

Межслойная сушка полимерного покрытия составляет при нормальных условиях 24 ч. Толщина основного слоя теплоизоляции определяется из соотношения [5]

$$\frac{R_{зад}}{R_i} = \frac{\delta_{изл}}{\delta_{0,4}},$$

где $R_{зад}$ — необходимое дополнительное термическое сопротивление; R_i — термическое сопротивление одного 1-го тонкого слоя; $\delta_{изл}$ — общая толщина теплоизоляционного слоя; $\delta_{0,4}$ — толщина одного тонкого слоя теплоизоляции, равная 0,4 мм.

Толщина основного слоя теплоизоляции определяется по формуле [6]

$$\delta_{изл} = \delta_{0,4} R_{зад} / R_i.$$

Рассматриваемая многослойная теплозащитная система ограждений позволяет создать надежный барьер тепловому потоку и обеспечить защиту от травмирующего воздействия при прикосновении к поверхности с высокой и низкой температурой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фокин В. М.* Основы энергосбережения и энергоаудита. — М. : Машиностроение-1, 2006. — 256 с.

2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 августа 2003 г. 1234-р. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года.

3. *Фокин В. М., Ковылин А. В.* Теплофизические исследования строительных материалов методом неразрушающего контроля с использованием тепломера // Теплофизические исследования и измерения в энергосбережении, при контроле, управлении и улучшении качества продукции и услуг : материалы Междунар. теплофиз. шк. Тамбов : ТГТУ, 2010. С. 23—26.

4. СНиП 23-02—2003. Тепловая защита зданий. Введен 01.10.2003.

5. ГОСТ 25380—82. Методы определения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции. Введен 14.06.1982.

6. ГОСТ 26254—84. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Введен 02.08.1984 г.

1. *Fokin V. M.* Osnovy energosberezheniya i energoaudita. — M. : Mashinostroenie-1, 2006. — 256 s.

2. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 28 avgusta 2003 g. 1234-r. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2020 goda.

3. *Fokin V. M., Kovylin A. V.* Teplofizicheskie issledovaniya stroitel'nykh materialov metodom nerazrushayushchego kontrolya s ispol'zovaniem teplomera // Teplofizicheskie issledovaniya i izmereniya v energosberezhenii, pri kontrole, upravlenii i uluchshenii kachestva produktsii i uslug : materialy Mezhdunar. teplofiz. shk. Tambov : TGTU, 2010. S. 23—26.

4. SNiP 23-02—2003. Teplovaya zashchita zdaniy. Vveden 01.10.2003.

5. GOST 25380—82. Metody opredeleniya plotnosti teplovykh potokov, prokhodyashchikh cherez ograzhdayushchie konstruktsii. Vveden 14.06.1982.

6. GOST 26254—84. Metody opredeleniya soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstruktsiy. Vveden 02.08.1984.

© Шило М. А., Ковылин А. В., Фокин В. М., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Шило М. А., Ковылин А. В., Фокин В. М. Современная многослойная теплозащитная система ограждений для повышения ожогового порога // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 238—240.

УДК [627.8] + [621.224.8]

П. А. Годин, М. А. Годин

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ МАЛОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ С СИСТЕМОЙ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Рассмотрены возможные варианты аккумулирования энергии на гибридных энергоустановках. Предложена технологическая схема гибридной энергетической установки с комбинированным способом аккумулирования и выработки энергии.

К л ю ч е в ы е с л о в а: гидротехническое строительство, мобильные, децентрализованное энергоснабжение, аккумулирование энергии, гибридная энергоустановка.

Possible options of energy accumulation on hybrid power installations are considered, the technological scheme of hybrid power installation with combined way of energy accumulation and production is offered.

K e y w o r d s: hydrotechnical construction, mobile, decentralized power supply, energy accumulation, hybrid power installation.

В настоящее время во всем мире наблюдается повышенный интерес к использованию в различных отраслях экономики нетрадиционных возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Ведется дискуссия о выборе путей развития энергетики [1].

Уникальными обладателями всех видов ВИЭ являются Краснодарский и Ставропольский края. Экономический потенциал ВИЭ в России оценен в 314 млн. т у.т. в год, что равно трети внутреннего потребления первичной энергии. Однако эти возможности используются на 5…10 %.

Для России такими ресурсами в первую очередь являются энергия малых рек и морских приливов, ветровая и солнечная энергия, торф, геотермальные воды.

Одной из основных проблем развития и внедрения гибридных систем на основе ВИЭ является нестабильность выработки электроэнергии по времени, что приводит к низкому качеству вырабатываемой электроэнергии по сравнению с традиционными электростанциями.

Потребление электроэнергии автономным потребителем может меняться в широком диапазоне. Характерный график нагрузки автономного потребителя зимой и летом представлен на рис. 1. В ночное время суток имеется провал нагрузки, в дневное и вечернее время — пиковые нагрузки [1]. Проблема не решается с применением электроаккумуляторов, так как это приводит к существенному увеличению себестоимости электроэнергии.

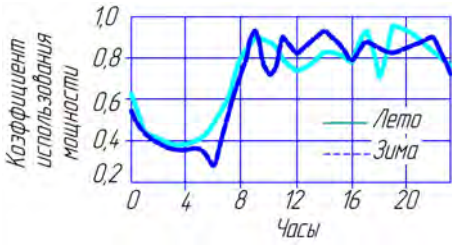


Рис. 1. Суточные графики нагрузки для автономной системы энергоснабжения

В западной Европе проблема пиковых нагрузок решается главным образом с помощью газотурбинных установок, работающих на газовом топливе или соляровом масле. Однако это не экологичные системы, существенно увеличивающие себестоимость выработки электроэнергии.

В связи с этим возникает необходимость в накоплении энергии за счет эффективных аккумулирующих систем, которые будут играть роль демпфирующего устройства, сглаживающего колебания мощности источника. Стоимость аккумуляторов энергии играет существенную роль в цене электроэнергии, производимой энергоустановками на основе возобновляемых источников энергии [2]. Анализируя существующие системы аккумулирования энергии, нами разработана классификация аккумуляторов энергии, представленная на рис. 2.

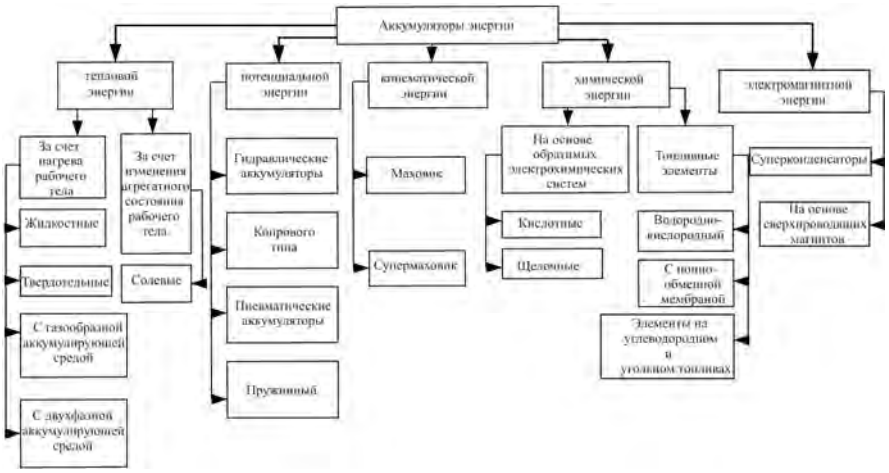


Рис. 2. Классификация аккумуляторов энергии

В настоящее время существует множество технологий аккумулирования энергии, однако они имеют ряд недостатков, что не позволяет их использовать повсеместно.

Проведенный анализ показал, что наиболее оптимальным решением для снятия пиков нагрузок в децентрализованной энергосистеме, расположенной вблизи малых водотоков, является использование гидравлических установок. С этой целью необходимо проектировать микроГЭС на мощность, превышающую среднюю мощность водотока. Они должны работать в основном в переменной части графика нагрузки, аккумулируя воду в верхнем бьефе в периоды падения нагрузки, срабатывая ее в пике.

В настоящее время вблизи малых водотоков Российской Федерации расположено около 90 % сельскохозяйственных объектов и населенных пунктов. Многие из них являются территориально разрозненными и удаленными от централизованных коммуникационных сетей, сезонно-действующими объектами небольшой энергоемкости (фермерские хозяйства, коттеджи, малые предприятия и т. д.), для энергоснабжения которых рационально использовать местные водные ресурсы — малые реки и каналы. В большинстве своем эти водотоки являются равнинными с глубиной, не превышающей 1,5 м в период низкой межени и средним многолетним расходом менее 5 $м^3/с$. Эти водотоки наиболее уязвимы, поэтому требуется достаточная пропускная спо-

собность их русла с целью сохранения экологического состояния транспорта наносов, обеспечения нереста рыбы, предотвращения затопления прилегающих территорий в период половодий и паводков.

В то же время, в связи с неравномерностью энергопотребления, необходимо аккумулирование энергии. Эту задачу можно решить аккумулированием речного стока, что позволит производить суточное регулирование энергоснабжения небольших децентрализованных потребителей [3].

Можно разделить возможные схемы гибридных установок с системами аккумулирования энергии на основе водоподпорной мобильной микроГЭС и ВЭУ на аккумулирование электроэнергии:

1. За счет аккумуляторных батарей. При этом целесообразно рассматривать кислотные и щелочные батареи для различных условий работы и обслуживания.

2. За счет рекуперации избыточной энергии, вырабатываемой на ВЭУ с помощью обратимого гидроагрегата — пропеллерной турбины микроГЭС.

Возможно два варианта рекуперации: за счет насосной в схемах, где отсутствует обратимый гидроагрегат; за счет обратимого гидроагрегат, в роли которого может выступать пропеллерная гидротурбина.

3. Накопление энергии, вырабатываемой на ветронасосной энергоустановке за счет аккумулирования воды в верхнем бьефе микроГЭС, при этом вдоль водотока устанавливаются ВЭУ, осуществляющие перекачку воды по трубопроводу, проложенному вдоль водотока; в этом случае могут быть использованы поршневой либо пластинчатый насос.

4. Аккумулирование тепловой энергии, выделяемой балластной нагрузкой. Наиболее простой вариант — это аккумулирование тепловой энергии за счет нагрева рабочего тела. В роли рабочего тела может выступать жидкость, твердое тело, газ, двухфазное рабочее тело (рис. 3).

5. Комбинированный способ аккумуляции энергии. Данный способ предполагает любую комбинацию вышеперечисленных способов.

Рис. 3. Способы аккумулирования энергии на гибридной системе в составе мобильной микроГЭС и ВЭУ

Для разнообразных условий установки и использования гибридной энергетической системы (рис. 4) целесообразно рассматривать различные варианта компоновки нескольких способов аккумулирования и выработки энергии одновременно. Это позволит существенно увеличить надежность и эффективность энергоснабжения при минимальных капиталовложениях.

В схеме присутствует четыре способа аккумулирования энергии:

1) за счет аккумуляторных батарей;

2) за счет рекуперации избыточной энергии, вырабатываемой на ВЭУ с помощью обратимого гидроагрегата — пропеллерной турбины микроГЭС;

3) накопление энергии, вырабатываемой на ветронасосной энергоустановке, за счет аккумулирования воды в верхнем бьефе микроГЭС;

4) аккумулирование тепловой энергии, выделяемой балластной нагрузкой.

Для надежного энергообеспечения в схеме предусмотрено три способа генерирования энергии:

1) микроГЭС с генератором на основе асинхронного электродвигателя;

2) ветронасосные энергетические установки с вертикальной осью;

3) ветроустановка с горизонтальной осью и генератором на основе асинхронного электродвигателя.

В предложенной схеме ветронасосная энергетическая установка осуществляет перекачку воды из нижнего в верхний бьеф микроГЭС, а созданное водохранилище является буфером, компенсирующим неравномерность выработки электроэнергии на ветронасосной энергоустановке.

Рис. 4. Технологическая схема гибридной энергетической установки с комбинированным способом аккумулирования и выработки энергии

При решении проблемы подбора оптимальной конструкции гибридной энергоустановки проектировщику необходимо рассмотреть множество вариантов конструкторских альтернативных решений, в том числе при выборе схемы аккумулирования определить необходимую емкость аккумулирующей системы, скорость зарядки, срок службы, надежность; при выборе типа энергоустановки — требуемую номинальную мощность, максимальную. Для каждого из вариантов просчитать затраты на систему распределения и аккумулирования энергии.

Выбор и оптимизации параметров гибридной системы должны происходить с привлечением различных математических моделей в сочетании с человеко-машинными процедурами, для которых определение наилучшего решения основывается на предположении о существовании обобщенного критерия задачи многокритериальной оптимизации, а необходимая пояснительная информация получается лицом, принимающим решения (ЛПР) последовательно, одновременно с анализом множества альтернатив.

Задачи построения многокритериальной оптимизации в вариантном проектировании были впервые рассмотрены академиком И. И. Артоболевским, который предложил метод систематического просмотра многомерных областей. В данном методе используются не все точки в пространстве параметров, а только пробные, равномерно распределенных областей. Для создания многокритериального пространства параметров используются множества Парето, что представлено в работах Ю. Н. Мурзенко, В. П. Дыба, Г. М. Скибина [4].

Значение критериев для допустимых вариантов системы аккумулирования в составе гибридной системы представлено в табл.

Значение критериев для допустимых вариантов системы аккумулирования

Способ аккумулирования	Критерий			
	Надежность электроснабжения	Относительная себестоимость, руб /кВт.ч	Относительная скорость возведения	Относительные капиталовложения
1	0,95	1	0,67	0,98
2	092	0,87	0,85	0,75
3	0,9	0,8	0,93	0,86
4	—	—	—	—
5	0,99	1,2	1	1

Нами разработана схема с автономным энерго- и водообеспечением, системой аккумулирования, распределения энергии и очисткой сточных вод на примере коттеджного поселка в составе мобильного подпорного сооружения комплексного назначения (МПСКН) (рис. 5).

При установке МПСКН создается подпор, который позволяет осуществлять водозабор с помощью погружного насоса *10*, который работает за счет электроэнергии, вырабатываемой на микроГЭС, для хозяйственно-питьевого водоснабжения коттеджей *6* и капельного орошения в теплицах *4*.

Неравномерность генерирования электроэнергии на ветрогенераторах *10* компенсируется за счет аккумулирования электроэнергии на МПСКН *1*.

При установке МПСКН образуется водохранилище, которое позволяет использовать в рекреационных целях верхний бьеф.

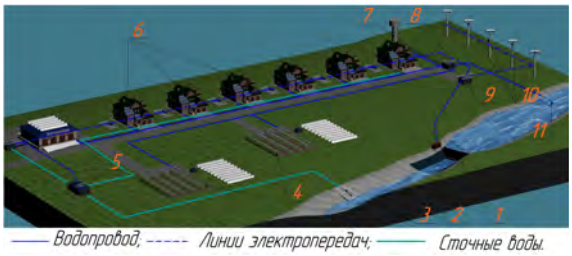


Рис. 5. Коттеджный поселок с автономным энерго- и водообеспечением, системой аккумулирования, распределения энергии и очисткой сточных вод: *1* — МПСКН; *2* — блок управления МПСКН; *3* — сбросной коллектор; *4* — теплицы; *5* — канализационные сооружения; *6* — коттедж; *7* — водонапорная башня; *8* — водоочистное сооружение; *9* — трансформаторная подстанция, система распределения энергии; *10* — ветрогенераторы; *11* — погружной насос

При работе гидроагрегата МПСКН происходит аэрация водного потока в нижнем бьефе, что интенсифицирует процессы самоочищения водотока в створе сброса сточных вод, предварительно очищенных в канализационных сооружениях *5* [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лабейш В. Г.* Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие. — СПб. : СЗТУ, 2003. — 79 с.

2. Экономическая оценка перспективности развития направления энергетики. Режим доступа: http://imlab.narod.ru/Energy/Analysis/Analysis.htm.

3. *Елистратов В. В.* Использование возобновляемой энергии : учеб. пособие. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — С. 34—3

4. *Скибин Г. М.* Моделирование состояния городской застройки в целях обеспечения эксплуатационной надежности оснований и фундаментов, зданий и сооружений при подтоплении : дис. … д-ра техн. наук. — Новочеркасск, 2005. — 290с.

5. Руководство по проектированию, строительству и эксплуатации мобильных подпорно-регулирующих гидроэнергетических сооружений (МПРГС) с применением композитных материалов / Д. В. Кашарин, П. А. Годин, М. А. Годин, А. М. Кореновский. — Новочеркасск, 2008. — 50 с.

1. *Labeysh V. G.* Netraditsionnye i vozobnovlyaemye istochniki energii : ucheb. posobie. — SPb. : SZTU, 2003. — 79 s.

2. Ekonomicheskaya otsenka perspektivnosti razvitiya napravleniya energetiki. Rezhim dostupa: http://imlab.narod.ru/Energy/Analysis/Analysis.htm.

3. *Elistratov V. V.* Ispol'zovanie vozobnovlyaemoy energii : ucheb. posobie — SPb. : Izd-vo Politekhn. un-ta, 2009. — S. 34—3

4. Skibin G. M. Modelirovanie sostoyaniya gorodskoy zastroyki v tselyakh obespecheniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti osnovaniy i fundamentov, zdaniy i sooruzheniy pri podtople-nii : dis. … d-ra tekhn. nauk. — Novocherkassk, 2005. — 290s.

5. Rukovodstvo po proektirovaniyu, stroitel'stvu i ekspluatatsii mobil'nykh podporno-reguliruyushchikh gidroenergeticheskikh sooruzheniy (MPRGS) s primeneniem kompozitnykh materialov / D. V. Kasharin, P. A. Godin, M. A. Godin, A. M. Korenovskiy. — Novocherkassk, 2008. — 50 s.

© Годин П. А., Годин М. А., 2013

Поступила в редакцию
в марте 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Годин П. А., Годин М. А. Децентрализованное энергоснабжение объектов малой энергоемкости на основе гибридной энергоустановки с системой аккумулирования энергии // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 241—246.

УДК 532. 546

В. А. Корчагин, М. В. Крылова

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ НА ВЫТЕСНЕНИЕ НЕФТИ ВОДНЫМ РАСТВОРОМ ПОЛИМЕРА

Приводятся результаты исследований математической модели процесса вытеснения нефти раствором полимера в прискважинной зоне с учетом эффектов адсорбции, капиллярного давления и дисперсии полимера в плоскорадиальной системе однородного терригенного пласта с постоянной проницаемостью.

К л ю ч е в ы е с л о в а: вытеснение нефти, сорбция, дисперсия, капиллярные силы, полимер.

The authors present the results of researches of a mathematical model of oil displacement by polymer solution in circumwell taking into account the effects of adsorption, capillary pressure and polymer dispersion in radial two-dimensional system of homogenous terrigene layer with constant penetrability.

K e y w o r d s: oil displacement, sorption, dispersion, capillary forces, polymer.

Полимерное заводнение относится к группе физико-химического методов воздействия на пласт. Теория и промыслово-лабораторные эксперименты [1—6] показали, что заводнение с элементами усовершенствования в настоящее время и на ближайшую перспективу останется одной из основных технологий извлечения нефти из пластов.

Учитывая большой интерес к технологии полимерного заводнения, создано ряд методик для оценки эффективности ее применения как в России, так и в мире. Математическое описание процесса нефтеизвлечения полимерного заводнения базируется на учете физических свойств как пласта, так и механизма взаимодействия системы «порода — полимер». В первую очередь это процессы адсорбции и десорбции, диффузии и деструкции полимера, фактор сопротивления, остаточный фактор сопротивления, неньютоновский характер течения полимерного раствора в пористой среде, а также влияние типа и концентрации полимера на фазовую проницаемость раствора полимера.

В данной работе преследовались следующие цели:

1) исследование математической модели вытеснения нефти раствором полимера в прискважинной зоне нагнетательной скважины с учетом эффектов адсорбции, капиллярного давления и дисперсии полимера в плоскорадиальной системе однородного терригенного пласта с постоянной проницаемостью;

2) оценка влияния локальных нелинейных эффектов, представленных адсорбцией, капиллярными силами и дисперсией полимера на фронты насыщенности и концентрации.

Математическая модель вытеснения нефти раствором полимера в прискважинной зоне. При вытеснении нефти раствором полимера происходит процесс двухфазного течения. Принимается, что жидкости не сжимаемы и полимер не растворяется в нефти, а только в воде и не изменяет удельных объемов фаз. Массовая концентрация обозначается *c*. Поэтому в единице объема пористой среды масса полимера, растворенная в воде, равна *msc*.

Допустим, что часть полимера в расчете на единицу объема среды может содержаться в скелете пористой среды. Поглощение скелетом полимера называется сорбцией; понимая под этим адсорбцию (физическую и химическую) полимера на поверхности скелета, растворение (абсорбцию) полимера в материале зерен скелета, а иногда даже механическое удержание полимера в сужениях поровых каналов. Количество полимера a, сорбированное пористой средой, пропорционально концентрации c полимера в воде

$$a(c)=\Gamma c,$$

где Γ — постоянный коэффициент (постоянная Генри); c — концентрация полимера.

Поэтому в единице объема пористой среды содержится полимера $[msc + a(c)]$.

Фильтрационный поток со скоростью фильтрации w переносит как растворитель, так и примесь. Легко убедиться, что для смеси форма уравнения неразрывности остается неизменной. Чтобы составить баланс растворенного вещества, необходимо рассмотреть структуру потока примеси через границу выделенного объема. Этот поток состоит из нескольких различных по своей природе составляющих. Одна из них соответствует переносу растворенного вещества общим потоком, характеризуемому плотностью потока массы:

$$q = cw_{в},$$

где $w_{в} = wf(s,c)$, w — скорость фильтрации; $f(s,c)$ — доля водной фазы в потоке (функция Бакли — Леверетта).

$$f(s,c) = \frac{k_1(s,c)}{k_1(s,c) + \mu_0 k_2(s,c)},$$

где k_1, k_2 — проницаемости водного раствора и нефти соответственно; $\mu_0 = \frac{\mu_1}{\mu_2}$; μ_1, μ_2 — вязкости водного раствора и нефти соответственно.

Процессы, протекающие в пласте, можно условно разделить на крупномасштабные (обусловленные гидродинамическим перепадом давления) и локальные. К последним относятся капиллярные эффекты и диффузия.

Как известно, диффузия вызывается хаотическим движением на молекулярном уровне; чтобы подчеркнуть это, будем называть ее молекулярной диффузией. Существенно, что в пористой среде при наличии фильтрации должен существовать, наряду с уже рассмотренными конвективным переносом и молекулярной диффузией, некоторый механизм переноса, обычно называемый дисперсией, обусловленный пространственными флуктуациями поля скоростей фильтрационного движения (т. е. отклонением локальных значений истинной скорости от среднего значения w). Совместный эффект молекулярной диффузии и дисперсии будем называть эффективной дисперсией. В природных условиях молекулярная диффузия становится пренебрежительно малой.

Помимо конвективной диффузии, к локальным процессам, протекающим в пласте, относится также капиллярная пропитка. В поровых каналах на границе раздела фаз (нефти и воды), на мениске, развивается капиллярное давление, которое может достигать 0,003 МПа и более. Эта величина капиллярных давлений кажется несущественной по сравнению с обычно создаваемыми при разработке внешними перепадами давления. Капиллярное давление, развиваемое в каналах небольшого сечения больше, чем в крупных порах. В результате этого на водонефтяном контакте возникают процессы противоточной капиллярной пропитки — вода по мелким порам проникает в нефтяную часть пласта, по крупным порам нефть вытесняется в водоносную часть.

Когда внешние силы велики (т. е. когда перепад давления в пласте, под действием которого нефть вытесняется водой, достаточно высокий), фронт может передвигаться настолько быстро, что процессы капиллярного впитывания на фронте вытеснения затухают или исчезают совсем.

Капиллярные силы становятся существенными и в тех случаях, когда в пористой среде в силу ее собственной неоднородности или под влиянием неоднородности потока создаются значительные местные градиенты насыщенности.

Если принять во внимание вышеупомянутые эффекты (адсорбцию, дисперсию полимера и капиллярные силы), то для описания процесса вытеснения нефти раствором полимера в окрестности призабойной зоны скважины может быть рассмотрена плоскорадиальная задача как обобщение соответствующей задачи в крупномасштабном приближении. Скважина моделируется источником с постоянным объемным расходом Q и полем скоростей:

$$w_r = \frac{Q}{2\pi r h};$$

$$w_\varphi = w_z = 0,$$

где Q — постоянный объемный расход; r, φ, z — цилиндрические координаты; h — толщина пласта.

Сделаны следующие предположения: полимер не растворяется в нефти и не изменяет ее проницаемости; жидкости и порода несжимаемы; закачка полимерного раствора считается непрерывной; пласт предполагается горизонтальным, и гравитационные силы отсутствуют.

Тогда следующая система уравнений представляет математическую модель процесса:

$$\begin{cases} m\dfrac{\partial s}{\partial t} + \dfrac{Q}{2\pi h}\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial f(s,c)}{\partial r} = \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial}{\partial r}\left(rA(s,c)\dfrac{\partial s}{\partial r}\right), \\ \dfrac{\partial\left(msc + a(c)\right)}{\partial t} + \dfrac{Q}{2\pi h}\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial\left[cf(s,c)\right]}{\partial r} = \\ = \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial}{\partial r}\left(rcA(s,c)\dfrac{\partial s}{\partial r}\right) + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial}{\partial r}\left(rD\dfrac{\partial c}{\partial r}\right), \end{cases} \qquad (1)$$

где m — пористость; s — насыщенность водного раствора полимера; c — концентрация водного раствора полимера; $A(s,c) = -\psi(s,c)\frac{\partial P_c}{\partial s} > 0$; P_c — капиллярное давление; $\psi(s,c) = k\frac{k_1(s)k_2(s)}{\mu_2 k_1(s) + \mu_1(c)k_2(s)} = k\frac{k_2(s)}{\mu_2} f(s,c)$ — функция подвижности; k — абсолютная проницаемость; $a(c)$ — адсорбция полимера; D — коэффициент дисперсии полимера (продольной).

Для решения (1) принимаются следующие начальные условия:

$$s(r,0) = s_0,\ c(r,0) = c_0$$

и краевые условия:

$$s(0,t) = s^0,\ c(0,t) = c^0 \text{ и } s(\infty,t) = s_0,\ c(\infty,t) = c_0.$$

Исходные данные были взяты для типового месторождения со следующими характеристиками:

Глубина, м	400
Толщина, м	8
Пористость, %	28
Проницаемость, мкм^2	9
Пластовое давление, МПа	4,5
Плотность нефти, г/см^3	0,95
Вязкость нефти, Па·с	0,17
Вязкость пластовой воды, Па·с	0,001
Расход при закачке полимера, м^3/сут	100
s_o, доли	0,2
s^o, доли	0,9

Расчеты проведены для полимера — полиоксиэтилена WSR-301 с концентрацией 0,1 %. В работе [7] на основании экспериментов было установлено, что зависимости $R(c)$, $\mu(c)$, $a(c)$ для этого типа полимера можно аппроксимировать следующими выражениями:

$$\mu(c)/\mu_в^* = 1 + 0{,}16\cdot 10^4 c + 0{,}25\cdot 10^7 c^2,$$

где $\mu_в^*$ — вязкость воды; $a(c) = 8{,}7\cdot 10^{-4} c^{0{,}3}$ — адсорбция полимера; $R(c) = 7{,}25c^{0{,}2} + 1$ — фактор сопротивления.

Из фактора сопротивления был найден фактор снижения относительной проницаемости водной фазы полимера. Были построены кривые относительных проницаемостей (рис. 1), аппроксимированные следующими формулами:

$$k_1 = k_{11}(s - 0{,}2)^{2{,}9};$$

$$k_2 = 2{,}35(0{,}9 - s)^{1{,}7},$$

где k_{11} = 1,5 (для системы «вода — нефть»); k_{11} = 0,532 (для системы «раствор полимера — нефть»).

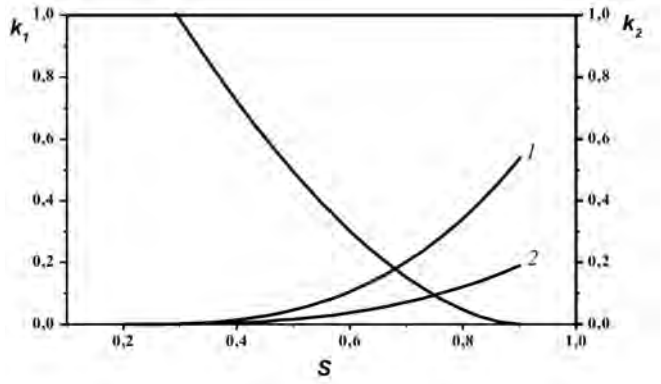


Рис. 1. Кривые зависимостей относительных фазовых проницаемостей от насыщенности для различных систем: *1* — вода — нефть; *2* — 0,1%-й раствор WSR-301 — нефть

На основании этих значений относительных проницаемости и отношения вязкости каждого раствора и нефти были построены кривые функции Бакли — Леверетта (рис. 2).

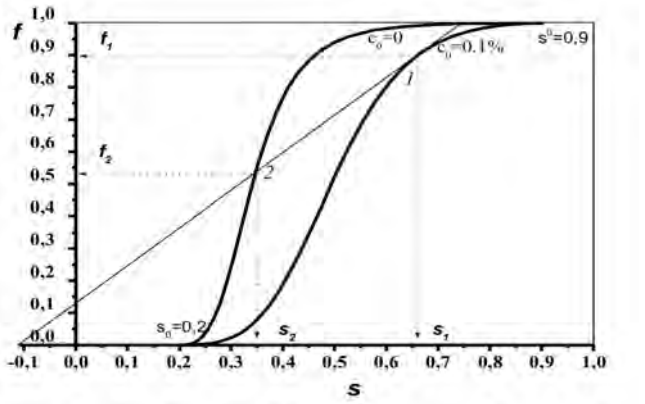


Рис. 2. Характеристические функции при вытеснении нефти 0,1%-м раствором WSR-301.

Производная функции Бакли — Леверетта по насыщенности приведена на рис. 3 и имеет вид

$$\frac{\partial f}{\partial s} = \frac{\mu_0 k_2}{\left(k_1(s) + \mu_0(c) k_2(s)\right)^2} \frac{\partial k_1}{\partial s} - \frac{\mu_0 k_1}{\left(k_1(s) + \mu_0(c) k_2(s)\right)^2} \frac{\partial k_2}{\partial s},$$

а производная функции Бакли — Леверетта по концентрации равна

$$\frac{\partial f}{\partial c} = -\frac{k_1 k_2}{\left(k_1(s) + \mu_0(c) k_2(s)\right)^2} \frac{\partial \mu_0(c)}{\partial c}.$$

Выражение капиллярного давления задается в виде зависимости

$$P_c(s) = \frac{\sigma \cos\theta}{\sqrt{k/m}} J(s),$$

где $J(s) = J_0 \dfrac{s^0 - s}{s - s_0}$.

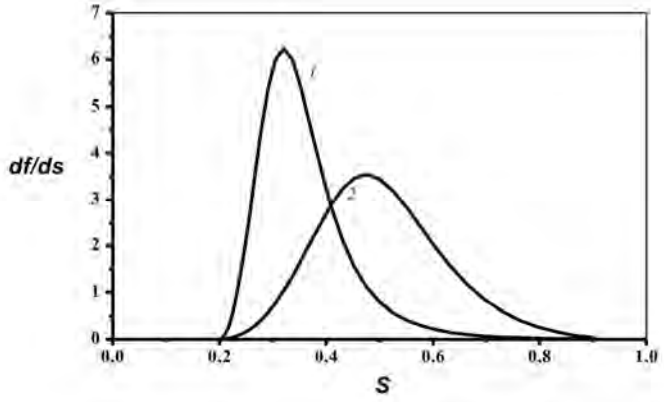


Рис. 3 Графики производной функции Бакли—Леверетта для различных вытесняющих флюидов: *1*— для системы «вода — нефть»; *2* — для системы «0,1%-го раствора WSR-301 — нефть»

Анализ результатов. Задача решалась методом конечных разностей. Расчеты производились для четырех вариантов с учетом:

1) капиллярных сил, дисперсии и адсорбции полимера;

2) дисперсии и адсорбции, но без учета капиллярных сил;

3) адсорбции и капиллярных сил, но без учета дисперсии;

4) адсорбции, но без учета капиллярных сил и дисперсии.

Влияние нелинейных эффектов в базовых расчетах оценивалось при фиксированном коэффициенте дисперсии, равном 10^8 м^2/с.

Расчеты с учетом капиллярных сил, дисперсии и адсорбции полимера представлены распределением концентрации и насыщенности в прискважинной зоне пласта раствора полимера при различных моментах безразмерного времени τ (т. е. количество прокаченных объемов). По горизонтальной оси на рисунках откладывается безразмерная координата ξ. Анализ результатов расчета показывает, что концентрация меняется скачком на гидродинамическом фронте раствора (при одном и том же значении ξ).

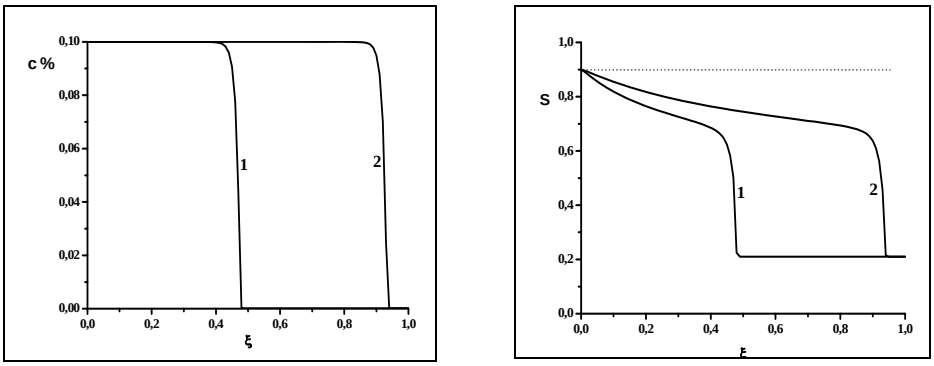
На рис. 4 показаны распределения концентрации и насыщенности полимера соответственно для четырех условий:

1) рассчитывается система уравнений (1) со всеми параметрами, т. е. учитываются капиллярные силы, адсорбция и дисперсия;

2) расчеты велись без учета капиллярных сил;

3) в системе уравнения коэффициент дисперсии был равен 0 (без учета дисперсии);

4) капиллярные силы и дисперсия не учитывалась в системе уравнений (1).

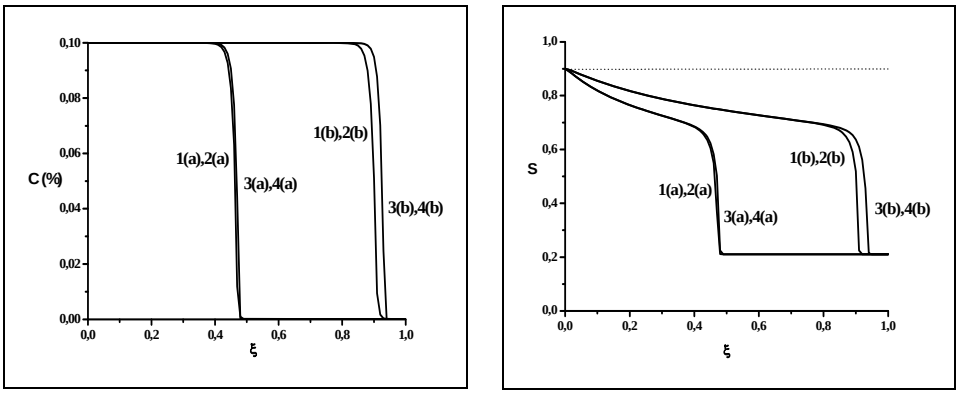


а *б*

Рис. 4. Распределение концентрации (*а*) и насыщенности (*б*) раствора полимера по координате при различных моментах времени: *1* — $\tau = 0{,}5$; *2* — $\tau = 1$.

Капиллярные силы, которые достигают 0,00234 МПа в выбранной системе «порода — жидкости», слабо влияют на распределения концентрации и насыщенности. Кривые 1(*а*) и 1(*b*) рис. 5, *а*, и *б* с учетом эффекта капиллярных сил практически совпадают с аналогичными кривыми 2(*а*), 2(*b*) при отсутствии их.

С другой стороны, результаты расчетов показали, что дисперсия способствует незначительному запаздыванию фронтов распределения концентрации и насыщенности (при малом значении коэффициента дисперсии — 10^{-8} м^2/с). Это приводят к несколько меньшим коэффициентам нефтеотдачи, чем в случае отсутствия диффузионного эффекта.

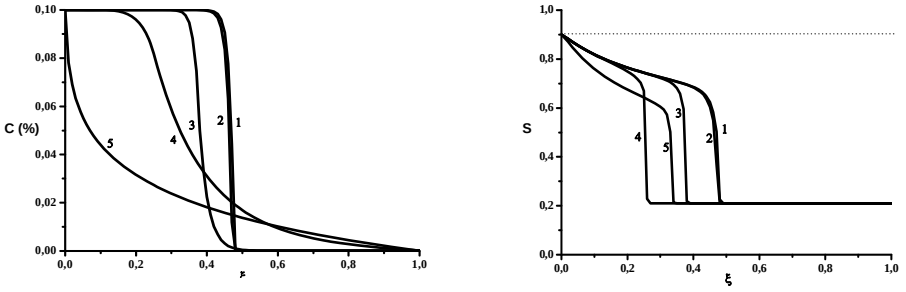


а *б*

Рис. 5. Распределение концентрации и насыщенности раствора WSR-301 по координате для $\tau = 0{,}5$ (*а*) и $\tau = 1{,}0$ (*б*) при различных условиях: *1* — с учетом адсорбции, дисперсии и капиллярных сил; *2* — с учетом адсорбции, дисперсии и без учета капиллярных сил; *3* — с учетом адсорбции, капиллярных сил и без учета дисперсии; *4* — с учетом адсорбции и без учета капиллярных сил и дисперсии

Чтобы оценить влияние дисперсии на процесс полимерного вытеснения, были выполнены расчеты при разных коэффициентах дисперсии $\left(D = 0; D = 10^{-7}; D = 10^{-8}; D = 10^{-6} \text{ и } D = 10^{-7}\right)$ м^2/с.

Сравнение распределений концентрации при $\tau = 0{,}5$ для разных коэффициентов дисперсии дано на рис. 6, *а* и *б*.



а *б*

Рис. 6. Распределение концентрации и насыщенности раствора полимера по координате для $\tau = 0{,}5$ при разных условиях: *1* — $D = 0$ м^2/с; *2* —$D = 10^{-8}$м^2/с; *3* — $D = 10^{-7}$ м^2/с; *4* — $D = 10^{-6}$ м^2/с; *5* — $D = 10^{-4}$ м^2/с

Видно, что дисперсии оказывает существенную роль в процессе вытеснения. Она изменяет профиль концентрации и насыщенности раствора полимера в пористой среде. Результаты расчетов показали, что имеет место сильное «размывание» фронта концентрации и запаздывание фронта насыщенности с увеличением коэффициента диффузии. Так, при больших значениях коэффициента дисперсии концентрация полимера в растворе сразу падает от входного максимального значения и диффузионный фронт существенно замедляет гидродинамический фронт вытеснения.

Выводы

На основе усовершенствованной математической модели процесса полимерного заводнения с учетом нелинейных эффектов, представленных капиллярными силами и дисперсией полимера, показано, что в прискважинной зоне пласта:

дисперсия полимера существенно изменяет профиль концентрации и насыщенность полимерного раствора в пористой среде и способствует «размазыванию» фронта концентрации и запаздыванию фронта насыщенности;

капиллярные силы играют менее существенную роль по сравнению с дисперсией на размывание фронта концентрации и насыщенности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новые перспективы полимерного заводнения в России / С. А. Власов, Н. В. Краснопевцева, Я. М. Каган, А. В. Фомин, А. П. Рязанов // Нефтяное хозяйство. 1998. № 5. С. 46—49.

2. Увеличение нефтеотдачи пластов с помощью водорастворимых полимеров / Г. И. Григорашенко, И. А. Швецов, В. П. Меркулов, В. В. Кукин, Ю. В. Соляков // Нефтяное хозяйство. 1975. № 2. С. 30—33.

3. Применение полимеров в добыче нефти / Г. И. Григорашенко, Ю. В. Зайцев и др. — М. : Недра, 1978. 213 с.

4. *Зак С. А.* Гидродинамический расчет показателей полимерного заводнения нефтяных пластов с учетом зависимости сорбции полимера от насыщенности. : Сб. научн. тр. / ВНИИ, 1986, Вып. 95. С. 76—82.

5. *Леви Б. И.* Исследование процесса полимерного заводнения с использованием полимерных растворов // Нефтяное хозяйство. 1979. № 11. С. 26—29.

6. *Максимов М. М., Рыбицкая Л. П.* Математическое моделирование процессов разработки нефтяных месторождений. М. : Недра, 1976. С. 264.

7. Исследование механизма процессов при физико-химических методах заводнения. Отчет ВНИИ, № Б691912. М. 1978. С. 242.

1. Novye perspektivy polimernogo zavodneniya v Rossii / S. A. Vlasov, N. V. Krasnopevtseva, Ya. M. Kagan, A. V. Fomin, A. P. Ryazanov // Neftyanoe khozyaystvo. 1998. № 5. S. 46—49.

2. Uvelichenie nefteotdachi plastov s pomoshch'yu vodorastvorimykh polimerov / G. I. Grigorashchenko, I. A. Shvetsov, V. P. Merkulov, V. V. Kukin, Yu. V. Solyakov // Neftyanoe khozyaystvo. 1975. № 2. S. 30—33.

3. Primenenie polimerov v dobyche nefti / G. I. Grigorashchenko, Yu. V. Zaytsev i dr. — M. : Nedra, 1978. 213 s.

4. *Zak S. A.* Gidrodinamicheskiy raschet pokazateley polimernogo zavodneniya neftyanykh plastov s uchetom zavisimosti sorbtsii polimera ot nasyshchennosti. : Sb. nauchn. tr. / VNII, 1986, Vyp. 95. S. 76—82.

5. *Levi B. I.* Issledovanie protsessa polimernogo zavodneniya s ispol'zovaniem polimernykh rastvorov // Neftyanoe khozyaystvo. 1979. № 11. S. 26—29.

6. *Maksimov M. M., Rybitskaya L. P.* Matematicheskoe modelirovanie protsessov razrabotki neftyanykh mestorozhdeniy. M. : Nedra, 1976. S. 264.

7. Issledovanie mekhanizma protsessov pri fiziko-khimicheskikh metodakh zavodneniya. Otchet VNII, № B691912. M. 1978. S. 242.

© Корчагин В. А., Крылова М. В., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Корчагин В. А., Крылова М. В. Анализ влияния локальных нелинейных эффектов на вытеснение нефти водным раствором полимера // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 247—255.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 691: 628.511.13

В. Н. Азаров, Н. А. Маринин, Р. А. Бурханова, А. В. Азаров

О ДИСПЕРСНОМ СОСТАВЕ ПЫЛИ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Получены результаты исследования дисперсного состава пыли, поступающей в атмосферу цехов и систему аспирации при производстве строительных материалов: асбестоцементных изделий и гипсового вяжущего. Эти данные можно использовать для оценки качества воздушной среды рабочих зон и подборе, наладке пылеулавливающего оборудования в данных производствах.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дисперсный состав, пыль, производство, выбросы, строительство.

The authors obtained the results of research of disperse structure of dust that passes to the atmosphere of shops and aspiration system when construction materials are produced: asbestos-cement products and alabaster binding materials. These data can be used for an assessment of quality of the air environment of working zones and at selection, adjustment of dust removal equipment in these enterprises.

K e y w o r d s: disperse structure, dust, production, emissions, construction.

В современном мире к опасным и вредным факторам естественного происхождения (повышение и понижение температуры воздуха, атмосферные осадки, грозовые разряды и др.) прибавились многочисленные опасные и вредные факторы антропогенного происхождения, связанные с производственной, хозяйственной и иной деятельностью человека. К таким факторам относится пыль, выделяющаяся при производстве асбестоцементных изделий, обработке гипса на предприятиях, а также при проведении ряда строительных работ. Следует отметить, что во всех случаях в атмосферный воздух попадает значительная доля мелкодисперсной пыли.

При проведении данных исследований была применена методика микроскопического анализа дисперсного состава с применением ПК [1]. Данная методика рекомендована к применению для контроля мелкодисперсной пыли, которая образуется как от организованных, так и от непостоянных технологических процессов (пыль при строительно-отделочных работах, в вентиляционном воздухе предприятий), производстве, хранении и транспортировке сухих измельченных материалов, порошков с малой степенью дисперсности, т. е. производств, которые выбрасывают в атмосферу пыль, состоящую в основном (около 95 %) из мелкодисперсных частиц.

В ходе проведения замеров используют фильтры АФА-ВП-10 или АФА-ВП-20, а также иные пылеулавливающие устройства (ловушки, клейкая лента). Для определения расхода воздуха, а соответственно и концентрации применяют аспираторы, которые отличаются производительностью по воздуху, необходимой для различных режимов отбора (атмосферный воздух, рабочая зона, система аспирации). Далее в лабораторном помещении определяют привес фильтров (для расчета концентрации), а затем проводят фотографирование образцов, увеличенных в 200…2000 раз под микроскопом с помощью микрофотоприставки и ПК. Количество необходимых фотографий зависит от полидисперсности пыли. Снятие изображения с фотоаппарата и последующая обработка производится с помощью любого графического пакета, например Adobe PhotoShop, для сохранения изображения; в формате Windows Bitmap (.bmp) в черно-белом режиме (1 bit/pixel).

Для цифровой обработки изображения разработан программный продукт SPOTEXPLORER V1.0, который позволяет определять форму пылевидных частиц, рассчитать коэффициент их сферичности, от которого зависит сопротивление среды относительному движению частицы. Кроме того, программа строит интегральные и дифференциальные функции распределения частиц по эквивалентным диаметрам и ряду других характеристик. Результаты измерений оформляются протоколом в виде таблиц, графиков и гистограмм распределения частиц по определяющему параметру (размеру, массе, скорости седиментации и т. п.).

Одной из задач проведенных исследований являлось определение вредного загрязнения в воздушной среде по производству асбестоцементных изделий. Как известно, асбестом называют группу минералов, имеющих волокнистое строение и при механическом воздействии способных распадаться на тончайшие волокна. Асбест обладает большой адсорбционной способностью. А в смеси с портландцементом при смачивании водой он адсорбирует, т. е. хорошо удерживает на своей поверхности продукты гидратации цемента, связывающие волокна асбеста, поэтому асбестоцемент является как бы тонкоармированным цементным камнем. Состояние рабочей зоны данных производств характеризуется присутствием в воздухе пыли сложного химического состава, так называемой смешанной пыли, в которой наряду с двуокисью кремния имеются различные окислы металлов (пыль цветного асбестоцемента), которые могут иметь как собственное фиброгенное действие, так и оказывать влияние на степень фиброгенности кремнезема. Свойства оседаемости и летучести пыли зависят от комбинации многих факторов: удельного веса пыли, поверхности, формы, их влажности, электрического состояния и температуры. С другой стороны, явления оседания и диффузии зависят и от окружающего воздуха, его плотности, движения, электрического состояния и т. д. [2]. При этом основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносится выбросами пыли с размерами частиц до 10 мкм.

Научные исследования последних лет [3] доказывают, что мелкодисперсные взвешенные частицы $PM_{2,5}$ (размер частиц менее 2,5 мкм) могут нанести серьезный вред здоровью человека посредством попадания в легкие и альвеолы, что приводит к сердечнососудистым и респираторным заболеваниям. Термин «вдыхаемый асбест» означает асбестовые волокна длиной

более 5 мм, диаметром менее 3 мм и отношением между длиной и диаметром не менее чем 3 : 1 [4]. Кроме того, необходимое нормирование содержания в воздухе мелкодисперсных частиц с учетом их размеров, а не состава представляется более целесообразным.

Для исследования основных свойств пыли отбор проб осуществлялся из систем аспирации, обслуживающих технологическое оборудование и процессы, характеризующиеся наиболее интенсивным пылеобразованием. Графическое изображение результатов представлено в виде интегральных функций распределения $D(d_ч)$ массы частиц по диаметрам (рис. 1).

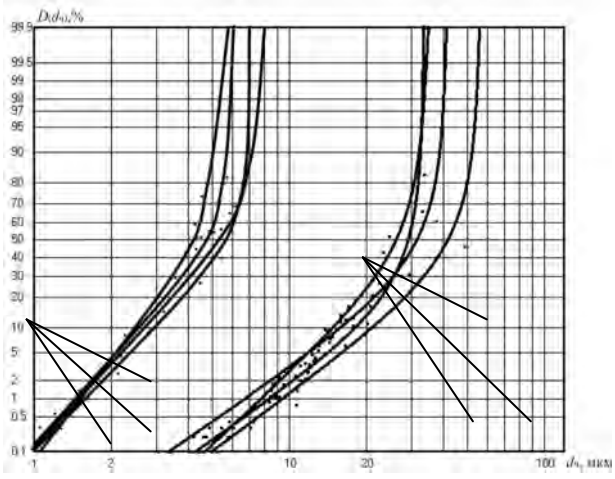


Рис. 1. Интегральные кривые распределения $D(d_ч)$ массы частиц по диаметрам при производстве асбестоцементных изделий для пыли: *1* — выделяющейся в окружающую среду на границе санитарно-защитной зоны предприятия; *2* — выделяющейся в воздух рабочей зоны

На рис. 1 значения доли частиц асбестоцементной пыли в воздухе рабочей зоны изменяются для PM_{10} — 1,3…2,5 % и в воздухе на границе санитарно-защитной зоны предприятия для $PM_{2,5}$ — 6…10 %. Для воздуха рабочей зоны данного производства в настоящее время предельно допустимых нормативов для PM_{10} и $PM_{2,5}$ не существует, поэтому мы можем предполагать условное превышение.

Гипсовое вяжущее или гипсовый камень находит широкое применение в строительстве, медицине, прикладном и декоративном искусстве, сельском хозяйстве, цементной и химической промышленности, так как гипс и изделия на его основе обладают рядом ценных свойств.

Технологический процесс производства гипсового вяжущего представляет собой дегидратацию гипса сыромолотого в гипсоварочном котле. Гипсовый и гипсоангидритовый камень поставляется производителю фракциями 60…300 мм. Для фракций 60…300 мм содержание камня размером менее 60 мм не превышает 5 %, а более 300 мм — 15 %; при этом максимальный размер камня не более 350 мм. Сырье транспортируется к приемному бункеру корпуса дробления и сортировки, где пластинчатым питателем подается в щековую дробилку. При падении материала и работе щековой дробилки происходит пылевыделение.

Для предотвращения неорганизованного выброса гипсовой пыли в рабочую зону помещения дробилки и гипсоварочного цеха организуется система аспирации дробилки и узлов перегрузки гипсового камня с конвейера на конвейер.

При поиске методов и способов улучшения эффективности работы систем аспирации, выборе оптимального режима работы пылегазоочистного оборудования необходимо исследовать свойства и состав гипсовой пыли, в особенности ее дисперсного состава (рис. 2).

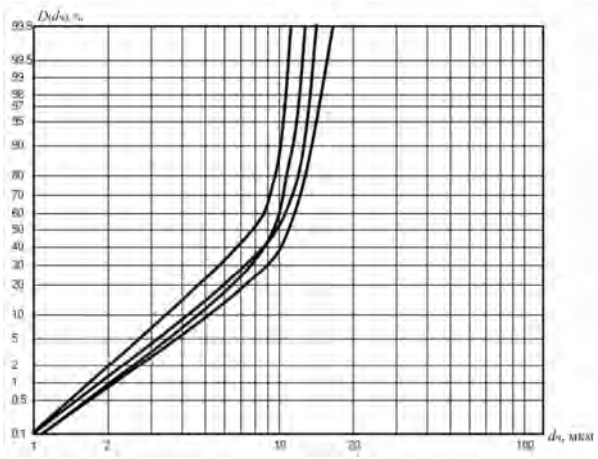


Рис. 2. Интегральная функция распределения $D(d_ч)$ массы частиц по диаметрам в воздухе рабочей зоны для гипсового вяжущего.

Значения доли частиц изменяются для PM_{10} — 35…90 % и $PM_{2,5}$ — 1,5…3,5 %.

На основании проведенных исследований можно судить о наличии в воздухе рабочей зоны мелкодисперсной пыли и оценить процентное содержание частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в общей концентрации вредных загрязняющих веществ. Для асбестоцементной пыли доля от общей массы будет равна для PM_{10} — 4 %, для $PM_{2,5}$ — 0,1 %. Аналогично для гипсовой пыли доля PM_{10} составляет 80 % от общей массы, аналогично для $PM_{2,5}$ — 6 %.

Таким образом, можно утверждать, если будет выполняться норматив, утвержденный для максимально разовой концентрации пыли в воздушной среде населенных мест для указанных производств (0,2 мг/м^3 — асбестоцементная и гипсовая пыли), то будет выполняться и норматив для максимально разовых значений PM_{10} и $PM_{2,5}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.

2. *Сатарин В. И., Акопян В. А.* Асбестоцементная промышленность. — М., 2002. — 352 с.

3. Об исследовании аэродинамических характеристик асбестоцементной пыли в воздухе рабочей зоны / В. Н. Азаров, О. В. Бурлаченко, Р. А. Бурханова, Н. А. Маринин // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 1 (20).

4. Технология важнейших отраслей промышленности : учеб. для эконом. спец. вузов / под ред. А. М. Гинберга, Б. А. Хохлова. — М. : Высш. шк.., 2005. — 248 с.

1. Metodika mikroskopicheskogo analiza dis-persnogo 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.

2. *Satarin V. I., Akopyan V. A.* Asbestotsementnaya promyshlennost'. — M., 2002. — 352 s.

3. Ob issledovanii aerodinamicheskikh kharakteristik asbestotsementnoy pyli v vozdukhe rabochey zony / V. N. Azarov, O. V. Burlachenko, R. A. Burkhanova, N. A. Marinin // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2012. Vyp.1 (20).

4. Tekhnologiya vazhneyshikh otrasley promyshlennosti : ucheb. dlya ekonom. spets. vuzov / pod. red. A. M. Ginberga, B. A. Khokhlova. — M. : Vyssh. shk.., 2005. — 248 s.

© Азаров В. Н., Маринин Н. А., Бурханова Р. А., Азаров А. В., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

О дисперсном составе пыли в воздушной среде в производстве строительных материалов / В. Н. Азаров, Н. А. Маринин, Р. А. Бурханова, А. В. Азаров // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 256—260.

УДК 628. 511:691.002

Д. П. Боровков, Д. А. Скориков

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗАКРУТКИ ПОТОКА В СИСТЕМАХ АСПИРАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Описаны причины возникновения пылевых отложений в воздуховодах систем аспирации предприятий строительной индустрии и способ предотвращения их образования посредством организации закрутки потока. Даны характеристики закрученного аспирационного потока. Приведены результаты теоретических и практических исследования, описана промышленная реализация предлагаемых решений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: система аспирации, закрученные потоки, пылевые отложения.

The reasons of emersion of dust deposits in air ducts of systems of aspiration of construction industry enterprises and the way of prevention of their emersion due to stream swirl are described in the article. Characteristics of swirling aspiration stream are given. The results of theoretical and practical researches are provided in the article, the industrial implementation of proposed solutions is described.

K e y w o r d s: aspiration system, swirling streams, dust deposits.

В виду вероятностного характера процессов механического измельчения материалов, характерного для строительной отрасли, максимальный диаметр частиц пылевидного материала является случайной величиной. Несмотря на то, что вероятность значительного отклонения максимального диаметра пылевых частиц от своего среднего значения невелика, величина этого отклонения может быть существенной. Таким образом, в течение достаточно длительного промежутка времени число случаев превышения расчетной величины максимального диаметра частиц пылевидного материала может стать значительным. Попадание в аспирационную сеть частиц, диаметр которых превышает максимальный расчетный, может привести к выпадению их из газового потока и отложению на дне и стенках воздуховода [1].

Еще одним фактором, обуславливающим образование отложений пылевых частиц в воздуховодах систем аспирации строительных производств, является изменение количества аспирационного газа, отводимого от оборудования. Подобная ситуация может возникнуть в ряде случаев, таких как изменение технологической нагрузки или отключение некоторого количества единиц аспирируемого оборудования; отключение части пылеулавливающих аппаратов (например при регенерации рукавных фильтров). Учитывая тот факт, что величина аспирационного объема, который необходимо удалять от оборудования для обеспечения его нормальной работы, лежит в определенных пределах и, как правило, регламентирована для большинства видов оборудования, необходимым условием его надежного и экономичного функционирования является способность системы аспирации обеспечивать проектную величину аспирационного объема. При существенном понижении объема аспирационного газа, отводимого от оборудования системой аспирации, может начаться процесс образования пылевых отложений на внутренних поверхностях воздуховодов.

Одним из возможных решений проблемы недостаточной транспортирующей способности газового потока является организация его закрутки [2, 3, 4]. Закрученный поток характеризуется большей, в сравнении с осевым,

способностью приводить в движение и транспортировать пылевидные материалы по горизонтальным воздуховодам, в виду наличия тангенциальной составляющей скорости в пристенной зоне течения [5].

Для описания закономерностей, характеризующих турбулентное течение несжимаемого изотермического закрученного газового потока, при поиске инженерных решений представляется рациональным использование интегральных методов записи законов сохранения [5]:

$$2\pi\int_0^R\left(P+\rho w_x^2\right)rdr=K; \tag{1}$$

$$2\pi\int_0^R\rho w_x w_\varphi r^2 dr=M. \tag{2}$$

Выражения (1) и (2) являются полным импульсом осевого движения и моментом импульса в осевом направлении соответственно. Из (1) и (2) с учетом вышеназванных допущений следует

$$\tau_x=-\frac{1}{2\pi R}\frac{dK}{dx}; \tag{3}$$

$$\tau_\varphi=-\frac{1}{2\pi R^2}\frac{dM}{dx}. \tag{4}$$

Следует отметить, что влияние закрутки на интенсивность процессов взаимодействия закрученного потока со стенкой канала можно охарактеризовать также углом закрутки потока на поверхности канала:

$$\mathrm{tg}\beta=w_\varphi/w_x.$$

Ввиду того, что в ламинарном пограничном подслое величина радиальной составляющей скорости незначительна, можно считать

$$\mathrm{tg}\beta=\frac{\tau_\varphi}{\tau_x}. \tag{5}$$

Таким образом, интегральные параметры закрученного потока M и K определяют как параметр закрутки потока, так и касательные напряжения на поверхности канала [5]. Данный факт позволяет рассматривать их как основу при разработке инженерных методов расчета закрученных течений.

В настоящий момент широкое распространение в качестве параметра, характеризующего интенсивность закрутки потока, получил так называемый интергальный параметр [5]:

$$\Phi^*=\frac{M}{RK}=\left(2\pi\rho\int_0^R w_x w_\varphi r^2 dr\right)\Big/\left(R2\pi\rho\int_0^R w_x^2 rdr\right). \tag{6}$$

При одинаковых значениях Φ^* в каналах различного диаметра, в различных сечениях при течении газов и капельных жидкостей имеет место практически полная идентичность профилей осевой и тангенциальной составляющих скоростей.

Наиболее значимыми сведениями об аэродинамических свойствах закрученного потока для определения условий движения аспирационных частиц являются данные о затухании интенсивности закрутки по длине воздуховода. Согласно данным обобщения теоретических и экспериментальных исследований [5] затухание закрутки по длине цилиндрического канала при прохождении закрученного потока имеет экспоненциальный вид

$$\begin{aligned} &\text{при } X < X_1\text{: } \Phi^*_{\text{кон}} = \Phi^*_0 \exp\left(\left(p_2 - p_1\right)X_1 - p_2 X\right); \\ &\text{при } X < X_1\text{: } \Phi^*_{\text{кон}} = \Phi^*_0 \exp\left(-p_1 X\right). \end{aligned} \qquad (7)$$

Следует также отметить, что наибольший интерес вызывает аэродинамика пристенной зоны закрученного течения, в виду того что именно в ней, согласно данным экспериментальных наблюдений, происходит движение подавляющей массы апирационных частиц. Зависимость, описывающая распределение касательных напряжений в пристеночной области, имеет вид

$$\tau_x = \tau_0\left(1 + 0{,}15\,\mathrm{Re}^{0{,}25}\,\Phi^{*0{,}85}\right). \qquad (8)$$

Для практических инженерных расчетов аспирационных сетей необходимы зависимости, позволяющие определять аэродинамическое сопротивление закрученному потоку. Применительно к потерям давления закрученного потока в цилиндрическом канале уравнение, характеризующее затраты энергии, имеет вид

$$\Delta E = \left(P_c - P_a\right)\pi R^2 \overline{w}_x^2 = \Delta P_c \pi R^2 \overline{w}_x . \qquad (9)$$

Коэффициент аэродинамического сопротивления закрученному потоку, протекающему по воздуховоду, имеющему круглое сечение $\lambda\varphi$ определяется при помощи зависимости [5]

$$\lambda_\varphi = \lambda_0\left(1 + 1{,}85\left(\overline{\Phi^*} - 0{,}19\right)^{1{,}43}\right). \qquad (10)$$

Определение значения величины осредненного по длине воздуховода интегрального параметра интенсивности закрутки $\overline{\Phi}^* = 1/l\int_0^l \Phi^*(x)\,dx$ осуществляется интегрированием (7)

$$\begin{aligned} &\text{при } X < X_1 : \overline{\Phi^*} = \frac{\Phi^*_0}{X}\left(\frac{\exp\left(-p_1 X\right) - 1}{-p_1}\right); \\ &\text{при } X > X_1 : \overline{\Phi^*} = \frac{\Phi^*_0}{X}\left(\begin{array}{l} \dfrac{\exp\left(-p_1 X\right) - 1}{-p_1} + \\ + \dfrac{\exp\left(\left(p_2 - p_1\right)X_1 - p_2 X\right) - \exp\left(\left(p_2 - p_1\right)X_1 - p_2 X_1\right)}{-p_2} \end{array}\right). \end{aligned} \qquad (11)$$

Важно также отметить, что, согласно экспериментальным данным, аэродинамическое сопротивление закрученному двухфазному потоку отличается от сопротивления чистому газовому потоку уже при значениях массовой концентрации твердой фазы ε > 0,004, что меньше аналогичного значения, характерного для осевых двухфазных газовых потоков, ε > 0,01.

С целью описания движения частицы, в качестве главного допущения принята ее шарообразная форма, а также равномерность распределения массы по объему. При рассмотрении движения принято, что частица движется по внутренней поверхности воздуховода, так как это наиболее тяжелые условия движения. Предварительный анализ показывает, что на частицу, движущуюся в закрученном аспирационном потоке значимое влияние оказывают: сила сопротивления обтеканию газовым потоком, сила тяжести, нормальная реакция стенки воздуховода, сила трения между поверхностями частицы и воздуховода. Кроме того, в случае наличия качения частицы существенное влияние оказывает сила Магнуса, обусловленная присоединением вращающихся масс газа, момент инерции качения и момент сопротивления обтеканию потоком. Уравнения, характеризующие движение твердой частицы по горизонтальному цилиндрическому воздуховоду, имеют вид

$$\frac{dV_x}{dt} = -g_x + \frac{F_\mu}{m}\cos\gamma - \frac{F_{mp}}{m}\cos\alpha;\ V_x = -\frac{\delta}{2}\omega_\varphi = 0;\ V_\varphi + \frac{\delta\omega_\varphi}{2} = 0;$$

$$\frac{d\omega_\varphi}{dt} = -\frac{V_\varphi}{\varsigma}\omega_\varsigma + \left(\frac{F_\mu}{m}\xi K_1\cos\gamma' + \frac{F_1}{m}\cos\alpha - \frac{f'N}{m}\cos\alpha\right)\frac{\delta}{2i^2};$$

$$\frac{dV_\varphi}{dt} = -\frac{F_\mu}{m}\sin\gamma - \frac{F_1}{m}\sin\alpha - g_\varphi; \qquad (12)$$

$$\frac{d\omega_x}{dt} = \left(\frac{F_\mu}{m}\xi K_1\sin\gamma' + \frac{F_{mp}}{m}\sin\alpha - \frac{f'N}{m}\sin\alpha\right)\frac{\delta}{2i^2};$$

$$\frac{dV_\varsigma}{dt} - \frac{V_\varphi^2}{2} = -N + g_\varsigma;\ \frac{dw_\varsigma}{dt} = \frac{V_\varphi}{\varsigma}\omega_\varphi - \frac{M_{\mu\varsigma}}{mi^2}.$$

С целью выяснения характера движения частицы проведен ряд вычислительных экспериментов, результатом которых является вывод о не соблюдении условия, характеризующего отсутствие проскальзывания во всем диапазоне

$$\frac{F_{mp}}{m} \le f\left(\frac{2V_\varphi^2}{2R-\delta} + g\right). \qquad (13)$$

То есть движение частицы происходит без качения, при этом уравнения характеризующие движение частицы в цилиндрических координатах имеют вид

$$\frac{dV_x}{dt}=\frac{(\delta/2)^2}{i+(\delta/2)^2}\left(-g_x-\frac{V_\varphi\omega_\varsigma\delta}{(2R-\delta)}\frac{i^2}{(\delta/2)^2}-\right.$$

$$\left.-\frac{f'N}{m}\cos\alpha+\frac{F_\mu}{m}\cos\gamma+\frac{F_\mu}{m}\xi K\cos\gamma'\right);$$

$$\frac{dV_\varphi}{dt}=\frac{(\delta/2)^2}{i+(\delta/2)^2}\left(\frac{F_\mu}{m}\sin\gamma+\frac{F_\mu}{m}\xi K\sin\gamma'-\frac{f'N}{m}\sin\alpha-g_\varphi\right);$$

$$\frac{F_{mp}}{m}\cos\alpha=\frac{i^2}{i^2+(\delta/2)^2}\left(g_x-\frac{F_\mu}{m}\cos\gamma-\frac{V_\varphi\omega_\varsigma\delta}{(2R-\delta)}\right)+ \qquad (14)$$

$$+\frac{(\delta/2)^2}{i^2-(\delta/2)^2}\frac{F_{mp}}{m}\xi K\cos\gamma'-\frac{(\delta/2)^2}{i^2-(\delta/2)^2}\frac{f'N}{m}\cos\alpha;$$

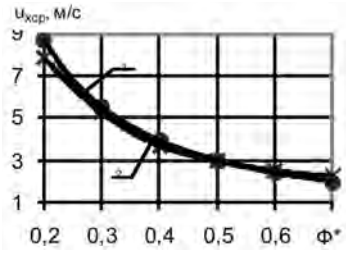
$$\frac{F_{mp}}{m}\sin\alpha=\frac{i^2}{i^2+(\delta/2)^2}\times$$

$$\times\left(\frac{F_\mu}{m}\sin\gamma-\frac{i^2}{i^2+(\delta/2)^2}\frac{F_\mu}{m}\xi K\sin\gamma'-\frac{(\delta/2)^2}{(\delta/2)^2-i^2}\frac{f'N}{m}-\sin\alpha\right).$$

Анализ результатов визуального наблюдения позволил установить, что достаточным признаком устойчивого транспортирования пылевидных частиц в горизонтальном газовом закрученном потоке является движение частицы по внутреннему радиусу стенки воздуховода со спиралевидной траекторией. Следовательно, условие устойчивого перемещения твердой пылевидной частицы в горизонтальном газовом закрученном потоке можно сформулировать как наличие у нее тангенциальной скорости во всех точках поперечного сечения воздуховода, что позволяет упростить задачу, сведя ее к плоскостной. Уравнение, описывающее окружную составляющую скорости частицы, имеет вид

$$\frac{dV_\varphi^2}{d\varphi}=\frac{3}{2}\frac{rc_x\pi\rho_ч\left(w_\varphi-V_\varphi\right)^2}{\delta\rho_ч}-2fV_\varphi^2-2rg\left(f\cos(\varphi)+\sin(\varphi)\right). \qquad (15)$$

На рис. представлены результаты определения скорости уноса частиц кварцевого песка закрученным воздушным потоком со дна горизонтального воздуховода. В диапазоне значений Φ^*= 0,2…0,7 расчетные значения близки к результатам, полученным экспериментальным путем. Дисперсия апроксимации экспериментальных результатов, полученной теоретической зависимостью, составляет R^2 = 0,87.



Результаты определения скорости уноса частиц кварцевого песка с эквивалентным диаметром частиц $\delta \le 500$ мкм закрученным воздушным потоком со дна горизонтального воздуховода: *1* — расчет; *2* — эксперимент

Как следует из полученных результатов, наиболее интенсивное уменьшение значения минимальной скорости уноса частиц происходит в диапазоне значений интегрального параметра закрутки газового потока $\Phi^* = 0{,}2\ldots0{,}7$. При дальнейшем увеличении интенсивности закрутки потока интенсивность снижения скорости уноса падает, что делает неоправданным дальнейшее увеличение интенсивности закрутки в виду возрастания сопротивления движению газового потока.

В настоящий момент закрутка потока в опытном порядке внедрена на ряде аспирационных систем предприятий строительной индустрии, в частности в системе аспирации сушильного барабана кирпичного цеха № 2 Себряковского комбината асбестоцементных изделий ОАО «СКАИ».

Из-за больших габаритов и компоновочных особенностей пылеулавливающей установки, а также в связи с плотной компоновкой технологического оборудования на территории цеха пылеуловители размещены на значительном расстоянии от сушильного барабана, в виду чего аспирационная сеть имеет значительную протяженность горизонтальных воздуховодов. Сушильный барабан подготавливает сырье для трех технологических линий по производству керамического кирпича и в случае плановой или профилактической остановки одной или двух линий его производительность может понижаться в два-три раза. В целях снижения расхода тепловой энергии и уноса пыли в систему аспирации расход газа, отводимого от барабана, снижается пропорционально его производительности.

Для предотвращения образования пылевых отложений в воздуховодах системы аспирации стандартный аспирационный отвод в месте соединения вертикального воздуховода, отходящего от сушильного барабана, и горизонтального воздуховода, присоединенного к пылеулавливающей установке, заменен на комбинированный тангенциальный отвод — закручиватель [6].

Результаты опытно-промышленных испытаний системы аспирации после реконструкции показывают, что при работе в режиме пониженного на две трети расхода аспирационного газа потери давления системы аспирации с комбинированным тангенциальным отводом — закручивателем, работающем в режиме закрутки потока, лишь незначительно (на 4,5 %) больше потерь при аналогичном режиме работы системы аспирации до реконструкции. При этом условия транспортирования пылевидных частиц в горизонтальном воздуховоде значительно улучшаются по сравнению с условиями, наблюдаемыми при осевом течении аспирационного потока.

Таким образом, внедрение закрутки потока позволяет обеспечить надежное функционирование системы аспирации при сниженной величине аспирационного объема. При проведении реконструкции не требуется каких-либо существенных изменений в аспирационной сети и замены тягодутьевого оборудования, а также существенного увеличения затрат энергии и прочих эксплуатационных затрат.

Выводы:

1. Аспирационные сети предприятий строительной отрасли в ряде случаев подвержены образованию пылевых отложений в виду полидисперсности пылей и наличии изменений расхода очищаемого газа.

2. Организация закрутки потока позволяет улучшить условия транспортирования пылевидных материалов в горизонтальных воздуховодах систем аспирации.

3. Для описания характеристик закрученного газового потока, при поиске инженерных решений наиболее рационально использовать интегральные полуэмпирические методы.

4. На основании обобщения аналитических закономерностей и визуальных наблюдений получена расчетная модель для определения скорости устойчивого перемещения твердой пылевидной частицы в горизонтальном газовом закрученном потоке.

5. Оптимальные значения интенсивности закрутки потока в воздуховодах систем аспирации лежат в области слабой закрутки потока $\Phi^* = 0{,}2..0{,}7$.

6. Организация закрутки аспирационного потока позволяет обеспечить надежное функционирование системы аспирации при сниженной величине аспирационного объема, без каких-либо существенных изменений в аспирационной сети и замены тягодутьевого оборудования, а также существенного увеличения затрат энергии и прочих эксплуатационных затрат.

Условные обозначения:

F, P — сила; p — давление; w — скорость газа; V — скорость твердой частицы; L, l — длина; x — осевая координата; R — радиус сечения воздуховода, м; r — радиальная координата; g — ускорение свободного падения; c_x — коэффициент аэродинамического сопротивления пылевой частицы; N — нормальная реакция стенки воздуховода; f — коэффициент трения пылевой частицы о стенку воздуховода; i — радиус инерции; Φ^* — интегральный параметр закрутки потока; α — угол наклона; λ — коэффициент гидравлического сопротивления; φ — угловая координата; δ — размер твердой частицы; ν — кинематическая вязкость; ρ — плотность; K — коэффициент пропорциональности; ξ — коэффициент, характеризующий аэродинамические свойства частицы. Индексы ч — частица; x — осевой; φ — тангенциальный; r — радиальный.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Желтобрюхов В. Ф., Боровков Д. П.* Анализ причин забивания систем аспирации строительной отрасли // Науч.-практ. конф. «Проблемы охраны производственной и окружающей среды». — Волгоград, 2001. — С. 84—87.

2. *Азаров В. Н., Боровков Д. П.* Применение закрученных потоков в системах аспирации строительной отрасли // Объединенный научный журнал. 2003. № 5 (63). С. 102—104.

3. *Азаров В. Н., Боровков Д. П.* Об использовании закрутки потока в аспирационных системах на предприятиях строительной индустрии // Вестник отделения строительных наук. 2012. Вып. 16. Т. 2. С. 12—17.

4. *Азаров В. Н., Боровков Д. П.* Применение закрутки потока в системах аспирации на предприятиях строительной индустрии // Строительные материалы. 2012. № 5. С. 1—4.

5. *Щукин В. К., Халатов А. А.* Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. — М. : Машиностроение, 1982. —200 с.

6. Пат. на полезную модель РФ № 35325 МКИ 7 В 65 G 53/52. Устройство для очистки воздуховодов систем аспирации, находящихся под избыточным давлением / В. Н. Азаров, В. Ф. Желтобрюхов, Д. П. Боровков ; Заявлено 05.06.2003. Опубл. 10.01.2004. Бюлл. № 1. — 2 с.

1. *Zheltobryukhov V. F., Borovkov D. P.* Analiz prichin zabivaniya sistem aspiratsii stroitel'noy otrasli // Nauch.-prakt. konf. «Problemy okhrany proizvodstvennoy i okruzhayushchey sredy». — Volgograd, 2001. — S. 84—87.

2. *Azarov V. N., Borovkov D. P.* Primenenie zakruchennykh potokov v sistemakh aspiratsii stroitel'noy otrasli // Ob"edinennyy nauchnyy zhurnal. 2003. № 5 (63). S. 102—104.

3. *Azarov V. N., Borovkov D. P.* Ob ispol'zovanii zakrutki potoka v aspiratsionnykh sistemakh na predpriyatiyakh stroitel'noy industrii // Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk. 2012. Vyp. 16. T. 2. S. 12—17.

4. *Azarov V. N., Borovkov D. P.* Primenenie zakrutki potoka v sistemakh aspiratsii na predpriyatiyakh stroitel'noy industrii // Stroitel'nye materialy. 2012. № 5. S. 1—4.

5. *Shchukin V. K., Khalatov A. A.* Teploobmen, massoobmen i gidrodinamika zakruchennykh potokov v osesimmetrichnykh kanalakh. — M. : Mashinostroenie, 1982. —200 s.

6. Pat. na poleznuyu model' RF № 35325 MKI 7 V 65 G 53/52. Ustroystvo dlya ochistki vozdukhovodov sistem aspiratsii, nakhodyashchikhsya pod izbytochnym davleniem / V. N. Azarov, V. F. Zheltobryukhov, D. P. Borovkov ; Zayavleno 05.06.2003. Opubl. 10.01.2004. Byull. № 1. — 2 s.

© Боровков Д. П., Скориков Д. А., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Боровков Д. П., Скориков Д. А. Об использовании закрутки потока в системах аспирации производства строительных материалов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 261—268.

УДК 658.345

В. А. Сенченко

ПРОБЛЕМЫ ВНЕШНЕГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ УСЛОВИЙ И ОХРАНЫ ТРУДА НА МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

При существующей системе управления охраной труда малые предприятия строительной отрасли практически выпадают из внутреннего и внешнего контроля состояния условий и охраны труда. А работодатель не достаточно мотивирован соблюдать необходимые требования охраны труда на малых предприятиях строительной отрасли. В результате состояния условий и охраны труда требуют улучшения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: условия и охрана труда в организациях строительной отрасли, внешний контроль состояния условий и охраны труда, охрана труда на малых предприятиях строительной отрасли.

With the existing control system of labour protection small construction enterprises practically drop out of internal and external control of labour conditions and protection. An employer is not motivated enough to observe necessary requirements of labour protection at small construction enterprises. As a result labour conditions and protection is to be improved.

K e y w o r d s: labour conditions work protection in construction organizations, external control of labour conditions and protection, labor protection at small construction enterprises.

В настоящее время государственный контроль (надзор) за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, осуществляется федеральной инспекцией труда. В регионах — Государственной инспекцией труда субъекта Российской Федерации. Данная норма закреплена в статье 353 Трудового кодекса РФ [1].

В табл. 1 и 2 приводятся данные о распределении организаций и индивидуальных предпринимателей по видам экономической деятельности в Волгоградской области на 01.10.2012 г. [2].

Т а б л и ц а 1

Распределение организаций
по видам экономической деятельности на 1 октября 2012 г.

Виды экономической деятельности	Число организаций
Всего учтено субъектов	52 943
Из них: сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	2529
рыболовство, рыбоводство	70
добыча полезных ископаемых	122
обрабатывающее производство	3934
производство и распределение электроэнергии, газа и воды	638
строительство	4878
оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	15 362
гостиницы и рестораны	1232
транспорт и связь	2834
финансовая деятельность	1078
операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление	9471

Окончание табл. 1

Виды экономической деятельности	Число организаций
государственное управление и обеспечение военной безопасности; обязательное социальное обеспечение	1816
образование	2773
здравоохранение и предоставление социальных услуг	1192
предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	4978
иные виды деятельности	36

Таблица 2

Распределение индивидуальных предпринимателей по видам экономической деятельности на 1 октября 2012 г.

Виды экономической деятельности	Число организаций
Всего учтено субъектов	73 849
Из них: сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	5917
рыболовство, рыбоводство	221
добыча полезных ископаемых	5
обрабатывающее производство	3527
производство и распределение электроэнергии, газа и воды	28
строительство	2095
оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	38 493
гостиницы и рестораны	1128
транспорт и связь	9509
финансовая деятельность	419
операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	8082
образование	294
здравоохранение и предоставление социальных услуг	422
предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	3663
иные виды деятельности	46

По данным табл. 1 и 2, в Волгоградской области на 01.10.2012 г. зарегистрировано всего 52 943 предприятий. Из них занятых в строительстве 4872 предприятия. Индивидуальных предпринимателей зарегистрировано всего 73 849 единиц. Из них занятых в строительстве 2095 единиц. Таким образом, в Волгоградской области всего организаций и индивидуальных предпринимателей насчитывается 126 792 единицы, в том числе занятые в строительстве 6967 единиц.

В табл. 3 приводится отчет о работе территориального органа Федеральной службы по труду и занятости — Государственной инспекции по труду и занятости в Волгоградской области за 1-е полугодие 2012 г. (по форме № 21 — ГИТ (полугодовая)) [3]. Данная форма отчета утверждена приказом Роструда от 07.11.2005 г. № 347 и заполняется ежемесячно [4].

Таблица 3

Отчет
о работе территориального органа Федеральной службы по труду и занятости — Государственной инспекции по труду и занятости
в Волгоградской области за 1-е полугодие 2012 г.
(форм № 21 — ГИТ (полугодовая))

Наименование показателей	Количество проверок
Раздел 1. Сведения о проведенных проверках	
Общее количество проверок, проведенных в отношении юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, всего	848,00
в том числе: в отношении хозяйствующих субъектов малого предпринимательства	601,00
Из общего количества проверок (строка 1) проведено:	
государственными инспекторами труда (по правовым вопросам)	686,00
государственными инспекторами труда (по охране труда)	162
Из общего количества проверок (строка 1) проведено в организациях, осуществляющих следующие виды экономической деятельности	
сельское хозяйство, охота и предоставление услуг в этой области, всего	40
лесное хозяйство и предоставление услуг в этой области, всего	1
рыболовство, рыбоводство, всего	1
добыча полезных ископаемых, всего	7
в том числе: добыча каменного угля, бурого угля и торфа	0
добыча сырой нефти и природного газа	7
добыча металлических руд	0
Обрабатывающие производства, всего	107
в том числе: производство пищевых продуктов и напитков	32
обработка древесины и производство изделий из дерева	9
химическое производство	22
производство изделий из бетона, гипса и цемента	4
металлургическое производство	13
производство машин и оборудования	27
Производство, передача и распределение электроэнергии, всего	12
Строительство, всего	100
Оптовая и розничная торговля, ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования, всего	117

Окончание табл. 3

Наименование показателей	Количество проверок
Гостиницы и рестораны, всего	19
Транспорт и связь, всего	36
в том числе: деятельность сухопутного транспорта	29
деятельность водного транспорта	0
деятельность воздушного транспорта	0
связь	7
Финансовая деятельность, всего	9
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг, всего	19
Государственное управление, обеспечение военной безопасности, обязательное социальное обеспечение, всего	84
в том числе: государственное управление общего и социально-экономического характера	34
предоставление государством услуг обществу в целом	50
Образование, всего	70
Здравоохранение и предоставление социальных услуг, всего	74
Предоставление коммунальных, социальных и персональных услуг, всего	152

Согласно табл. 3 общее количество проверок предприятий и организаций всех форм собственности за 1-е полугодие 2012 г. в Волгоградской области составляет 848 единиц, проверок, проведенных на предприятия строительной отрасли всего 100. Государственная инспекция по труду по своему составу делится на правовых инспекторов и инспекторов по охране труда. Соответственно инспектора по охране труда проводят проверки на предмет соблюдения требований охраны труда.

Из табл. 3 из общего количество числа проверок, проведенных инспекторами по правовым вопросам, составляет 686 единиц (80,9 % из общего количества проверок), государственными инспекторам по охране труда 162 единицы (19,1 % из общего количества проверок). Таким образом, если пропорции в проверках соблюдаются и на предприятиях строительной отрасли, то за 6 месяцев 2012 г. было проверено всего 19 предприятий по вопросам охраны труда. В процентном содержании к общему количеству предприятий строительной отрасли, зарегистрированных на территории Волгоградской области, это составит 0,27 % за 6 месяцев, или 0,52 % за год. А если из этой цифры выделить малые предприятия строительной отрасли, то получится еще меньше.

Таким образом, государственному контролю по вопросам охраны труда малые предприятия строительной отрасли охвачены менее чем на 0,5 % в год. При таких темпах проведения проверок понадобится 200 лет, чтобы проверить все малые предприятия строительной отрасли. Поэтому можно сказать, что системного контроля состояния условий и охраны труда на малых пред-

приятиях строительной отрасли со стороны государства нет. Контроль осуществляется практически только при наличии жалобы или происшествии смертельного или тяжелого несчастного случая.

В соответствие с разделом 4.4 ГОСТ Р 12.0.009—2009 «Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда на малых предприятиях. Требования и рекомендации по применению» функционирование системы управления охраной труда на малом предприятии должно регулярно проверяться.

Контроль функционирования системы представляет собой непрерывную деятельность по проверке выполнения мероприятий коллективных договоров, планов мероприятий по улучшению и оздоровлению условий труда, направленных на обеспечение охраны труда, профилактику опасностей, рисков и мероприятий по внедрению системы управления охраной труда.

Как видно из статистических данных, контроль за состоянием охраны труда на малых предприятиях со стороны надзорного органа по охвату предприятий имеет незначительный характер.

Практика работы малых предприятий строительной отрасли (по данным Волгоградского центра охраны труда и экологии «От А до Я») показывает, что работодатель, как правило, не ведет системной работы в области охраны труда, в организации отсутствует квалифицированный специалист по охране труда и не заключен договор на абонентское обслуживание с организацией и специалистом в области охраны труда. Работа в области охраны труда, как правило, ведется бессистемно. Медицинские осмотры проводятся от случая к случаю, средства индивидуальной защиты работодатель приобретает не в полном объеме.

Ввиду того, что за малыми предприятиями строительной отрасли отсутствует постоянный и регулярный контроль в области соблюдения норм охраны труда, то системно проводить работу в области охраны труда на малом предприятии строительной отрасли многие руководители считают не целесообразно. Так как для малого предприятия в условиях рыночной экономики мероприятия по охране труда это затраты, не дающие сиюминутной выгоды. В условиях рыночной экономики в Российской Федерации тратить деньги на охрану труда хотят только стабильные предприятия.

Для того чтобы изменить ситуацию в сфере охраны труда, в современных условиях на малых предприятиях строительной отрасли необходимы действенные меры, которые побуждали бы предприятия строительной отрасли к выполнению норм охраны труда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ // «Консультант плюс»: Региональный информационный центр. Режим доступа: http://www.infocom.su. (дата обращения: 02.11.2012 г.).

2. Социально-экономическое положение Волгоградской области в январе — сентябре 2012 года : доклад // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области. Режим доступа: http://www.volgastat.ru (дата обращения: 02.11.2012 г.).

3. Отчет о работе территориального органа Федеральной службы по труду и занятости — Государственной инспекции по труду и занятости в Волгоградской области за 1-е полугодие 2012 года (по форме № 21 – ГИТ (полугодовая) // Государственная инспекция труда в Волгоградской области. Режим доступа: http://www.git34.rostrud.ru (дата обращения: 02.11.2012 г.).

4. Приказ Роструда от 07.11.2005 № 347. Об утверждении форм ведомственной отчетности о деятельности государственных инспекций труда в субъектах Российской Федерации // «Консультант плюс»: Региональный информационный центр. Режим доступа: http://www.infocom.su. (дата обращения: 02.11.2012 г.).

1. Trudovoy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 30.12.2001 g. № 197-FZ // «Konsul'tant plyus»: Regional'nyy informatsionnyy tsentr. Rezhim dostupa: http://www.infocom.su. (data obrashcheniya: 02.11.2012 g.).

2. Sotsial'no-ekonomicheskoe polozhenie Volgogradskoy oblasti v yanvare — sentyabre 2012 goda : doklad // Territorial'nyy organ Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Volgogradskoy oblasti. Rezhim dostupa: http://www.volgastat.ru (data obrashcheniya: 02.11.2012 g.).

3. Otchet o rabote territorial'nogo organa Federal'noy sluzhby po trudu i zanyatosti — Gosudarstvennoy inspektsii po trudu i zanyatosti v Volgogradskoy oblasti za 1-e polugodie 2012 goda (po forme № 21 – GIT (polugodovaya) // Gosudarstvennaya inspektsiya truda v Volgogradskoy oblasti. Rezhim dostupa: http://www.git34.rostrud.ru (data obrashcheniya: 02.11.2012 g.).

4. Prikaz Rostruda ot 07.11.2005 № 347. Ob utverzhdenii form vedomstvennoy otchetnosti o deyatel'nosti gosudarstvennykh inspektsiy truda v sub"ektakh Rossiyskoy Federatsii // «Konsul'tant plyus»: Regional'nyy informatsionnyy tsentr. Rezhim dostupa: http://www.infocom.su. (data obrashcheniya: 02.11.2012 g.).

© Сенченко В. А., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Сенченко В. А. Проблемы внешнего контроля состояния условий и охраны труда на малых предприятиях строительной отрасли // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30 (49). С. 269—274.

УДК 536.24

А. В. Ковылин, Т. В. Чернышкова, В. Н. Злобин, В. М. Фокин

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрено устройство для измерения коэффициента звукопоглощения материала.

К л ю ч е в ы е с л о в а: коэффициент звукопоглощения, строительные объекты, конический образец.

The device for noise absorption material coefficient measurement is considered.

K e y w o r d s: noise absorption coefficient, construction objects, conic sample.

В последнее время на отечественном рынке появились принципиально новые тонкопленочные покрытия (ТПП), создаваемые с использованием полых газонаполненных либо вакуумированных микросфер и различного рода связующих. Простота нанесения ТПП на теплоизолируемую поверхность кистью, безвоздушным способом, способом окунания делает его весьма перспективным теплоизоляционным покрытием. Послойное нанесение ТПП обеспечивает быстрое высыхание слоев и исключает образование пузырей в толще покрытия. Известно, что послойные покрытия обладают большей прочностью и жесткостью.

Распространение звука в твердом теле можно представить в виде упругой колебательной деформации отдельных участков тела. Очевидно, такие упругие колебания сопровождаются потерями энергии. Как известно, свободные колебания твердого тела, например стержня, камертона, колокола и т. д., затухают, даже если принять все меры к устранению передачи энергии в окружающую среду или в держатель. Колеблющееся тело обладает внутренним затуханием, благодаря которому происходит постепенное превращение колебательной энергии в теплоту.

Поглощение звука характеризуется коэффициентом поглощения α, который определяется как обратная величина расстояния, на котором амплитуда звуковой волны уменьшается в $e = 2{,}718$ раз. Коэффициент α выражается в $см^{-1}$, т. е. в неперах на 1 см или же децибелах на 1 м (1 дБ/м = $1{,}15 \cdot 10^{-3}$ $см^{-1}$).

Поглощение звука характеризуется также коэффициентом потерь $\varepsilon = \alpha\lambda/\pi$ (где λ — длина волны звука) или добротностью $Q = 1/\varepsilon$. Величина $\alpha\lambda$ — логарифмический декремент затухания.

При распространении звука в среде, обладающей вязкостью и теплопроводностью,

$$\alpha = \frac{\omega^2}{2\rho c^2}\left[\frac{4}{3}\eta + \zeta + k\left(\frac{1}{c_v} - \frac{1}{c_p}\right)\right], \qquad (1)$$

где ω — круговая частота звуковой волны; ρ — плотность среды; c — скорость звука в ней; η и ζ — коэффициент сдвиговой и объемной вязкости соответственно; k — коэффициент теплопроводности; c_v и c_p — теплоемкости среды при постоянном объеме и давлении.

Если ни один из коэффициентов η, ζ и *k* не зависит от частоты, что часто выполняется на практике, то $\alpha \sim \omega^2$. Величина α/f^2, где $f = \omega/\pi$ является характеристикой вещества, определяющей поглощение звука. Она, как правило, в жидкостях меньше, чем в газах, а в твердых телах для продольных волн меньше, чем в жидкостях. Например, в воздухе при нормальном давлении для частот 1…400 кГц $\frac{\alpha}{f^2} = 3{,}0 \cdot 10^{-13}$ см$^{-1}$с^2, а в воде в диапазоне частот 0,1…1000 кГц $\frac{\alpha}{f^2} = 3{,}5 \cdot 10^{-16}$ см$^{-1}$с^2 .

Если при прохождении звука нарушается равновесное состояние среды, поглощение звука оказывается значительно большим, чем определяемое по (1), такое поглощение звука называется релаксационным и описывается формулой

$$\alpha = \frac{1}{2c_0^3} \frac{\omega^2 \tau (c_\infty^2 - c_0^2)}{1 + \omega^2 \tau},$$

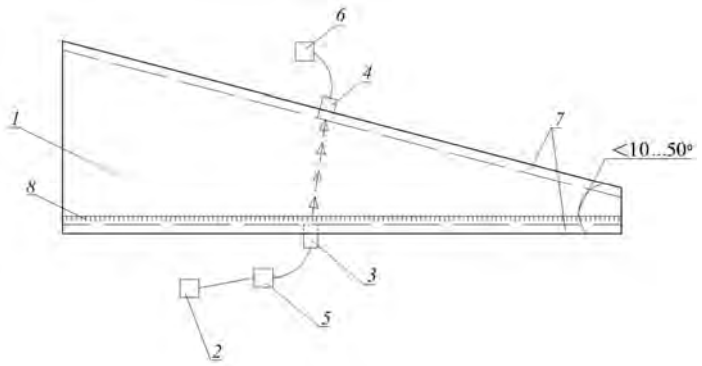
где τ — время релаксации; c_0 и c_∞ — скорости звука при $\omega\tau << 1$ и при $\omega\tau >> 1$ соответственно. В этом случае поглощение звука сопровождается дисперсией звука.

Поглощение звука в твердых телах определяется в основном внутренним трением и теплопроводностью среды, а на высоких частотах и при низких температурах — различными процессами взаимодействия звука с внутренними возбуждениями в твердом теле (фонами, электронами проводимости, силовыми волнами и др.). Величина поглощения звука в твердом теле зависит от кристаллических состояний вещества (в монокристаллах поглощение звука обычно меньше, чем в поликристаллах). В металлах, подвергнутых предварительной механической обработке (ковке, прокатке и т.п.), поглощение звука часто зависит от амплитуды звука. Во многих телах при не очень высоких частотах $\alpha \sim \omega$, поэтому величина добротности не зависит от частоты и может служить характеристикой потерь материала. Самое маленькое поглощение звука при комнатных температурах было обнаружено в некоторых диэлектриках, например, в топазе, берилле α~15 дБ/см при *f* = 9 ГГц, железоиттриевом гранате $\alpha \sim 25$ дБ/см при той же частоте. В металлах и полупроводниках поглощение звука всегда больше, чем в диэлектриках, поскольку имеется дополнительное поглощение, связанное со взаимодействием звука с электронами проводимости. В полупроводниках это взаимодействие может приводить к «отрицательному поглощению», т. е. к усилению звука при условии, что скорость дрейфа носителей заряда превышает скорость распространения звуковой волны. С ростом температуры поглощение звука, как правило, увеличивается. Наличие неоднородностей в среде приводит к увеличению поглощения звука. В различных пористых и волокнистых веществах поглощение звука велико, что позволяет применять их для глушения звука и звукоизоляции. С увеличением интенсивности звука проявляется нелинейное поглощение звука, которое зависит от амплитуды волны и обусловлено тем, что происходит передача энергии в высшие сильно поглощающиеся компоненты спектра волны.

Авторами разработан современный метод измерения коэффициента звукопоглощения ТПП для обеспечения экологической безопасности строительных объектов. Устройство измерения коэффициента звукопоглощения обеспечивает экологическую безопасность строительных объектов, а также повышает эффективность проведения эксперимента за счет упрощения техники измерения коэффициента поглощения, а именно использование конического образца (угол наклона 10…50°) с канавками и шкалой измерения толщины образца, а также стандартных показывающих приборов: мультиметр, осциллограф.

Устройство для измерения коэффициента звукопоглощения содержит конический образец исследуемого материала, генератор звука, излучатель звука и приемник звука, генератор звука через первый показывающий прибор подключен к излучателю звука, к выходу приемника звука подключен второй показывающий прибор, конический образец исследуемого материала имеет угол наклона 10…50°, дополнительные направляющие канавки для уменьшения звуковых потерь приемника и излучателя звука и шкалу определения толщины образца.

На рис. приведен общий вид установки.



Установка для измерения коэффициента звукопоглощения материала: *1* — конический образец исследуемого материала; *2* — генератор звука; *3* — излучатель звука; *4* — приемник звука; *5* — первый показывающий прибор; *6* — второй показывающий прибор; *7* — канавки; *8* — шкала измерения толщины образца

Устройство работает следующим образом. Конической образец исследуемого материала *1* с углом наклона 10…50° и канавками *7* устанавливается в измерительную схему, включаются первый показывающий прибор *5*, второй показывающий прибор *6* и генератор звука *2*. На выходе генератора звука *2* устанавливается заданное напряжение выбранной частоты. Перемещая конической образец исследуемого материала *1* относительно излучателя звука *3* и приемника звука *4*, которые устанавливаются в канавки *7*, определяется положение образца, при котором на втором показывающем приборе *6* величина звукового сигнала относительно сигнала излучателя звука *3* снижается в 2,7 раза. Измерив в этом положении толщину образца *R* по шкале *8*, коэффициент поглощения определяется по формуле

$$\alpha = 1 / R,$$

где α — коэффициент поглощения, непер; R — толщина образца, см.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фокин В. М.* Основы энергосбережения и энергоаудита. М. : Машиностроение-1, 2006. 256 с.

2. *Чернышкова Т. В.*, *Злобин В. Н.*, *Ковылин А. В.* Акустические факторы зданий и сооружений в экологической безопасности // Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство : матер. Междунар. конф., посвященной 60-летию образования вуза. Ч. 2. Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. С. 134—136.

1. *Fokin V. M.* Osnovy energosberezheniya i energoaudita. M. : Mashinostroenie-1, 2006. 256 s.

2. *Chernyshkova T. V.*, *Zlobin V. N.*, *Kovylin A. V.* Akusticheskie faktory zdaniy i sooruzheniy v ekologicheskoy bezopasnosti // Nauka i obrazovanie: arkhitektura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo : mater. Mezhdun. konf., posvyashchennoy 60-letiyu obrazovaniya vuza. Ch. 2. Volgograd : VolgGASU, 2012. S. 134—136.

© Ковылин А. В., Чернышкова Т. В., Злобин В. Н., Фокин В. М., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Разработка современного метода измерения коэффициента звукопоглощения для обеспечения экологической безопасности строительных объектов / А. В. Ковылин, Т. В. Чернышкова, В. Н. Злобин, В. М. Фокин // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 275—278.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 502.3:504.5:621.928.9

В. Н. Учаев, С. В. Филиппова

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕССЫ ПЫЛЕВЫДЕЛЕНИЯ ОТ НЕОРГАНИЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ

Рассмотрены факторы, влияющие на оценку воздействия источников выбросов загрязняющих веществ на окружающую среду. Приведены климатические критерии, не учитываемые в полной мере при проведении расчета выбросов загрязняющих веществ от неорганизованных источников выбросов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: неорганизованный источник выброса, климатические параметры, загрязняющие вещества.

The factors affecting the assessment of influence of polluting substances emission sources on the environment are considered by the authors. The climatic criteria which aren't taken into account in full when calculating polluting substances emissions from unorganized emission sources of emissions are given in the article.

K e y w o r d s: unorganized emission source, climatic criterion, polluting substances.

Промышленность является неотъемлемым звеном государственной экономики, но развиваясь, становится пагубной для экологии и окружающей среды в целом.

Одной из негативных составляющих этого влияния являются неорганизованные выбросы, в частности, хранение, отгрузка, погрузка и другие операции с пылящими материалами на открытой местности.

Выбросы неорганизованных источников являются повсеместными и отличаются обширным спектром воздействия. Наибольшая концентрация загрязняющих веществ от данного вида источников оказывается в зоне дыхания, что существенно усугубляет свое влияние на человека.

Для оценки влияния неорганизованных выбросов на окружающую среду и на человека в частности используются различные нормативы.

Для того чтобы получить представление о влиянии того или иного процесса, необходимо определить вещества, выделяемые при его осуществлении, и непосредственно их количественное содержание. Существуют методики и программы, позволяющие определить выделяемые загрязняющие вещества в атмосферу, а также рассчитать концентрации, распространение, дальность воздействия веществ.

Существующие методы определения воздействия на окружающую среду и на человека основываются на ОНД-86 (ОНД-90) [1].

Для оценки воздействия на окружающую среду и, тем самым, на человека от данного вида загрязнения необходима методика, учитывающая все факторы, от которых зависит степень пыления материала. Существующая методика, безусловно, охватывает множество из них.

На сегодняшний момент известно, как на пыление материала влияют сила ветра, размеры частиц материала, его влажность, температура, при которой происходят технологические операции, а также коэффициент атмосферной стратификации, который оказывает существенное влияние на рассеивание самого загрязняющего вещества в атмосфере [2].

Что касается ветра, то на его скорость, траекторию, силу, направление влияют множество факторов. Так у поверхности земли за счет ее шероховатости скорость ветра замедляется. С удалением от поверхности скорость ветра возрастает, что определяет характер распространения загрязняющих веществ в атмосфере [3].

В условиях города скорость ветра уменьшается, но одновременно увеличивается турбулентность за счет неровности подстилающей поверхности, поэтому ветер более порывист даже при устойчивой стратификации. Кроме того, в условиях городской застройки за счет зданий и сооружений ветер часто меняет направление и скорость. В частности, вдоль улиц может возникать так называемый эффект каналирования воздушного потока. При пологом рельефе воздушный поток практически полностью обтекает неровности местности [3].

В горных долинах, когда ветры дуют вдоль оси долин, на их краях будут возрастать концентрации примесей. В подветренной части гор или города могут возникать зоны завихрения. В этих случаях возможно встречное к основному воздушному потоку движение воздуха. Такая рециркуляция воздуха может привести к повышению концентрации примеси [3].

Город часто действует как остров тепла, т. е. как область, имеющая более высокую поверхностную температуру, чем окружающая местность. Это способствует возникновению восходящего движения воздуха у поверхности земли, поэтому возникает перенос загрязнений внутрь города, слабое восходящее движение воздуха в центре и нисходящее движение загрязнений на окраине. Это движение в верхней части общего воздушного потока может способствовать появлению более высоких концентраций на уровне земли, чего можно было ожидать. Поступление чистого воздуха с городских окраин в центр может также способствовать снижению концентрации примеси, так как с этим потоком, нагревающимся в процессе продвижения по городской территории к центру города, примеси будут вынесены в верхние слои атмосферы. В случае размещения источников выбросов с наветренной стороны города концентрация в городе может возрасти [3]. Значение скорости ветра, его направления учитывают при расчете рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, определяя опасные скорость и направление ветра.

Основном документом, регламентирующим расчет рассеивания и определения приземных концентраций веществ, выбрасываемых предприятиями, является ОНД-86 (ОНД-90), но коэффициенты, дифференцирующие тот или иной регион или условия, при которых происходят выделения загрязняющих веществ, справедливы главным образом к организованным источникам выбросов. Известно, чем выше источник, тем лучше происходит рассевание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Неорганизованные источники

выбросов, такие как операции со щебнем, зерном и с другими сыпучими материалами, не обладают такими параметрами. Очевидно, что процессы пылевыделения будут отличаться от выделений, происходящих на высоте большей, чем у этих источников. Различными будут и климатические параметры.

С повышением высоты уменьшается температура воздуха, что учитывает коэффициент атмосферной стратификации, но меняется еще и влажность воздуха. Это происходит вследствие того, что при уменьшении температуры ограничивается и содержание пара в воздухе.

Разность климатических условий может наблюдаться и на территориях, входящих в одну группу стратификации атмосферы. Так существенное влияние оказывает на количество загрязняющих веществ, выделяемых объектом, и его расположение на той или иной местности. Повышение температуры на 10 °С влечет за собой уменьшение влажности воздуха в два раза. По данным Росгидромета, в Волгоградской области средняя температура наиболее жаркого месяца может отличаться в среднем на 3 °С в разных районах области. Это означает, что и влажность воздуха будет отличаться. Стоит учитывать и меняющееся направление, и силу ветра, присущего области и влияющего на испаряемость, как следствие на содержание влаги в атмосферном воздухе. Неравномерное распределение температуры на земной поверхности приводит к неравномерному распределению давления. В результате возникают воздушные течения, обуславливающие общую циркуляцию атмосферы.

Перемещение воздушных масс в горизонтальном направлении определяется в основном скоростью ветра, так как направление и скорость ветра постоянно изменяются, то меняется и степень загрязнения атмосферы в рассматриваемой точке. Наиболее опасна малая подвижность воздушных масс, что способствует накоплению вредных веществ в атмосфере. Это происходит при скорости ветра от 0 до 3 м/с (0…2 балла по шкале Бофорта, 5—6 класс по Пасквиллу) [3].

Отличия в климатических параметрах будут иметь операции, осуществляющиеся непосредственно возле водных объектов. Водные поверхности могут поглощать примеси, поэтому концентрации вредных веществ над ними снижаются. За счет разницы температур между сушей и водной поверхностью может возникнуть локальный ветровой поток — морской бриз. Примесь, попавшая внутрь этой циркуляции, будет возвращаться на сушу и увеличивать загрязнение. Кроме того, воздушный поток, непрерывно движущийся параллельно поверхности земли, увеличивает диффузию в результате взаимодействия между воздухом, проходящим над поверхностью воды, и воздухом, который подвергается воздействию поверхности суши. Это вызывает увеличение перемешивания в некоторой данной неподвижной точке и, следовательно, приводит к высоким приземным концентрациям [3].

В методике [2] применяются для расчета пылевыделений от операций с сыпучими материалами следующие формулы:

Максимально разовый выброс

$$M_{\text{гр}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot B \cdot G_{\text{ч}} \cdot 10^6 / 3600, \text{ г/с},$$

а для валовых выбросов

$$П_{\text{гр}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot B \cdot G_{\text{год}}, \text{ т/год},$$

где K_1 — весовая доля пылевой фракции в материале. Определяется путем отмывки и просева средней пробы с выделением фракции пыли размером 0…200 мкм; K_2 — доля пыли (от всей весовой пыли), переходящая в аэрозоль Проверка фактического дисперсного состава пыли и уточнение значения K_2 производится отбором проб запыленного воздуха на границах пылящего объекта (склада, хвостохранилища) при скорости ветра 2 м/с, дующего в направлении точки отбора пробы; K_3 — коэффициент, учитывающий местные метеоусловия; K_4 — коэффициент, учитывающий местные условия, степень защищенности узла от внешних воздействий, условия пылеобразования; K_5 — коэффициент, учитывающий влажность материала. Под влажностью материала понимается влажность его пылевой и мелкозернистой фракции ($d < 1$ мм); K_7 — коэффициент, учитывающий крупность материала; K_8 — поправочный коэффициент для различных материалов в зависимости от типа грейфера, при использовании иных типов перегрузочных устройств $K_8 = 1$; K_9 — поправочный коэффициент при мощном залповом сбросе материала при разгрузке автосамосвала. Принимается равным 0,2 при сбросе материала весом до 10 т, и 0,1 — свыше 10 т. Для остальных неорганизованных источников коэффициент K_9 выбрать равным 1; B — коэффициент, учитывающий высоту пересыпки; $G_ч$ — суммарное количество перерабатываемого материала в час, т/час. Определяется главным технологом предприятия; $G_{год}$ — суммарное количество перерабатываемого материала в течение года, т/год. Определяется главным технологом предприятия на основе фактически переработанного материала или планируемого на год.

Из данных формул видно, что учитываются физические свойства самого материала и некоторые факторы места проведения технологических операций, но эти расчеты не учитывают одного из главных климатических факторов — влажность воздуха окружающей среды и наличие или отсутствие объектов, влияющих на его повышение или понижение, а именно водоемов.

Если рассмотреть климатические параметры окружающей среды в речпортах и вдали от них, например, в степи, то они будут отличаться. Испарение от водных объектов будет повышать влажность воздуха, что, в свою очередь, повысит и влажность самого материала, а это непосредственно влияет на процесс уноса частиц. Известно, с повышением влажности материала уменьшается количество пылевыделений. Этот факт используется на предприятиях, например при проведении мероприятий по дополнительному увлажнению хранящегося щебня, с целью уменьшения загрязнения атмосферного воздуха пылью щебня.

Таким образом, используемые методики не позволяют всецело оценить оказываемое воздействие от неорганизованных источников на окружающую среду.

Для более детальных расчетов загрязнения атмосферного воздуха неорганизованными источниками выбросов необходимо учитывать наличие вблизи водных объектов, влажность воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. — Л. : Гидрометеоиздат, 1987.

2. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов / НПО «Союзстромэкология». Новороссийск, 1989.

3. Промышленная экология : учебник для высших учебных заведений / под общ. ред. В. В. Гутенева. — М. ; Волгоград : ПринТерра, 2009. — 840 с

1. OND-86. Metodika rascheta kontsentratsiy v atmosfernom vozdukhe vrednykh veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatiy. — L. : Gidrometeoizdat, 1987.

2. Metodicheskoe posobie po raschetu vybrosov ot neorganizovannykh istochnikov v promyshlennosti stroitel'nykh materialov / NPO «Soyuzstromekologiya». Novorossiysk, 1989.

3. Promyshlennaya ekologiya : uchebnik dlya vysshikh uchebnykh zavedeniy / pod obshch. red. V. V. Guteneva. — M. ; Volgograd : PrinTerra, 2009. — 840 s.

© Учаев В. Н., Филиппова С. В., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Учаев В. Н., Филиппова С. В. Влияние климатических факторов на процессы пылевыделения от неорганизованных источников выбросов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 279—283.

УДК 712.4:551.584.5

В. В. Прокопенко, Э. С. Косицына

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ПО РАЙОНАМ ГОРОДА

Зеленые насаждения в городе выполняют важную ресурсную, средоформирующую, санитарно-гигиеническую, планировочную и ландшафто-образующую роль: являются естественным буфером и фильтром, регулирующим степень загрязнения окружающей природной среды от воздействия автотранспорта и выбросов промышленных и коммунальных объектов. Они служат местом рекреации и обеспечивают нормальные условия жизнедеятельности населения. За счет природного потенциала самоочищения ландшафтов и компонентов снижается уровень техногенного загрязнения и влияния негативных факторов, воздействующих на территорию и жителей города.

К л ю ч е в ы е с л о в а: озеленение городской среды, рекреационная территория, система город.

Green plantings in the city play an important resource, environmentforming, sanitary, planning and landscape-forming role: they are the natural buffer and the filter regulating environment pollution level by motor transport and emissions of industrial and municipal facilities. They serve as recreation and provide normal conditions for activity of the population. At the expense of the natural potential of self-cleaning of landscapes and components the level of technogenic pollution and influence of negative factors affecting the territory and its residents decreases.

K e y w o r d s: gardening of an urban environment, recreational territory, city system.

Для определения общей площади озеленения города установлен такой показатель, как уровень озелененности городской застройки, под которым понимается общее количество площадей объектов озеленения, отнесенное ко всей городской территории. Уровень озелененности выражается в процентах и является основным показателем для определения обеспеченности территории зелеными насаждениями, а также характеризует гигиеническую эффективность системы озеленения.

Согласно действующим нормативным документам зеленые насаждения должны занимать до 50 % селитебной территории города, 55…58 % жилого района, 65…70 % территории микрорайона и не менее 15 % территории промышленного района.

Изучение системы озеленения Волгограда показало, что зеленые насаждения по административным районам города распределены довольно неравномерно. При детальном анализе рекреационной территории районов возникают проблемы определения уровня озелененности района и равномерности распределения системы рекреации.

Таким образом, целью настоящего исследования является разработка методики определения равномерности распределения объектов озеленения по административным районам города и создание алгоритма расчета.

Были исследованы два административных района города: Центральный как представитель культурного центра и Краснооктябрьский как представитель промышленного центра и их рекреационные территории.

При выводе алгоритма расчета равномерности площади озеленения были использованы разработки профессора В. Н. Луканина [1].

Исследование проходило путем наложения на административные районы сетки с Δ шагом 250 м и на основе данных о площадях озелененных территорий систем рекреации оценивалась степень озеленения в каждом квадрате разбиения Δ.

Вторым этапом исследования было определение влияния рекреационных территорий на систему «Город». Был использован графоаналитический метод, согласно которому было определено количество людей, находящихся в зоне комфортности парков, и площадь территорий, на которых наблюдается положительное воздействие объектов рекреации, а также выявлено снижение негативного влияния антропогенных факторов. В соответствии с первой методикой, радиус влияния рекреационных территорий ($R_т$) принят равным 1,5 км. Оказалось, что в Краснооктябрьском районе в зоне влияния объектов рекреации находится 66 495 человек, а в Центральном районе в зоне влияния объектов рекреации находится 47 207 человек.

При использовании второй методики графоаналитического метода, было разделено влияние объектов рекреации на зоны. 1 зона — зона визуального влияния объектов рекреации, принята в размере 250 м — зона воздухообмена, 2 зона — зона визуального восприятия парков — 500 м, 3 зона — зона радиуса доступности, принята равной нормативному значению — 750 м [2]. Результаты расчета положительного влияния парков на застройку приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние объектов рекреации на застройку Краснооктябрьского и Центрального районов

Рекреационная территория	Площадь территории в зоне влияния рекреационной территории, км^2		Количество людей в зоне влияния рекреационной территории, чел	
	Краснооктябрьский район	Центральный район	Краснооктябрьский район	Центральный район
1 зона	9,68	3,01	25 600	22 300
2 зона	4,23	2,4	18 400	20 050
3 зона	2,83	1,7	6060	13 300

Клеточный анализ позволил выявить действительное существующее озеленение административных районов, отличающееся от принятых площадей рекреационных территорий по генеральному плану города. Данная разница

свидетельствует об изменении площадей озеленения парков вследствие износа зеленого материала и вырубки больших объемов единиц древесных пород. Результаты клеточного анализа приведены в табл. 2, 3

Таблица 2

Расчетные параметры, характеризующие систему озеленения Краснооктябрьского района

Объект	*N*	*S*	*Sg*	*Sg/N*	*Sr*	*Sg/Sr*	*Sl*	*Sl/Sr*	*Sg/Sl*, %
Пионерский парк	151 698	470 000 м^2	10 000	0,06	34 200 000	0,03 %	470 000	0,014	2
Парк у ДК Ленина			36 000	0,24		0,1 %			8
Парк «Монолит»			154 000	1,02		0,45 %			30
Парк им. Гагарина			88 000	0,58		0,26 %			19
Парк на 2-Продольной			170 000	1,12		0,5 %			36
Парк на Нижнем поселке ПО «Баррикады»			12 000	0,08		0,04 %			3

Таблица 3

Расчетные параметры, характеризующие систему озеленения Центрального района

Объект	*N*	*S*	*Sg*	*Sg/N*	*Sr*	*Sg/Sr*	*Sl*	*Sl/Sr*	*Sg/Sl*, %
Городской сад	85 553	1 362 000	45 000	0,52	11 200 000	0,4 %	1 362 000	0,121	3,31
Комсомольский сад			36 000	0,42		0,32 %			2,65
Парк Набережной			2 200 00	2,57		1,96 %			16,18
Парк Победы			105 000	1,23		0,94 %			7,72
ЦПКиО			330 000	3,86		2,95 %			24,26
Мамаев курган			6 060 00	7,08		5,41 %			45,88

Примечание: N — численность постоянного населения района, чел; *S* — площадь озеленения, м^2; *Sg* — площадь учетных зеленых насаждений в расчете на одного жителя, м^2; *Sg*/*N* — обеспеченность зелеными насаждениями, м^2; *Sg*/*Sr* — озелененность района — отношение площади учетных насаждений к общей площади района; *Sr* — площадь административного района, м^2; *Sl* — общая площадь всех ландшафтных пространств в пределах района, м^2; *Sl*/*Sr* — коэффициент общей средостабилизирующей способности — отношение площади ландшафтов к общей площади района; *Sg*/*Sl* — степень зависимости ландшафтов района, %.

Результаты, представленные в табл. 2, 3, позволяют сравнить существующие данные по объектам зеленых насаждений с нормативными. Согласно СП 42.13330.2011 [3] площади озеленения районных парков в крупнейших городах должны быть 7…14 га, тогда как площади парка у ДК им. Ленина и Пионерского парка составляют 3,6 и 1 га соответственно. Для нормальных условий полноценного отдыха на одного посетителя парка требуется 50…60 м^2.

Таким образом, методика оценки системы рекреации путем клеточного анализа позволяет определить, с достаточной точностью, уровень озелененности территории и распределение объектов озеленения по административным районам города, а также оценить территории, которые находятся под влиянием системы рекреации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Луканин В. Н.*, *Буслаев А. П.*, *Яшина М. В.* Автотранспортные потоки и окружающая среда-2 : учеб. пособие для вузов. — М., 2001. — 646 с.

2. *Владимиров В. В.*, *Микулина Е. М.*, *Яргина З. Н.* Город и ландшафт. — М. : Мысль, 1986. — 238 с.

3. СП 42.133302011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. М., 2011.

1. *Lukanin V. N.*, *Buslaev A. P.*, *Yashina M. V.* Avtotransportnye potoki i okruzhayushchaya sreda-2 : ucheb. posobie dlya vuzov. — M., 2001. — 646 s.

2. *Vladimirov V. V.*, *Mikulina E. M.*, *Yargina Z. N.* Gorod i landshaft. — M. : Mysl', 1986. — 238 s.

3. SP 42.133302011. Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel'skikh poseleniy. M., 2011.

© Прокопенко В. В., Косицына Э. С., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Прокопенко В. В., *Косицына Э. С.* Методика определения равномерности распределения объектов озеленения по районам города // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 284—287.

УДК 551.311 (470.4)

В. Н. Анопин

ИНТЕНСИВНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В УРБОЛАНДШАФТАХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЕЕ ОЦЕНКИ

Изложены результаты исследования интенсивности роста и развития эрозионных образований в урболандшафтах Нижнего Поволжья. Рассмотрена эффективность методов изучения хода оползневых процессов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: рост и развитие оврагов, оползневые процессы, мониторинговые наблюдения.

The results of research of growth intensity and development of erosive phenomenon in urban landscapes in Lower Volga area are provided. The efficiency of methods of examination of soil slip processes is proved.

K e y w o r d s: growth and development of cloughs, soil slip processes, monitoring supervision.

Следствием интенсификации современных экзогенных процессов в результате возрастания антропогенного воздействия является деградация ландшафтов. Наиболее значимыми факторами, обуславливающими деградацию пригородных и городских земель Нижнего Поволжья, являются линейная эрозия (рост и развитие оврагов) и оползневые процессы, интенсивность развития которых находится в зависимости от степени выраженности рельефа, геологического строения территории и характера техногенного воздействия.

Изучение морфометрических и морфологических показателей оврагов проводили в окрестностях городов Урюпинск, Михайловка, Камышин, Дубовка и Волгоград, расположенных в геоморфологических районах Нижнего Поволжья: Хоперско-Бузулукская аккумулятивная равнина Окско-Донской низменности, ступенчатые возвышенности правобережья Волги и аккумулятивно-денудационная южная часть Приволжской возвышенности [1].

При проработке картографического материала были выделены ключевые участки: в геоморфологическом районе Хоперско-Бузулукской аккумулятивной равнины — Урюпинский с эрозионным расчленением около 0,5 км на км^2, в районе ступенчатые возвышенности правобережья Волги Приволжской возвышенности — Северо-Камышинский и Южно-Камышинский (соответственно 2,0…2,5 и 1,5…2,0 км на 1 км^2), в пределах аккумулятивно-денудационной южной части Приволжской возвышенности — Дубовский и Волгоградский с коэффициентами расчленения 1,5…2,0 км на 1 км^2.

Изучение морфометрических и морфологических показателей оврагов проводилось с разделением их по стадиям развития [2]. При этом не учитывались промоины и рытвины глубиной до 1 м, так как они существенно не осложняют работы по инженерной подготовке территории под строительство или озеленение, а также полностью затухшие овраги, являющиеся аналогами небольших балок.

В результате обследования 70 овражных систем было установлено, что на склоновых землях урболандшафтов преобладают вторичные овраги, развитие которых происходит по дну ложбин, лощин и суходолов [3].

Анализ распространенности оврагов различной величины свидетельствует о том, что большинство из них имеет среднюю глубину 5…11 м (77,5 % общей протяженности), причем наиболее представительной является центральная ступень 7…9 м (табл. 1). Овраги глубиной до 3…5 м составляют 12 %, более 11 м — 10,5 %.

Таблица 1

Распределение по глубине подлежащих коренной мелиорации оврагов урболандшафтов Нижнего Поволжья

Почвы	Преобладающие горные породы	Показатели	Глубина оврага, м				
			3…5	5…7	7…9	9…11	более 11
Ступенчатые возвышенности правобережья Волги							
Каштановые	Палеогеновые	Протяженность, м	500	1260	1880	930	780
		Процент от общей протяженности	9,3	23,6	35,1	17,4	14,6
Аккумулятивно-денудационная южная часть Приволжской возвышенности							
Светло-каштановые	Неогеновые	Протяженность, м	840	1790	1490	1330	400
		Процент от общей протяженности	14,4	30,6	25,5	22,7	6,8
Хоперско-Бузулукская аккумулятивная равнина							
Черноземы обыкновенные и южные	Четвертичные	Протяженность, м	760	1950	3150	1080	1170
		Процент от общей протяженности	9,4	24,0	38,9	13,3	14,4

Частота встречаемости оврагов юга Приволжской возвышенности различной глубины близка к нормальному распределению и подчиняется кривой Гаусса — Лапласа (рис. 1).

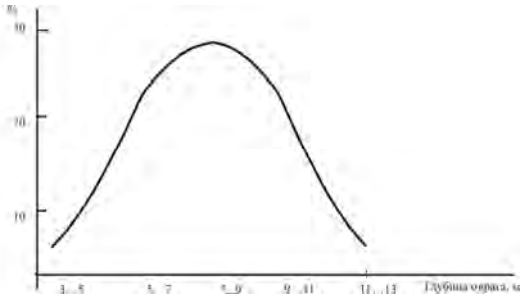


Рис. 1. Кривая распределения количества оврагов по глубине на юге Приволжской возвышенности

Доля участков оврагов II стадии развития (врезания висячего оврага вершиной) в общей протяженности растущих оврагов незначительна и в среднем

по зоне исследований составляет 7,9 % (в геоморфологических районах ступенчатые возвышенности правобережья Волги — 11,7, аккумулятивно-денудационная южная часть Приволжской возвышенности — 7,5, Хоперско-Бузулукская аккумулятивная равнина — 4,4 %).

Участки оврагов III стадии развития (выработки профиля равновесия) являются преобладающими и составляют 92,1 % от общей их протяженности (по вышеназванным геоморфологическим районам соответственно 88,3; 92,4 и 95,6 %, табл. 2).

Средневзвешенная глубина оврагов юга Приволжской возвышенности равна 8,1 м, в том числе в геоморфологическом районе, ступенчатые возвышенности правобережья Волги — 8,7, аккумулятивно-денудационная южная часть Приволжской возвышенности — 7,5 м. С увеличением степени расчленненности она уменьшается. Так, в геоморфологическом районе, ступенчатые возвышенности правобережья Волги на Северо-Камышинском ключевом участке со степенью расчленения 2…3 км/км^2 средневзвешенная глубина оврагов оказалась равной 7,8 м, на Южно-Камышинском с протяженностью овражно-балочной сети в 1,5…2 км/км^2 — 10,7 м.

В геоморфологическом районе аккумулятивно-денудационной южной части Приволжской возвышенности при одинаковой степени расчленения (1,5…2,0 км/км^2) большая средняя величина оврагов (7,5 м) отмечена на Волгоградском ключевом участке, где материнские породы представлены в основном легкими суглинками. Средневзвешенная глубина оврагов Дубовского ключевого участка с подстилающими породами среднего и тяжелого механического состава оказалась равной 6,5 м.

В геоморфологическом районе Хоперско-Бузулукской аккумулятивной равнине средневзвешенная глубина оврагов равна 7,9 м. Большая часть их имеет глубину 5…11 м (76,2 %). Также наиболее представительной является центральная ступень (7…9 м). Однако, вследствие активизации эрозионных процессов на «оврагах третьего цикла эрозии начала четвертичного периода» [4], значительно возросла представительность ступени 11…13 м. В результате, распределение частоты встречаемости оврагов разной глубины может быть интерпретировано графиком, состоящим из двух кривых Гаусса — Лапласа (рис. 2) — основной (у современных оврагов) и дополнительной (у оврагов последнего цикла начала четвертичного периода).

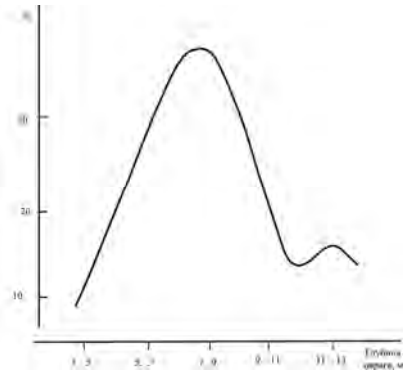


Рис. 2. Кривая распределения оврагов по глубине в геоморфологическом районе Хоперско-Бузулукской аккумулятивной равнине

Таблица 2

Основные морфометрические и морфологические показатели подлежащих облесению оврагов

Название ключевого участка	Средневзвешенная глубина оврагов, м	Распределение оврагов по стадиям развития, %		Распределение откосов оврагов по стадиям развития, %				Средневзвешенная крутизна откосов, градусы
		II	III	I	II	III	IV	
Геоморфологический район, ступенчатые возвышенности правобережья Волги								
Северо-Камышинский	7,71	9,0	91,0	2,8	15,2	69,7	12,2	41°24′ / 48°00′
Южно-Камышинский	10,70	14,4	85,6	5,0	20,0	60,1	13,8	39°24′ / 43°00′
По району	9,20	11,7	88,3	4,4	17,6	64,9	13,0	40°24 / 45°30′
Геоморфологический район, аккумулятивно-денудационная южная часть Приволжской возвышенности								
Дубовский	6,45	8,9	91,1	2,8	13,3	68,0	16,0	41°48′ / 46°36′
Волгоградский	8,64	6,3	93,7	2,4	9,0	78,8	9,8	45°24′ / 45°12′
По району	7,55	7,6	92,4	2,6	11,2	73,4	12,8	43°36′ / 45°54′
Геоморфологический район, Хоперско-Бузулукская аккумулятивная равнина								
Урюпинский	7,9	4,4	95,6	1,2	3,3	56,5	39,0	35°06′ / 35°30′
По району	7,9	4,4	95,6	1,2	3,3	56,5	39,0	35°06′ / 35°30′
По региону исследований	8,22	7,9	92,1	2,8	10,7	64,9	21,6	40°00′ / 42°06′

Примечание: числитель — откосы теневых экспозиций; знаменатель — инсолируемые откосы.

Стадия развития откосов оврагов не всегда совпадает со стадией развития оврагов, поэтому учет этих показателей проводился раздельно. В целом при движении от вершины к устью оврагов наблюдается переход от I стадии развития откосов ко II, затем к III и IV. Но на определенных участках эта закономерность нарушается. В местах меандрирования русла оврагов откосы, подмываемые центробежной силой водного потока, имеют более низкую стадию развития по сравнению с окружающими участками, а противоположные — более высокую.

Большая часть откосов растущих оврагов имеет III стадию развития. Их доля в общей протяженности откосов в целом по зоне исследований составляет 64,9 % (в районе ступенчатые возвышенности правобережья Волги — 64,9 %, аккумулятивно-денудационная южная часть Приволжской возвышенности — 73,4 %, Хоперско-Бузулукская аккумулятивная равнина — 56,5 %). Осыпь здесь устойчива, практически не подмывается. Крутизна нижней части откосов составляет 33…37°, верхней — постепенно возрастает до 70…80° в окрестностях городов Волгограда, Дубовки и Камышина и 50…55° в окрестностях Михайловки и Урюпинска.

Откосы II стадии развития в основном соответствуют концу II — началу III стадии развития оврагов. Доля их среди всех откосов теневых экспозиций составляет в среднем 10,4 % (в районе ступенчатые возвышенности правобережья Волги — 16,5 %, аккумулятивно-денудационная южная часть Приволжской возвышенности — 10,2 %, Хоперско-Бузулукская аккумулятивная равнина — 4,8 %). Среди инсолируемых она возрастет в среднем до 12,2 % (по геоморфологическим районам — соответственно 18,7; 12,0 и 5,9 %).

Откосы I стадии развития встречаются только в непосредственной близости от вершинных перепадов оврагов и составляют от 1,2 % на Окско-Донской низменности до 4,6 % на Приволжской возвышенности от всей длины растущих оврагов.

Откосы IV стадии развития в растущих оврагах приурочены к местам меандрирования русла и расположены с его неподмываемой стороны. Участки, занятые ими, составляют в среднем 12,0 % инсолируемых и 13,9 % теневых откосов.

В ландшафтах геоморфологического района Хоперско-Бузулукской аккумулятивной равнины имеет место значительная активизация процессов вторичного размыва днищ ранее затухших оврагов. В результате резко увеличивается общая площадь растущих оврагов, и в них возрастают площади откосов IV стадии развития (до 39 %).

В урболандшафтах Нижнего Поволжья средневзвешенная крутизна преобладающих откосов III стадии развития теневых экспозиций составляет 39,8°, инсолируемых — 42,6° (в геоморфологическом районе ступенчатые возвышенности правобережья Волги соответственно 40,7 и 46,3°; в аккумулятивно-денудационная южная часть Приволжской возвышенности — 43,6 и 45,9°; Хоперско-Бузулукская аккумулятивная равнина — 35,1 и 35,5°).

Другим не менее значимым экзогенным процессом, наносящим огромный ущерб объектам городского строительства и хозяйства, является усиливающееся под воздействием стоков промышленности и вследствие прорывов водопроводов образование и развитие оползней. Их результатом является

огромный ущерб зданиям, сооружениям, транспортным магистралям, различного ряда коммуникациям и другим объектам городского хозяйства.

Научно обоснованные мероприятия по предотвращению этого ущерба должны быть основаны на свойствах и особенностях урбанизированных геосистем. Для преодоления сложности комплексной оценки большого числа факторов, обусловливающих характер и результаты антропогенных воздействий, необходимо использование ГИС-технологий.

Так как рациональное планирование противооползневых работ возможно только на основе достаточно точных данных о темпах развития оползневых процессов, методы изучения движений и деформаций оползневого массива предполагают проведение в мониторинговом режиме геодезических измерений величин смещения закрепленных в грунтовом массиве реперов. Для обеспечения необходимой точности результатов необходимо применение высокоточных геодезических приборов и соответствующего оборудования.

В настоящее время ряд исследователей для изучения тектонических и связанных с ними оползневых процессов в разломных зонах земной коры рекомендуют применение методов спутниковой геодезии [5]. Однако при изучении оползневых явлений на территории Нижнего Поволжья полученные предлагаемыми методами данные, а следовательно и результаты их анализа являются недостаточно комплексными. Это затрудняет применение картографических методов, которые необходимы вследствие того, что в отличие от тектонических движений земной коры ход и характер проявления оползневых процессов в регионе в большей степени обусловлены значительным количеством ряда других переменных факторов. А они, в свою очередь, являются результатом различных техногенных воздействий на верхние слои предрасположенных к проявлению оползневых явлений несцементированных горных пород.

Для выявления возможности и целесообразности более комплексного изучения развития оползневых процессов нами дважды с интервалом в один год была выполнена электронным тахеометром SET 510 топографическая съемка территорий коренного берега р. Волги в различных районах г. Волгограда, отличающихся как гидрогеологическим и геоморфологическим строением, так и характером и интенсивностью антропогенного воздействия. В результате выявлены значительные перемещения земляных масс не только между реперами, расположенными на разных сторонах линии поверхностных разломов, но и ниже по склону в других точках местности [6].

Применение этого метода обеспечило преимущество над методом спутниковой геодезии, состоящее в том, что выполненная тахеометром площадная топографическая съемка участка между профилями обеспечила возможность многостороннего достаточно точного анализа данных хода оползневых процессов на территории как на створных линиях, так и между ними. Вычисленные значения перемещений оползневых масс по изменениям отметок и координат характерных точек местности на порядок и более превышали максимально возможные ошибки результатов измерения тахеометром SET 510 расстояний и превышений. Полученные данные оказались вполне приемлемыми для объективной оценки хода оползневых процессов как на точках створных линий, так в различных местах между створами.

Следовательно, в оптимальную технологию мониторинговых геодезических наблюдений за ходом оползневых процессов в Нижнем Поволжье целесообразно включать периодическую топографическую съемку территорий современными электронными тахеометрами с последующим картографированием полученных материалов, что позволит не только выявить их интенсивность, но и составить прогноз развития, на основании которого планировать противооползневые мероприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дегтярева Е. Т., Жулидова А. Н.* Почвы Волгоградской области. — Волгоград, 1970. — 319 с.

2. *Соболев С. С.* Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними : в 2-х т. Т. 1 — М. ; Л., 1948. — 305 с.

3. *Анопин В. Н., Рулев А. С.* Картографирование деградированных ландшафтов Нижнего Поволжья. — Волгоград, 2007. — 168 с.

4. *Козменко А. С.* Геоморфологические и эрозионные особенности засушливого правобережья Волги (Камышин — Сталинград) // Итоги работ ВНИАЛМИ за 1944—1945 г.г. — М. ; Л., 1947. — С. 121—144.

5. *Панжин А. А.* Непрерывный мониторинг смещений и деформации земной поверхности с применением спутниковой геодезии GPS // Гидромеханика в горном деле 2000 : Материалы Междунар. конф. — Екатеринбург, 2000. — С. 320 — 324.

6. *Сабитова Т. А., Анопин В. Н.* К вопросу о методах изучения оползневых процессов на территории Волгоградской агломерации // Современные проблемы географии, экологии и природопользования : материалы Междунар. науч.-практ. конф. — Волгоград, 2012. — С. 284 — 288.

1. *Degtyareva E. T., Zhulidova A. N.* Pochvy Volgogradskoy oblasti. — Volgograd, 1970. — 319 s.

2. *Sobolev S. S.* Razvitie erozionnykh protsessov na territorii evropeyskoy chasti SSSR i bor'ba s nimi : v 2-kh t. T. 1 — M. ; L., 1948. — 305 s.

3. *Anopin V. N., Rulev A. S.* Kartografirovanie degradirovannykh landshaftov Nizhnego Povolzh'ya. — Volgograd, 2007. — 168 s.

4. *Kozmenko A. S.* Geomorfologicheskie i erozionnye osobennosti zasushlivogo pravoberezh'ya Volgi (Kamyshin — Stalingrad) // Itogi rabot VNIALMI za 1944—1945 g.g. — M. ; L., 1947. — S. 121—144.

5. *Panzhin A. A.* Nepreryvnyy monitoring smeshcheniy i deformatsii zemnoy poverkhnosti s primeneniem sputnikovoy geodezii GPS // Gidromekhanika v gornom dele 2000 : Materialy Mezhdunar. konf. — Ekaterinburg, 2000. — S. 320 — 324.

6. *Sabitova T. A., Anopin V. N.* K voprosu o metodakh izucheniya opolznevykh protsessov na territorii Volgogradskoy aglomeratsii // Sovremennye problemy geografii, ekologii i prirodopol'zovaniya : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. — Volgograd, 2012. — S. 284 — 288.

© Анопин В. Н., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Анопин В. Н. Интенсивность современных экзогенных процессов в урболандшафтах Нижнего Поволжья и геодезические методы ее оценки // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 288—294.

УДК 502.3:613.15(470+571)

Ю. С. Михайловская

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Представлен анализ динамики выбросов загрязняющих веществ по годам за период с 1990—2009 гг., динамика поступлений платежей за пользование природными ресурсами и расходы на охрану окружающей среды в федеральный бюджет Российской Федерации, а также расходы федерального бюджета на охрану окружающей среды.

К л ю ч е в ы е с л о в а: окружающая среда, динамика выбросов, плата, атмосферный воздух.

The analysis of the dynamics of pollutant emissions over the period 1990—2009, the dynamics of receipt of payments for using natural resources and the expenses on the environment protection to the federal budget of the Russian Federation, as well as the expenses of the federal budget on the environment protection is presented in the article.

K e y w o r d s: environment, dynamics of emissions, payment, atmospheric air.

В Российской Федерации основным элементом экономического управления качеством атмосферного воздуха является плата за негативное воздействие на окружающую среду.

Законодательной основой для внесения платы за негативное воздействие на окружающую среду являются федеральные законы «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ и «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ.

В законе РФ «Об охране окружающей среды» содержатся основные методы экономического регулирования в области охраны окружающей среды, к ним относятся:

1) установление платы за негативное воздействие на окружающую среду;

2) проведение экономической оценки воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду;

3) проведение экономической оценки природных объектов и природно-антропогенных объектов;

4) установление лимитов на выбросы и сбросы загрязняющих веществ и микроорганизмов, лимитов на размещение отходов производства и потребления и другие виды негативного воздействия на окружающую среду;

5) возмещение в установленном порядке вреда окружающей среде.

Распределение средств, получаемых в виде платы за негативное воздействие на окружающую среду, между бюджетами разного уровня закреплено в Бюджетном кодексе РФ, коэффициенты индексации платы администратор платы устанавливаются законами о бюджете. Администратором платы является Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. Порядок определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия устанавливает два вида базовых нормативов платы:

1) за выбросы, сбросы загрязняющих веществ, размещение отходов, другие виды вредного воздействия в пределах допустимых нормативов;

2) за выбросы, сбросы загрязняющих веществ, размещение отходов, другие виды вредного воздействия в пределах установленных лимитов (временно согласованных нормативов).

Базовые нормативы платы устанавливаются по каждому ингредиенту загрязняющего вещества (отхода), виду вредного воздействия с учетом степени опасности их для окружающей природной среды и здоровья населения. Для отдельных регионов и бассейнов рек устанавливаются коэффициенты к базовым нормативам платы, учитывающие экологические факторы — природно-климатические особенности территорий, значимость природных и социально-культурных объектов. Дифференцированные ставки платы определяются умножением базовых нормативов платы на коэффициенты, учитывающие экологические факторы. Плата за загрязнение окружающей природной среды в размерах, не превышающих установленные природопользователю предельно допустимые нормативы выбросов, определяется путем умножения соответствующих ставок платы на величину выбросов. Плата за сверхлимитное загрязнение окружающей природной среды определяется путем умножения соответствующих ставок платы за загрязнение в пределах установленных лимитов на величину превышения фактической массы выбросов на пятикратный повышающий коэффициент.

В случае отсутствия у природопользователя оформленного в установленном порядке разрешения на выброс, сброс загрязняющих веществ, размещение отходов вся масса загрязняющих веществ учитывается как сверхлимитная. Платежи за предельно допустимые выбросы осуществляются за счет себестоимости продукции (работ, услуг), а платежи за их превышение — за счет прибыли, остающейся в распоряжении природопользователя.

Внесение платы за загрязнение окружающей природной среды не освобождает природопользователей от выполнения мероприятий по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов, а также от возмещения в полном объеме вреда, причиненного окружающей природной среде, здоровью и имуществу граждан, народному хозяйству, в соответствии с действующим законодательством. Нормативы платы установлены Постановлением Правительства РФ № 344 от 12.06.03 г. «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления». Данный документ утверждает нормативы платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками. Устанавливает, что нормативы платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками потребления применяются с использованием коэффициентов, учитывающих экологические факторы и дополнительного коэффициента 2 для особо охраняемых природных территорий.

В табл. 1 приводится анализ динамики выбросов загрязняющих веществ по годам за период с 1990—2009 гг., подготовленный сотрудниками НИИ «Атмосферы» на основе Ежегодников выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации.

Таблица 1

Анализ динамики выбросов загрязняющих веществ

Годы	Количество выбросов загрязняющих веществ		
	всего от стационарных источников и автотранспорта, млн. т	от стационарных источников, млн. т.	от автотранспорта, млн. т.
1990	55,6	34,7	20,9
1991	49,1	31,8	17,3
1992	44,9	28,7	16,2
1993	43,6	26,3	17,3
1994	39,8	23,6	16,2
1995	36,7	22,2	14,5
1996	34,0	20,8	13,2
1997	34,2	19,8	14,4
1998	34,2	18,9	15,3
1999	34,7	19,2	15,5
2000	35,1	19,4	15,7
2001	35,4	19,4	16,0
2002	35,6	19,4	16,2
2003	37,0	20,4	16,6
2004	37,9	20,8	17,1
2005	37,7	20,3	17,4
2006	36,0	20,7	15,3
2007	37,1	20,8	16,3
2008	37,4	20,1	17,3
2009	36,3	19,0	17,1

Анализ изменения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников и автотранспорта проведен для 87 регионов Российской Федерации.

Для определения величин изменений выбросов от стационарных источников использовались данные республиканских, краевых и областных территориальных органов Ростехнадзора и Федеральной службы государственной статистики, а анализ динамики выбросов от автотранспорта осуществлялся с использованием данных территориальных органов Росприроднадзора и расчетов, проведенных в НИИ «Атмосфера».

Из табл. 1 видно, что объем выбросов загрязняющих веществ по Российской Федерации в 1990 г. составлял 55,6 млн. т и имел несколько лет (до 1996 г.) устойчивую тенденцию к снижению.

Тенденцию снижения выбросов в этот временной период можно отнести к результату экономических преобразований в сфере охраны окружающей среды.

В 1992 г. вышло Постановление Правительства Российской Федерации от 29.06.92 г. № 442 «О Федеральном экологическом фонде Российской Федерации и экологических фондах на территории Российской Федерации».

В период 1991—2000 гг. платежи за выбросы загрязняющих веществ, в соответствии с нормативными документами, направлялись в эти фонды.

Достигнув в 1996 г. уровня 34,0 млн. т выбросов загрязняющих веществ и после стабилизации в 1997 и 1998 гг. на уровне 34,2 млн. т. (в связи с тем, что в России в 1998 г. произошел локальный экономический кризис), объем выбросов стал увеличиваться и к 2005 г. составил 37,7 млн. т. До сегодняшнего момента не удалось снизить количество выбросов загрязняющих веществ до уровня 1998 г.

Министерство финансов Российской Федерации ежегодно утверждает количество доходов и расходов на следующий год в форме федерального закона «О федеральном бюджете». На официальном сайте Минфина в открытом доступе размещены федеральные бюджеты за 1997—2010 гг.

Рассмотрим динамику поступлений платежей за пользование природными ресурсами и расходы на охрану окружающей среды в федеральный бюджет Российской Федерации.

В общем объеме поступлений в доходы федерального бюджета налогов и сборов за пользование природными ресурсами прослеживается тенденция к увеличению таких поступлений (табл. 2).

Таблица 2

Объемы поступления платежей за загрязнение окружающей среды

Годы	Доходы федерального бюджета Российской Федерации, тыс. долл.	Расходы федерального бюджета Российской Федерации, тыс. долл.	Налоги и сборы за пользование природными ресурсами, %	Расходы на охрану окружающей среды, %
1995	48 346,8	68 546,5	1,38	0,54
1996	74 474,4	93 468,4	2,88	0,49
1997	96 247,2	78 095,1	3,19	0,51
1998	83 324,2	61 258,0	2,75	0,58
1999	22 938,38	27 847,29	2,38	0,50
2000	29 525,9	31 669,37	1,65	0,44
2001	42 367,16	42 367,16	3,33	0,44
2002	70 574,97	64 654,25	5,20	0,45
2003	76 031,18	73 762,30	6,40	0,46
2004	92 977,97	90 150,74	7,04	0,47
2005	120 073,68	110 033,54	8,07	0,15
2006	1 750 915,16	1 481 649,79	8,52	0,15
2007	2 648 409,58	2 077 368,78	8,03	0,15

В свою очередь на охрану окружающей среды расходы составляют в среднем 0,50 % от общих расходов.

Объемы платежей за загрязнение окружающей среды в бюджетную систему страны, как видно из табл. 2, стабилизировались и держались в 2005—2007 гг. на уровне 7…8 % от общей суммы федерального бюджета в год. При этом расходы на охрану окружающей среды значительно уменьшились.

В 2009 г. в структуре начислений платы по отношению к нормативам выбросов (сбросов), лимитам на выбросы и сбросы, лимитам на размещение отходов плата за разрешенное негативное воздействие выбросов, сбросов,

лимитов размещения отходов составила 56,6 %, плата за неразрешенное негативное воздействие — 43,4 %.

В разрезе по видам воздействия: в разрезе платежи за выбросы в атмосферу составляют примерно 25,0 % от общих экологических платежей.

В целом, в связи с приостановкой и (или) снижением производства, вызванных неблагоприятными экономическими тенденциями, наблюдалось сравнительное снижение поступлений платы за негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с 2007 и 2008 гг. (табл. 3).

Таблица 3

Сведения о начислениях платы за негативное воздействие на окружающую среду в 2007—2009 гг., млн. $

Показатель	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Общая сумма начисленной платы, в том числе:	650 190 114	691 900 691	521 014 241
за разрешенное негативное воздействие	353 612 167 (54 %)	386 650 386 (55,6 %)	295 241 403 (56,6 %)
за неразрешенное негативное воздействие	296 577 946 (46 %)	305 250 305 (44,4 %)	225 772 837 (43,4 %)
по видам воздействия: выбросы в атмосферу	171 102 661 (26,4 %)	181 441 161 (24,7 %)	125 043 417 (24,0 %)
сбросы в составе сточных вод	152 091 254 (23,4 %)	151 200 967 (20,6 %)	107 676 276 (20,7 %)
размещение отходов	326 996 197 (50,2 %)	401 762 571 (54,7 %)	288 294 546 (55,3 %)

Примечание: показатели взяты за 2008 г. без учета доначислений. Для обеспечения сравнимости показателей суммы начислений за 2008 и 2009 гг. указываются приведенными к уровню инфляции 2007 г.

По данным Федеральной службы статистики Российской Федерации можно проанализировать складывающуюся ситуацию за 2004—2010 гг. (так как данные предоставляются только за этот период).

Несмотря на то, что в процентном соотношении (как было видно из табл. 3) к общим расходам федерального бюджета затраты на охрану окружающей среды носили понижающий характер, в общем объеме сумма этих расходов имела уверенную тенденцию роста, что мы можем видеть из табл. 4.

Таблица 4

Затраты на охрану окружающей среды

Годы	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Всего	6679,55	8445,12	8994,72	11 224,33	15 003,13	11926,64	12237,33
Из них: на охрану атмосферного воздуха	1551,76	1940,97	2106,93	2435,93	3124,66	1650,21	2631,31
на очистку сточных вод	2959,52	3803,93	3875,95	4821,90	6483,47	5633,03	5558,72
на обращение с отходами	671,15	820,90	904,78	1074,03	1641,26	1347,89	1441,82

Окончание табл. 4

на защиту и реабилитацию почвы, подземных и поверхностных вод	308,30	485,34	581,88	821,55	1111,96	649,39	565,85
на сохранение биоразнообразия и среды обитания	403,35	452,77	556,97	824,37	1082,49	745,50	755,01

Как видно из табл. 4, за анализируемый период 2004—2010 гг. затраты на охрану окружающей среды возросли в 1,5 раза и составили 12 237,33 тыс. долл. Наибольшие затраты (43,0…47,7 %) при этом были связаны с очисткой сточных вод, наименьшие (5,3…7,4 %) — с защитой и реабилитацией почвы, подземных и поверхностных вод и сохранением биоразнообразия и среды обитания. Затраты на охрану атмосферного воздуха в период с 2004—2010 гг. занимали промежуточное положение и колебались в пределах 1551,76…2631,31 тыс. долл., составив 23 % в 2005 г. от общей суммы затрат на охрану окружающей среды и 17,5 % в 2009 г. Но при положительной тенденции роста затрат на охрану атмосферного воздуха можно наблюдать, что и общие затраты имеют уверенную тенденцию роста. А значит это никак не связанно с уделением особого внимания именно к охране атмосферного воздуха в нашей стране.

Форму федерального государственного статистического наблюдения № 2-тп (воздух) «Сведения об охране атмосферного воздуха» представляют юридические лица и индивидуальные предприниматели, имеющие стационарные источники выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух. В отчете по форме № 2-тп (воздух) об охране атмосферного воздуха отражаются данные по стационарным организованным и неорганизованным источникам загрязнения. Предлагаемая форма содержит информацию о нормах предельно допустимых выбросов (ПДВ) или временно согласованных на отчетный год выбросов (ВСВ), установленных предприятию в соответствии с действующим порядком.

К сожалению, в данной форме не отражаются сведения о сверхнормативных выбросах загрязняющих веществ по стране.

Федеральная служба государственной статистики не предоставляет в открытом доступе данные об объемах ВСВ, по которым можно было бы сделать вывод о количестве выбросов, на которые необходимо снизить загрязнение атмосферного воздуха в Российской Федерации.

Изучив аналитические материалы в открытом доступе, можно предположить, что количество таких выбросов равно 30 % от общего объема суммарных выбросов в год.

Имея возможность проанализировать количество сверхнормативных выбросов, мы могли бы предположить финансовые затраты, которые несет на сегодняшний день Российская Федерация и соответственно оценить возможность направления этих средств на снижение необходимого количества выбросов в соответствии с требованиями Конвенции.

В соответствии с проектом указа Президента РФ «Об основах экологической политики РФ на период до 2030 года и мерах по их реализации» на период до 2030 г. затраты на охрану окружающей среды возрастут более чем в 10 раз, соотношение объемов ВВП и расходов федерального бюджета с затратами на охрану окружающей среды за этот же период увеличится с 0,9 % в настоящее время до 1,7 % к 2030 г. С учетом наметившейся перспективы развития природоохранной деятельности в РФ есть основание полагать, что вопросы воздухоохранной деятельности займут достойное место в общем объеме решаемых задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон № 96-ФЗ от 04.05.1999 (ред. от 27.12.2009). Об охране атмосферного воздуха (принят ГД ФС РФ 02.04.1999).

2. Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01. 2002. Об охране окружающей среды (принят ГД ФС РФ 20.12.2001).

3. Основные направления деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2012 года, утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1663-р.

4. Сайт Федеральной службы государственной статистики. Режим доступа: www.gks.ru [дата обращения: май 2011 г.].

5. Официальный сайт Министерства финансов Российской Федерации. Режим доступа: info.minfin.ru [дата обращения: май 2011 г.].

6. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года от 17 ноября 2008 года. № 1662-Р (в редакции Распоряжения Правительства РФ от 08.08.2009 № 1121-Р).

1. Federal'nyy zakon № 96-FZ ot 04.05.1999 (red. ot 27.12.2009). Ob okhrane atmosfernogo vozdukha (prinyat GD FS RF 02.04.1999).

2. Federal'nyy zakon № 7-FZ ot 10.01. 2002. Ob okhrane okruzhayushchey sredy (prinyat GD FS RF 20.12.2001).

3. Osnovnye napravleniya deyatel'nosti Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii na period do 2012 goda, utv. Rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 17 noyabrya 2008 g. № 1663-r.

4. Sayt Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki. Rezhim dostupa: www.gks.ru [data obrashcheniya: may 2011 g.].

5. Ofitsial'nyy sayt Ministerstva finansov Rossiyskoy Federatsii Rezhim dostupa: info.minfin.ru [data obrashcheniya: may 2011 g.].

6. Kontseptsiya dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda. № 1662-R ot 17 noyabrya 2008 goda. (v redaktsii Rasporyazheniya Pravitel'stva RF ot 08.08.2009 № 1121-R).

© Михайловская Ю. С., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Михайловская Ю. С. Эколого-экономические механизмы управления качеством атмосферного воздуха в Российской Федерации // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 295—301.

УДК 628.4:504.5

О. В. Бурлаченко, О. В. Душко, И. Х. Мышлинская,
Г. А. Булычев, Ф. Г. Булычев, Г. Р. Булычев

СБОР И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ГСМ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Экологический ущерб национальному Заполярью, наносимый многолетним разбросом емкостей (бочек, резервуаров) с углеводородами в форме горючесмазочных материалов ГСМ, — актуальная проблема, для решения которой требуются значительные интеллектуальные, материальные и временные затраты.

Отработанные нефтепродукты целесообразно сжигать в составе водотопливной (водомасляной) эмульсии и топливной (топливо-масляной) смеси. При этом подлежащие термической утилизации жидкости необходимо очистить от механических примесей и предварительно обработать. Для этой цели предлагается устройство для изменения состава и свойств жидких углеводородов, основанное на эффекте гидравлического удара в жидкости для управляемого изменения реологических показателей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: строительство, гидравлический удар, утилизация нефтяных отходов, реологические свойства жидкости, нефтепродукты, экологичность, техническая надежность.

The ecological damage to the national Polar region caused by long-term dispersion of capacities (barrels, tanks) with hydrocarbons in the form of fuel and lubricants is the most urgent problem the decision of which requires considerable intellectual, material and time expenditures. Increasing legislative pressure is also required as the basis for human wasteless activity in all spheres.

It is rational to burn waste oils as a part of a water fuel (water oil) emulsion and a fuel (fuel oil) mixture. Liquids thus subject to thermal utilization need to be cleared of mechanical impurity and previously to process. For this purpose the device for change of structure and properties of liquid hydrocarbons based on the effect of water hammer in liquid for operated change of rheological indicators is offered.

K e y w o r d s: construction, water hammer, recycling of waste oils, rheological properties of liquid, oil products, environmental friendliness, technical reliability.

Введение. Экологический ущерб национальному Заполярью, наносимый многолетним разбросом емкостей (бочек, резервуаров) с углеводородами в форме горючесмазочных материалов ГСМ, — актуальнейшая проблема, для решения которой требуются значительные интеллектуальные, материальные и временные затраты.

Экология страны в эпоху развития техники, социальных и промышленных объектов требует ужесточения законодательства как основы безотходного содержания всех сфер деятельности человечества. Отстутствие глубокой проработки последствий существующих и проектируемых производств или сфер функционирования приводит к громадным затратам на исправления непродуманных решений. Например, раннее созданный каскад ГЭС на Волге с попутными морями Куйбышевским, Саратовским, Волгоградским с течением времени создал проблему очистки их вредных донных отложений, не прогнозируемых при проектировании. Уменьшение объемов полезной воды, ухудшение качества питьевой воды во времени теперь требует колоссальных затрат на восстановление проектных показателей этой системы.

Громадный разброс нефтепродуктов по всей территории Заполярья (разрушенные емкости, размывы и утечки ГСМ на лед и в воду с изменением их состава и свойств во времени) также представляет собой значительную эко-

номическую проблему. Металлические емкости подвержены атмосферной коррозии, снеговым заносам, вмерзанию в ледовый покров. Утилизация остатков ГСМ и тары из-под них, зачистка территории, загрязненных вод (снега и льда) требует комплексного подхода к решению указанной проблемы с использованием многоцелевой техники и технологий [1], чтобы сбор ранее использованных ГСМ, тары из-под них не требовал транспорта на материк и повторного завоза их в Арктику.

Комплексное применение многоцелевой и многофункциональной техники и технологий в условиях Арктики, выбор методов выполнения, а также средств решения указанной проблемы дает следующие результаты:

сбор ГСМ на большой территории разброса, оперативная переработка их на местных и централизованных базах;

местная утилизация ГСМ с улучшенными свойствами;

подготовка, прессовка остатков использованной тары, вывоз компактных блоков на централизованную переработку в металлургии;

дальнейшее поддерживание надежных экологических условий окружающей среды при минимальных объемах сезонного завоза ГСМ с безотходным использованием;

начальная и периодическая зачистка снега, льда, воды и суши от аварийных загрязнений по месту северных работ.

Многофункциональная система утилизации может реализовываться с наибольшей экономичностью и экологичностью поэтапно, за счет блочной техники и модульных технологий.

Этап 1. Картирование разброса ГСМ на территории Заполярья. За счет использования беспилотных летательных аппаратов (БЛА) или комбинированных дирижабль — самолет-вертолет (ДСВ) [2]. На географической карте определяется нахождения предметов утилизации, путей подхода транспортных средств с учетом ледовой обстановки, торосов, глубины снежного покрова и т. п. Необходимо учитывать многообразие состояния покрытия территории Заполярья, где требуются высоконадежные воздушные суда с круговым обзором, способные работать на любых высотах, без аэродромного обслуживания, подобные «летающим тарелкам» [2].

Этап 2. Сбор тары и ГСМ на базы переработки. Сбор тары и ГСМ с картированных точек требует многообразной техники и высококвалифицированных специалистов, тогда как нами предложена самоходная база СБ [3], совмещающая в себе выполнение многих функций (рис. 1).

Согласно рис. 1, СБ имеет трубные или сварные облегченные понтоны *1* Ø 1500…2000 в количестве 4…6 шт., длиной 100…200 м, собранные в общий плот *2* с просветами между понтонами 1,5…2 м, чтобы иметь многокорпусный «Катамаран».

На плоту установлены 2…4 гусеничных трактора *3*, которые приводят в действие модернизированные гусеничные устройства *4* (4…8 шт.) и электрогенераторы *5*.

Изменение геометрии гусеничного устройства дает возможность СБ самопередвижения на суше и мелководье с выходом на лед.

Из-за большой площади платформы (150…400 м^2) и высокой грузоподъемности (1000…1500 т) есть возможность разместить здесь крановые, хозяйственные и бытовые элементы исходя из конкретных условий работы.

Как видно из приведенных материалов, СБ представляет собой комплекс известных устройств, скомпонованных для особых условий работы, с высокой плавучестью и гусеничным ходом большой тяги.

Предложенные особенности позволяют выполнять монтаж СБ на суше с последующим ее самопередвижением на воду до 7…10 м глубиной и выходом из воды по необходимости. При глубине водоемов более 7 м СБ буксируется как обычный плот или медленно передвигается за счет вращения гусеничных траков.

СБ может служить эллингом для воздушных аппаратов и надежным доком для маломерных дежурных и аварийных катеров, лодок и т. п., имея запас расходных материалов напалубного складирования и боковую швартовку.

Многочисленные понтоны, простота выполнения СМР, автоматизация состояния элементов, использования принципа «тяни-толкай», большая перемена клиренса, дающая возможность увеличивать подъемную силу на воде, позволяет получить здесь высокую надежность и экономичность средств и времени.

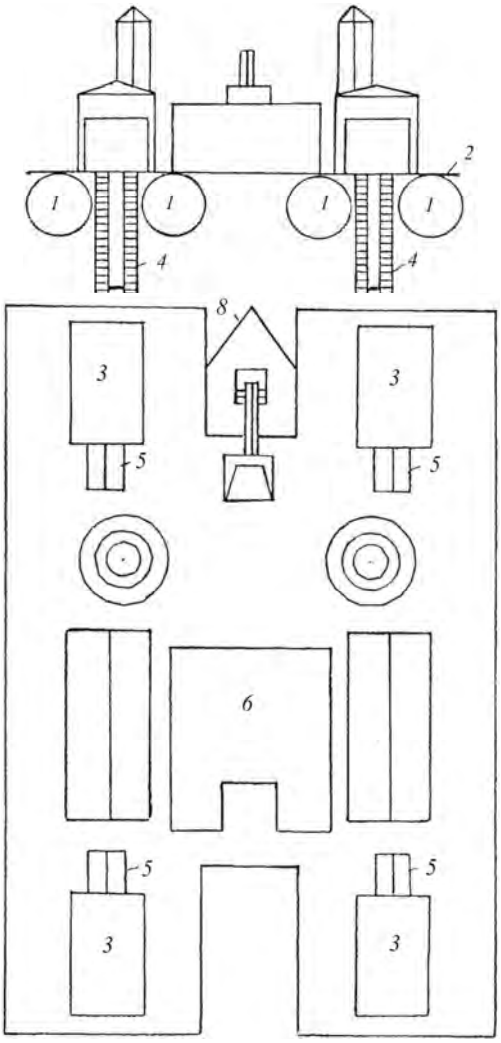


Рис. 1. Эскиз самоходной базы «вода — суша»

Этап 3. Рассортировка ГСМ по составу и резервуарам хранения с определением и проведением НИСОКР. Рассортировку ГСМ различных составов и состояния в разрушающейся таре наиболее надежно вести в закрытом помещении с регулируемой температурой и вентиляцией при любом состоянии окружающей среды в Арктике с учетом изображения [4] «Способ сбора нефти и газа из подводных аварийно фонтанирующих скважин». В качестве производственного цеха может быть применен стандартный резервуар вертикальный стальной (РВС) емкостью от 1000 до 50000 м^3 с учетом заданных технических условий по месту и назначению эксплуатации. В качестве опорной базы РВС наиболее целесообразна ранее рассмотренная СБ или сани, так как при погружении в воду они не тонут и обладают значительной плавучестью за счет архимедовой силы с переменной глубиной погружения. В таком обогреваемом цехе можно оперировать с ГСМ при оптимальных температурах, заданной вязкости, выполняя рекомендации совокупной химической лаборатории. Газовая фаза облагораживается, например, с применением [5], когда бишофитовый поглотитель вредных примесей является антифризом с точкой замерзания до –50 °С. В таких условиях можно вести все виды работ с отходами ГСМ необходимое время и в комфортных условиях, даже в Арктике.

Разделение отходов ГСМ по их паспортным характеристикам позволяет ожидать малое количество стандартных нефтепродуктов, а основное количество жидких углеводородов придется переводить в низкосортное топливо и примитивную смазку пар трения [6], загрязненную воду (снег, лед) собирать в отдельную линию утилизации [6; 7].

Этап 4. Получение газового, дизельного и печного топлива к местному использованию. При обработке отходов ГСМ необходимо работать с получением индивидуальных видов углеводородов. Так, возможно выделение метанового газа с очисткой от вредных примесей [5], чтобы экологически безвредно использовать его в качестве топлива в тепловых устройствах различного назначения [1].

Сущность портативной очистной установки газов показана на рис. 2. Здесь мобильный блок А содержит последовательно соединенные линию *1* подвода загрязненного газа, струйный диспергатор *2* с линией *3* для подвода абсорбента, линейный трубный реактор *4*, газовый сепаратор *5*, фильтроемкость *6* и емкость *7* для абсорбента. Нижний выход емкости *7* для абсорбента соединен с линией *3* для подвода абсорбента в струйный диспергатор *2*. Блок А дополнительно содержит емкость *8* для сбора газового конденсата в сепаратор *5*.

Линейный трубный реактор *4* содержит подогреватель *9*. Блок А является мобильным, так как он установлен на платформе *10* с санями. Очищенный газ удаляется из верхнего выхода газового сепаратора *5* по линии *11* подачи газа потребителю.

Отработанный загрязненный абсорбент из нижнего выхода газового сепаратора *5* удаляется по линии *12* в регенератор или поступает по линии *13* в фильтр-емкость, где очищается от вредных примесей, и далее по линии *14* в емкость *7* для очищенного абсорбента. Газовый конденсат через средний выход *15* газового сепаратора *5* поступает в емкость *8* для его сбора, из которой периодически удаляется потребителю.

Мобильный блок Б содержит линию *16* подвода загрязненного абсорбента, последовательно соединенные струйный диспергатор *17* с патрубком *18* подвода атмосферного воздуха, линейный трубный реактор *19*, фильтр *20* с патрубком *21* вывода серной пульпы, емкость-отстойник *22* и насос *23*. При этом линия *16* подвода загрязненного абсорбента подключена к патрубку *24* емкости-отстойника *23* и к всасывающей линии *25* насоса *23*, нагнетательная линия *16* которого соединена со входом *27* струйного диспергатора *17*.

Блок Б дополнительно содержит буферную емкость *28* для загрязненного абсорбента, которая подключена трубопроводом *29* к линии *16* подвода загрязненного абсорбента и трубопроводом *30* к струйному диспергатору, и накопитель *31* серной пульпы, который подключен к патрубку *21* вывода серной пульпы из фильтра *20*.

Блок Б является мобильным, так как он установлен на платформе *32* с санями для любого вида транспорта.

Линейный трубный реактор *4* соединен трубопроводом *33* с фильтром *20* и содержит нагреватель *34*.

Раздельное размещение и использование блоков А и Б исключает возможность образования взрывоопасной смеси.

В жестких условиях Арктики отходы ГСМ в качестве дизтоплива, печного топлива могут использоваться только за счет создания топливных смесей, без вывоза на НПЗ материка.

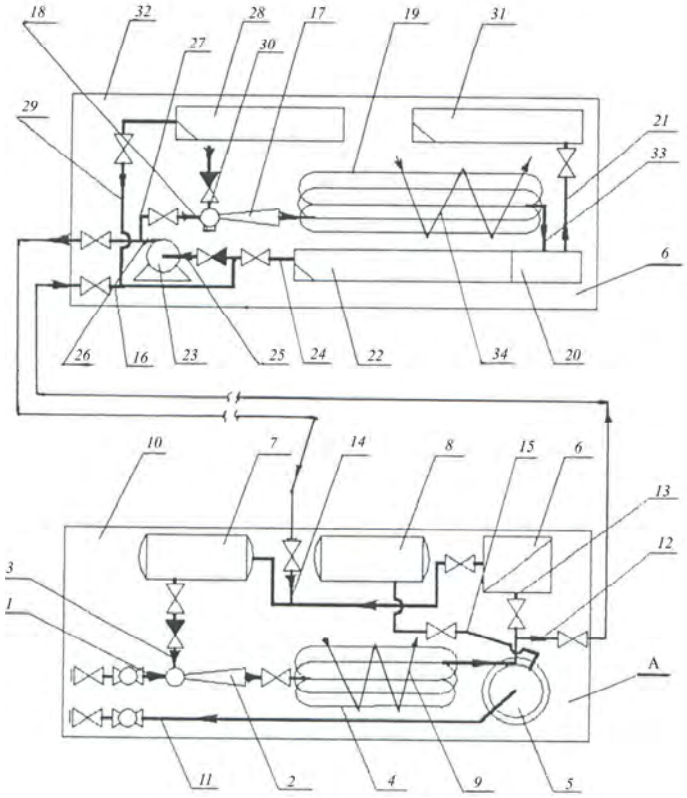


Рис. 2. Принципиальная схема портативной очистной установки газов на бишофитовом поглотителе вредных примесей

Однако эффективность предложенной схемы можно повысить за счет изобретения [6], когда гидравлический удар в жидкости предлагается использовать для управляемого изменения реологических показателей. Способ изменения состава и свойств жидких углеводородов и устройство для его осуществления представлены на рис. 3.

Устройство содержит поршневый двигатель внутреннего сгорания с коленчатым валом *1* и кивошипно-шатуным механизмом *2*, совмещенные с двигателем две секции плунжерного насоса, каждая из которых включает корпус *3* с впускными клапанами *4* и *5* и выпускными клапанами *6* и *7*. В цилиндре *8* двигателя размещена свеча *9* в камере *10* микровзрывного сгорания топлива над поршнем *11* диаметром *D*, выполненным объединенно с плунжером *12* диаметром *d*, которые посредством стержня *13* и шарнира *14* соединены с шатуном *15*, а плунжер *12* размещен в цилиндре *16*, емкость *17* для хранения жидких углеводородов с впускной трубой *18* и выпускной трубой *19* имеет возможность переключать работу насоса с прямоточного потока в емкость *17* на циркулирующий поток по трубам и секциям насоса.

Устройство работает следующим образом: в положении А (рабочий ход поршень *11* — плунжер *12*) после поступления горючей смеси через впускной клапан *4* и вспышки (взрыва) ее от свечи *9* топливовоздушной смеси камеры *10* поршень *11* под давлением P_1 газов движет плунжер *12* для гидравлического удара с давлением $P_{уд}$ на жидкие углеводороды, поступившие через впускной клапан *5* в нижний цилиндр *16*.

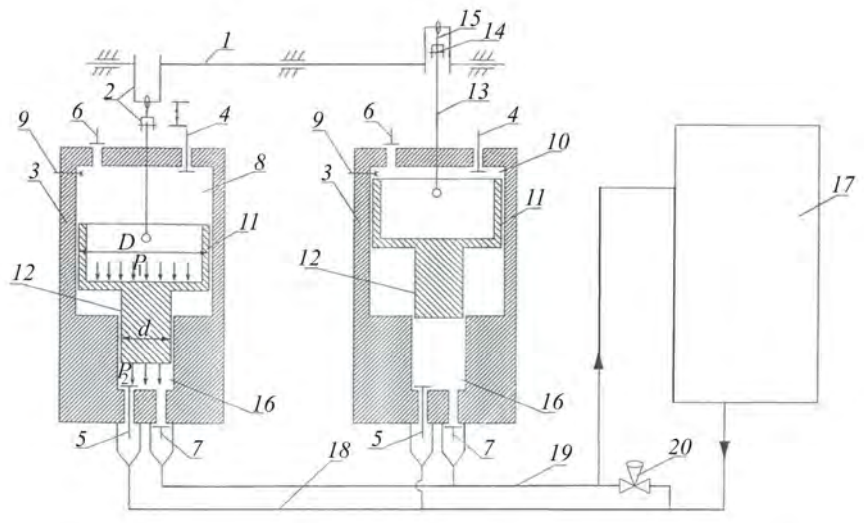


Рис. 3. Принципиальная схема устройства для изменения реологических свойств жидкости под воздействием гидравлических ударов

В результате по формуле Ван-дер-Ваальса давление динамического удара газов на поршень *11*:

$$P_1 = (P_0 V_0 T)/(V - a)\ 273, \qquad (1)$$

где P_1 — давление газов в камере *10*; V_0 — удельный объем газов; T — температура газов; V — объем камеры *10*; a — коволюм газов.

Мгновенный бросок поршня-плунжера в жидкие углеводороды, ограниченные объемом плунжерного цилиндра *16*, сопровождается гидравлическим ударом по формуле Н. Е. Жуковского:

$$P_2 = \gamma\nu C, \quad (2)$$

где γ — плотность жидкой среды углеводородов; ν — скорость удара плунжера *12*; *C* — скорость распространения ударной волны.

Результирующее давление ударной волны на жидкие углеводороды в цилиндре *16*

$$\Delta P_{уд} = P_2 D/d + P_1. \quad (3)$$

Оценочный расчет по формуле (2) при средних величинах:

γ = 900 кг/м^3 — плотность жидкой среды углеводородов; ν = 500 м/с — скорость удара плунжера *12*; *C* = 1000 м/с — скорость ударной волны в жидкости.

Тогда в формуле (2) гидравлический удар:

$$P_2 = 0{,}0009 \cdot 500 \cdot 1000 \approx 450 \text{ кгс/см}^2,$$

а результирующий удар плунжера *12* по формуле (3):

$$\Delta P_{уд} = 450 \cdot 200/70 + 8 = 1358 \text{ кгс/см}^2$$

передается жидким углеводородам благодаря высокопрочным плунжерным парам.

Таким образом, при начальном давлении $P_1 \leq 8$ кгс/см^2 в камере *10* получается удар на жидкие углеводороды

$$\Delta P_{уд} >> P_1 = 1358 >> 8.$$

Эффект силового удара на углеводороды велик, тем более с учетом влияния подъема температуры (1) при ударах. При этом температуру углеводородов можно экономично регулировать в диапазоне 100…250 °С, нагревая или охлаждая их в общем устройстве.

В положении В (холостой ход поршня *11* и плунжера *12*) нагнетается топливовоздушная смесь в камеру *10* через выпускной клапан *6*. Плунжер *12*, поднимаясь, освобождает цилиндр *16* для поступления загрязненных углеводородов. Свеча *9* готова к повторной вспышке топливовоздушной смеси. Наличие регулятора *20* позволяет автоматически переключить подачу углеводородов с прямоточного на циркуляционный вариант для управляемого изменения состава и свойств углеводородов, зависящих от частоты гидравлических ударов и температуры.

Изобретение позволяет повысить экономичность, экологичность и техническую надежность облагораживания состава и свойств жидких углеводородов в форме отработанных масел, загрязненных нефтей и нефтешамов, которые отравляют окружающую среду.

Этап 5. Прессование подготовленных отходов тары к использованию в металлургии. Так как тара, в которой поставлялись легкотекучие углеводороды или высоковязкие смазки, — стальные бочки (реже малые горизонтальные резервуары) — при длительном хранении в основном значительно разрушена коррозией, то она не пригодна к повторному использованию и по

экологическим требования подлежит срочной утилизации. Наибольшей экономии можно достичь, если после освобождения от остатков горючих сред прессовать остатки тары в компактные пластины и в форме малогабаритных брикетов отправлять на традиционную переплавку в металлургических печах. При этом наиболее надежным и экологичным транспортным средством без перевалок груза может быть воздушное судно (рис. 4) [2]. Изобретение относится к воздушным судам кругового обзора с беспилотным безаэродромным обслуживанием и автоматическим управлением. Способ воздушного перемещения грузов заключается в том, что используют летательный аппарат как единое целое с верхним моторным модулем *1* и несущим винтом *2* для создания вертикальной тяги, со средним аэростатическим модулем *3* с наддувом его горячими выхлопными газами от тяговых двигателей внутреннего сгорания *4* для создания аэростатической подъемной силы и горизонтальной тяги и с нижним грузовым модулем *5* в виде пространственной решетки с опорным поддоном *6* на малых колесах *7* для размещения блочных и контейнерных грузов *8* и маневрирования при взлете и посадке.

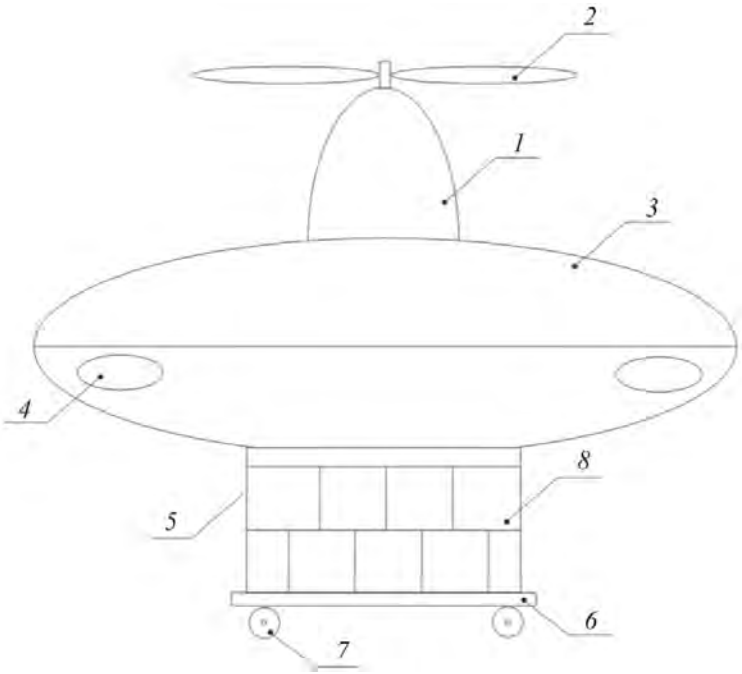


Рис. 4. Общий вид многофункционального устройства для воздушного подъема и перемещения грузов

При этом осуществляют постоянное окутывание грузов облаком охлажденных газов CO_2 из среднего аэростатического модуля, в качестве основного топлива для работы двигателей внутреннего сгорания используют газы частичного испарения перевозимых углеводородов с предварительным их подогревом для полного сжигания горячей горючей газовоздушной смеси при наличии в резерве стандартного авиационного топлива. Изобретение повышает безопасность транспортировки грузов, выполняя роль крана или базы воздушной электростанции за счет солнца и ветра.

Этап 6. Сбор, очистка загрязненных вод без вывоза их на материк. Сбор и плавление загрязненного снега, льда и очистка вод возможны совместно с этапом 4 с получением топлива на местные нужды [7].

Проведение разнообразных работ по специфическим технологиям требует различной техники с предварительным выполнением НИОКР и ПНР, инновационных систем для физико-географических и климатических условий Заполярья. Поэтому рассматриваемую работу можно считать предпроектной.

Этап 7. Зачистка территории от загрязнений почвы и воды возможна совместно с выполнением этапа 6, когда собранный грунт трактором с навесными сменными агрегатами проходит промывку от углеводородов и размещение на ранее занимаемое место.

При этом вывоз и привоз свежего грунта не предполагаются, материал загрязнений используется для обработки и утилизации, как рассматривалось на этапах 2…6.

Этап 8. Организация и применение мобильных нефтебаз для экологичного безотходного использования ГСМ на перспективу. Названные многовариантные работы и многофункциональная техника в системе утилизации ГСМ могут участвовать с использованием самоходных полярных нефтебаз СПН (рис. 5). Такие нефтебазы могут включать два модуля. Модуль I — жилой комплекс со всеми необходимыми блоками автономного функционирования и выживания в аварийных ситуациях. Опорно-ходовой базой модулей I и II служит СБ (см. рис. 1).

Модуль II — производственно-технический комплекс, который при минимальном обслуживании должен обладать высокой надежностью в погодных условиях Заполярья.

В целом СПН может включать не только модули I и II, но и модуль III — передвижной резервуарный парк для накопления и раздачи ГСМ потребителям при отсутствии транспортных коммуникаций с материком, который может периодически сближаться с модулями I и II.

Модуль I, крыша которого может служить приемной площадкой (эллингом) для причаливания и обслуживания воздушного судна ВС, имеет ветровые и солнечные электрогенераторы *2*, *4* с аккумуляторной батареей *6*. При этом ВС позволяет оперативно менять вахту СПН, способствует увеличению грузоподъемности модуля I и вырабатывает электроэнергию с больших высот атмосферы с подачей ее на нужды СПН.

Конструктивно модуль I включает корпус *7* за счет РВС большой плавучести, разделенный на отсеки: жилые, лабораторные, санитарно-бытовые помещения *15* и блок управления СПН. Все перечисленное установлено на самоходный плавучий блок *10*, в качестве которого применена ранее показанная СБ (см. рис. 1).

Переходный тамбур *8* позволяет обслуживающему персоналу оперативно сообщаться между модулями при любой погоде.

Люки *11* в модулях I и II дают возможность обмена грузами без выхода из них, используя внутренние шахтные лестницы и лифты.

Модуль II показан в момент применения его в качестве эллинга для ВСК (рис. 5). Корпус *9*, в качестве которого принят РВС на базе СБ (см. рис. 1), размещен на ледовой поверхности *12* у кромки моря *13*.

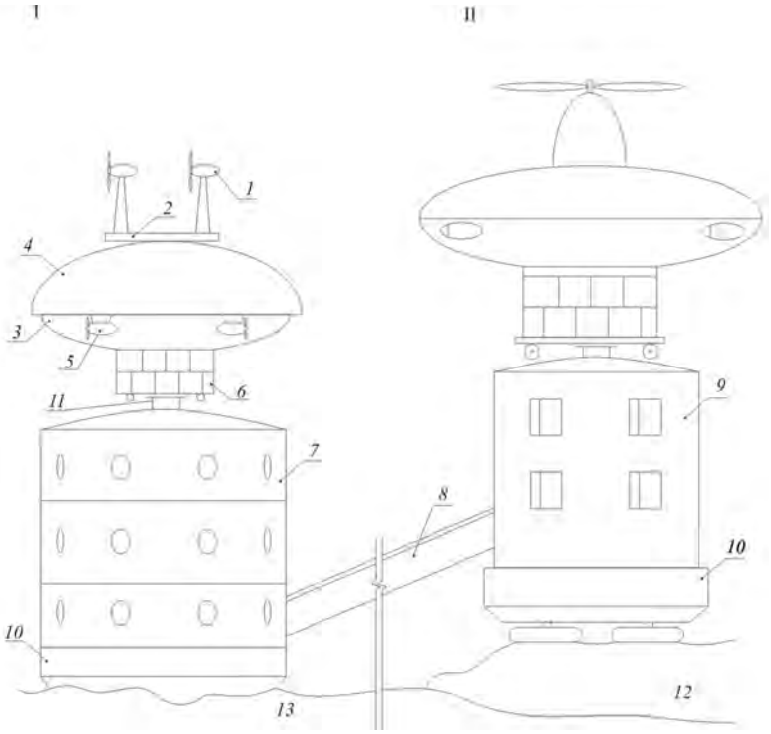


Рис. 5. Общий вид самоходной полярной нефтебазы: модуль I — жилой, лабораторный комплекс, эллинг с грузопассажирским воздушным судном ВС; модуль II — производственный комплекс, эллинг с грузовым воздушным судном, подъемным краном ВСК

Описанные аппараты дают возможность успешно работать в полярных условиях, улучшая экологическое состояние Заполярья.

Выводы:

1. В ближайшие годы самоходные полярные нефтебазы СПН смогут служить чистильщиками территорий и вод Заполярья, обладая многоцелевыми способностями и многофункциональным назначением.

2. С развитием нефтегазовой отрасли в Арктике СПН может быть оснащена модулем III — передвижным (на санях, понтонах) резервуарным парком полной номенклатуры требуемых ГСМ для оперативного обеспечения производственных объектов Заполярья.

С началом добычи первых кубометров нефтегазовой продукции северных месторождений воздушные многофункциональные суда ВС, ВСК смогут более широко и оперативно использоваться, в т. ч. и для транспортирования углеводородов, когда другие коммуникации или еще не построены, или находятся на стадии апробирования. В этом случае источником энергии летающих аппаратов может служить попутный газ, легкие фракции перевозимой нефти и конденсата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Булычев Г. А.* Многоцелевая техника в нефтегазовом деле: от идеи до серийного производства. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. 204 с.

2. *Булычев Ф. Г.* Способ воздушного перемещения грузов : патент Рос. Федерации № 2356786. 2007.

3. *Булычев Г. А.*, *Булычев Ф. Г.* Вездеходное транспортное средство : изобретение № 21172, Рос. Федерация. 2001.

4. *Булычев Г. Р.* Способ сбора нефти и газа из подводных аварийно фонтанирующих скважин : заявка на изобретение № 2010134745/03. 2010.

5. *Булычев Г. А.*, *Булычев Ф. Г.*, *Булычев Г. Р.* Способ очистки газа от вредных примесей : пат. Рос. Федерации № 2907184. 2000.

6. *Мышлинская И. Х.*, *Бурлаченко О. В.*, *Булычев Г. Р.* Способ изменения состава и свойств жидких углеводородов и устройство для его осуществления : заявка на изобретение № 2011113951/20. 2011.

7. *Душко А. О.*, *Пустовалов Е. В.*, *Юрьев Ю. Ю.* Способ очистки загрязненных вод : заявка на изобретение. 2012.

1. *Bulychev G. A.* Mnogotselevaya tekhnika v neftegazovom dele: ot idei do seriynogo proizvodstva. Volgograd : VolgGASU, 2009. 204 s.

2. *Bulychev F. G.* Sposob vozdushnogo peremeshcheniya gruzov : patent Ros. Federatsii № 2356786. 2007.

3. *Bulychev G. A.*, *Bulychev F. G.* Vezdekhodnoe transportnoe sredstvo : izobretenie № 21172, Ros. Federatsiya. 2001.

4. *Bulychev G. R.* Sposob sbora nefti i gaza iz podvodnykh avariyno fontaniruyushchikh skvazhin : zayavka na izobretenie № 2010134745/03. 2010.

5. *Bulychev G. A.*, *Bulychev F. G.*, *Bulychev G. R.* Sposob ochistki gaza ot vrednykh primesey : pat. Ros. Federatsii № 2907184. 2000.

6. *Myshlinskaya I. Kh.*, *Burlachenko O. V.*, *Bulychev G. R.* Sposob izmeneniya sostava i svoystv zhidkikh uglevodorodov i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya : zayavka na izobretenie № 2011113951/20. 2011.

7. *Dushko A. O.*, *Pustovalov E. V.*, *Yur'ev Yu. Yu.* Sposob ochistki zagryaznennykh vod : zayavka na izobretenie. 2012.

© Бурлаченко О. В., Душко О. В., Мышлинская И. Х., Булычев Г. А., Булычев Ф. Г., Булычев Г. Р., 2013

Поступила в редакцию
в феврале 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Сбор и утилизация отходов ГСМ в условиях Арктики / О. В. Бурлаченко, О. В. Душко, И. Х. Мышлинская, Г. А. Булычев, Ф. Г. Булычев, Г. Р. Булычев // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 302—312.

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

УДК 539. 218:625.855.3:625.76

А. А. Ермилов

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА УПЛОТНЯЕМОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ РЕМОНТЕ ГОРОДСКИХ ДОРОГ

Дана оценка плотности асфальтобетонного покрытия при помощи методов теории вероятности и математической статистики.

К л ю ч е в ы е с л о в а: плотность асфальтобетона, вероятностная оценка уплотняемости асфальтобетона, коэффициент вариации плотности асфальтобетона.

The estimate of asphalt concrete topping density by methods of the theory of probability and mathematical statistics is given.

K e y w o r d s: asphalt concrete density, probability estimate of asphalt concrete compaction, asphalt concrete density variation coefficient.

Ремонт городских автомобильных дорог является наиболее распространенным способом поддержания нормального функционирования транспортной системы города. Как правило, данный вид работ требует качества и быстроты выполнения. Ключевым этапом при производстве дорожно-ремонтных работ является уплотнение слоя асфальтобетонной смеси.

Производство работ по уплотнению свежеуложенного слоя асфальтобетонной смеси в городских условиях имеет свою специфику:

1. Уплотнение асфальтобетонного покрытия осуществляется на ограниченном фронте работ в сжатые сроки из-за необходимости ограждения участка производства работ на дорогах, перегруженных движением автотранспорта.

2. Открытие интенсивного движения на отремонтированных участках в кратчайшие сроки (через несколько часов) предъявляет повышенные требования к плотности дорожного покрытия. Недоуплотнение асфальтобетонной смеси, особенно в условиях интенсивной эксплуатации дорожного покрытия на стадии формирования прочной структуры асфальтобетона, приводит к развитию колейности на отремонтированных участках дорог.

3. На городских дорогах существуют участки труднодоступные для качественного уплотнения крупногабаритными катками: бордюры, люки, трамвайные пути, карманы для остановки и стоянки автотранспорта и т. п. В этих местах выглаживающая плита асфальтоукладчика приподнимается, в результате образуются участки с недоуплотнением асфальтобетонной смеси.

4. В местах остановки и торможения городского транспорта (перекрестки, примыкания, переезды, остановки общественного транспорта), на участках с большим уклоном возникают многократные воздействия касательных напряжений, что приводит к локальным нарушениям условия прочности материала на сдвиг. На остановках общественного транспорта часто происходят сдвиги не только в продольном, но и в поперечном направлении с отжиманием материала покрытия в сторону бордюра и образованием колей. На подъезде к перекресткам также образуются волны [1]. Вследствие этого требуются более жесткие требования к асфальтобетонным смесям и их уплотнению. Из-за недостаточного уплотнения и неправильной рецептуры смеси на дорожном покрытии в местах резкого торможения возникает колейность.

5. Укладку и уплотнение асфальтобетонной смеси производят, как правило, на неровном старом покрытии, что также предъявляет более строгие требования к плотности асфальтобетона.

6. Транспортировка смеси в городе происходит часто в условиях плотного транспортного потока, длительных дорожных заторов и остановок на пути автосамосвала. Это приводит к остыванию поверхностного слоя горячего асфальта в местах его контакта с воздухом и кузовом самосвала. При транспортировке тяжелые фракции асфальта осаждаются на дно самосвала. Образовавшаяся в результате этого температурная и фракционная сегрегация вызывает неоднородную плотность асфальтобетона.

7. Во время уплотнения необходимо особое внимание уделять поперечным и продольным швам сопряжения полос асфальтобетонного покрытия. В первую очередь в этих местах происходит разрушение покрытия из-за его недостаточного уплотнения.

С целью исследования особенностей уплотнения покрытий городских дорог Волгограда в период с май по октябрь месяц 2012 г. проводились работы по исследованию температурного режима и уплотняемости асфальтобетонных смесей.

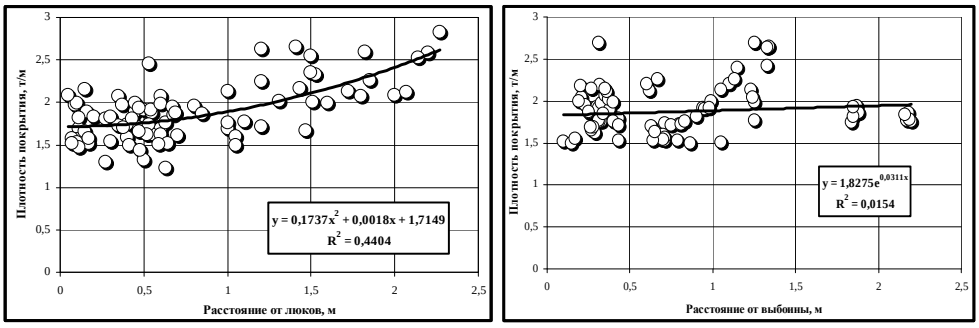
При помощи плотномера ПАБ производились измерения плотности асфальтобетона около канализационных люков, бордюров, выбоин, на остановках общественного транспорта (рис. 1).

а *б*

Рис. 1. Измерение плотности асфальтобетона около канализационных люков (*а*) и выбоин (*б*)

Измерения плотности около трудноуплотняемых мест на покрытии производились после выполнения всех работ по ямочному ремонту, через определенный промежуток времени, когда смесь остыла, и требуемый коэффициент уплотнения асфальтобетона должен уже полностью быть обеспечен. Замеры выполнялись по круговой траектории с постепенным отдалением от исследуемого участка. В среднем было произведено около 30 однократных замеров плотности асфальтобетона возле каждого проблемного или труднодоступного места.

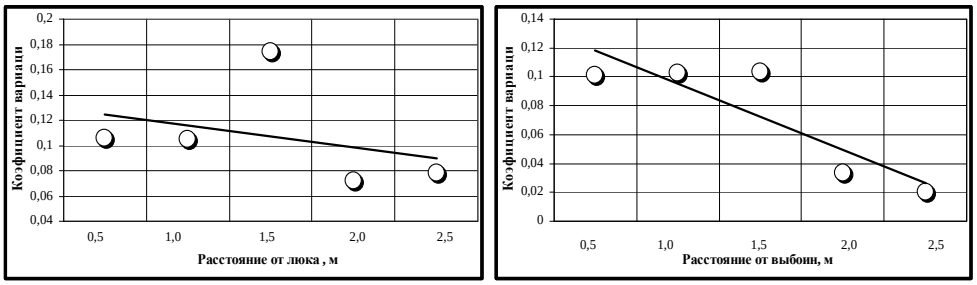
На основе данных замеров были построены графики изменения плотности асфальтобетона в зоне проблемных мест. В качестве примера приведены графики изменения плотности асфальтобетона в зоне формирования выбоин и канализационных люков (рис. 2). На графиках заметно прослеживается увеличение плотности асфальтобетона по мере удаления от проблемного или труднодоступного места.



а *б*

Рис. 2. Изменение плотности асфальтобетона в зоне устройства канализационных люков (*а*) и формирования выбоин на покрытии (*б*)

По результатам обследования выполнены вычисления среднеквадратичного отклонения и коэффициентов вариации значений плотности асфальтобетона. На рис. 3 видно, что в пределах двух метров от исследуемого места наблюдается сильная вариация плотности асфальтобетона, которая возникает по причине неоднородного уплотнения дорожного покрытия.



а *б*

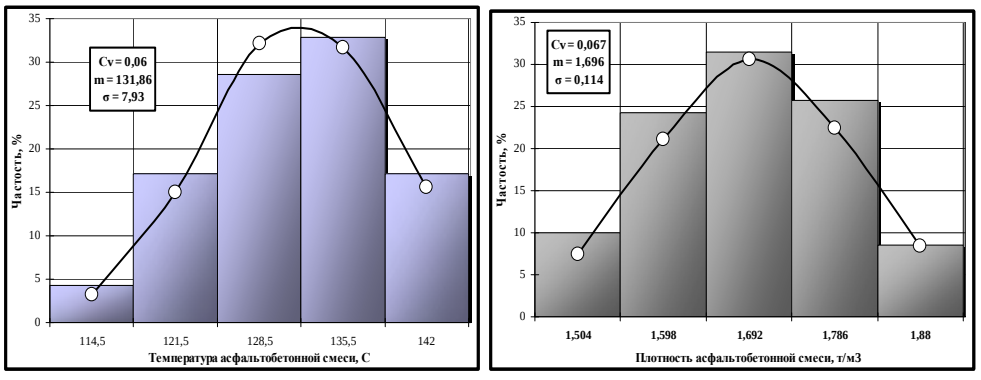
Рис. 3. Изменение коэффициента вариации плотности асфальтобетона около канализационных люков (*а*) и выбоин (*б*)

В период с июля по август месяц 2012 г. были выполнены полевые исследования по уплотняемости асфальтобетона в течение всего технологического процесса укладки и уплотнения смеси. Ширина захватки составляла 3,5 м, длина — 50…70 м. Толщина слоя устраиваемого покрытия — 0,06 м. Тип смеси — Б, марка — II. Одновременно с измерением плотности выполнялся контроль температурного режима поверхности асфальтобетона.

При устройстве асфальтобетонного покрытия использовалась следующая дорожная техника: асфальтоукладчик VOGELE (Wirtgen group), легкий вибрационный двухвальцовый тандемный каток AMMANN AV80X4 (8 т), тяжелые вибрационные двухвальцовые тандемные катки AMMANN AV110X (11 т) и AMMANN AV120X (12 т).

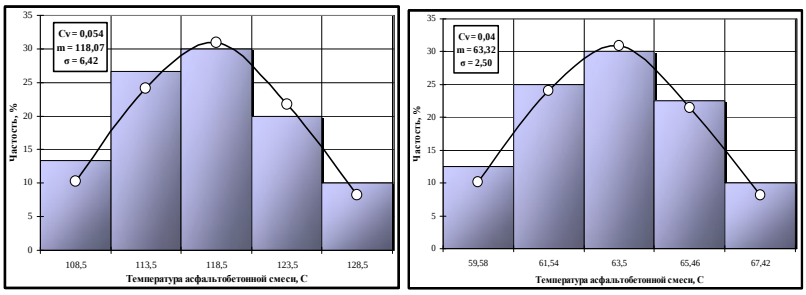
Технология производства дорожных работ применялась следующая. Сразу за асфальтоукладчиком легкий виброкаток AMMANN AV80X4 (8 т) совершал подкатку асфальтобетонной смеси за 8 проходов по одному следу. Далее тяжелый виброкаток AMMANN AV110X (11 т) в статическом режиме совершал около 8 проходов по одному следу. Практически одновременно с ним завершение процесса уплотнения выполнялось виброкатком AMMANN AV120X (12 т) за 8 проходов в статическом режиме. Проходы тяжелых виброкатков AMMANN AV110X (11 т) и AMMANN AV120X (12 т) выполнялись с различными технологическими перерывами, во избежание растрескивания асфальтобетона и образования наплывов.

Процесс обследования участка заключался в измерении плотности и температуры поверхности асфальтобетона при помощи плотномера ПАБ сразу после укладки асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком и через каждые 2 прохода дорожных катков. Точки измерений выбирались в центре и по краям покрытия через каждые 5 м. Метод измерения был выбран с усреднением из трех единичных замеров на расстоянии 20…25 см. В сумме было получено более 400 усредненных значений после выбраковки, принятых к математической обработке. На основании данных обследования были составлены гистограммы распределения температуры поверхности и плотности асфальтобетона (рис. 4—6).



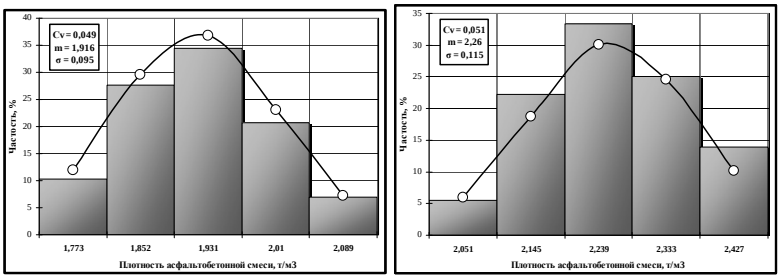
а *б*

Рис. 4. Гистограмма распределения температуры поверхности (*а*) и плотности асфальтобетона после прохода асфальтоукладчика (*б*)



а *б*

Рис. 5. Гистограмма распределения температуры поверхности асфальтобетона после двух проходов катка AMMANN AV80X4 (*а*) и после восьми проходов катка AMMANN AV120X (*б*)

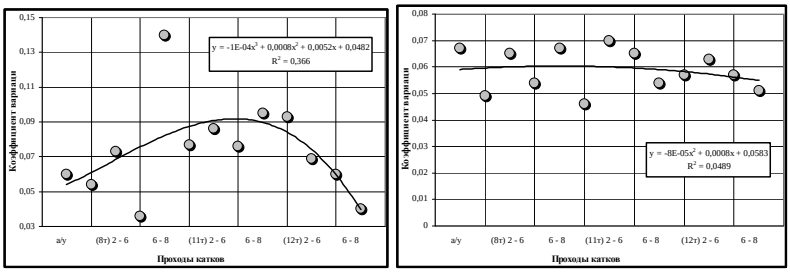


а *б*

Рис. 6. Гистограмма распределения: плотности асфальтобетона после двух проходов катка AMMANN AV80X4 (*а*) и после восьми проходов катка AMMANN AV120X (*б*)

При помощи критерия Пирсона [2] было доказано, что плотность и температура поверхности асфальтобетонной смеси подчиняется нормальному закону распределения. По результатам генеральной совокупности были рассчитаны значения коэффициента вариации (*Cv*), математического ожидания (*m*) и стандартного отклонения (σ) для определенного прохода по одному следу и типа катка.

Данные коэффициентов вариации представлены в сводных графиках на рис. 7.



а *б*

Рис. 7. Изменение коэффициента вариации температуры поверхности (*а*) и плотности смеси в процессе укладки и уплотнения асфальтобетона (*б*)

На графике (см. рис. 7) видно, что наиболее высокая вариация температуры поверхности смеси — 14 % появляется после 8-го прохода виброкатка AMMANN AV80X4 (8 т), вариация плотности асфальтобетона — 7 % самая высокая после 4-го прохода тяжелого виброкатка AMMANN AV110X (11 т). Вариация температуры поверхности асфальтобетона носит нелинейный хаотичный характер в процессе укладки покрытия, вызванная, скорее всего, сегрегацией смеси в течение всего процесса транспортировки и устройства асфальтобетонного покрытия. Общая вариация плотности асфальтобетона с течением процесса укладки и уплотнения смеси снижается.

Как показано на рис. 8, температура поверхности асфальтобетона снижается по экспоненциальному закону.

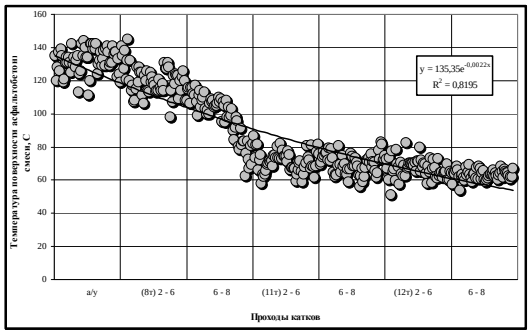


Рис. 8. Изменение температуры поверхности смеси в процессе укладки и уплотнения асфальтобетона

На графиках 8, 9 видно, что уже примерно в середине всего процесса устройства покрытия, когда уплотнение выполнялось виброкатком AMMANN AV110X (11 т), температура поверхности асфальтобетона, снизившись в среднем до 70 °С, устойчиво оставалась неизменной в интервале 80…60 °С до окончания всего процесса уплотнения смеси. Одновременно нормативная максимальная плотность асфальтобетона 2,44 т/м^3 также была достигнута в середине процесса уплотнения и оставалась неизменной до окончания работ. Однако данные показатели асфальтобетонной смеси не были однородны по всей площади покрытия, и вследствие этого к концу уплотнения покрытие осталось разноуплотненным.

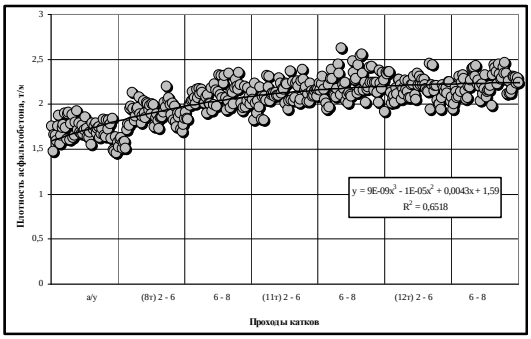


Рис. 9. Изменение плотности асфальтобетона в процессе укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси

Во время работы асфальтоукладчика иногда образовывались небольшие «проплешины» на поверхности укладываемого слоя асфальтобетона, возможно вследствие налипания смеси на виброплиту. Дефект устранялся вручную, придавая покрытию дополнительную неоднородность уплотнения.

На основании обследования участка производства дорожно-ремонтных работ установлено:

1. Плотность и температура поверхности асфальтобетонной смеси в процессе укладки и уплотнения подчиняется нормальному закону распределения (см. рис. 4—6).

2. Примерно в середине всего процесса устройства покрытия температура поверхности асфальтобетона, снизившись в среднем до 70 °С, устойчиво остается неизменной в интервале 80…60 °С до окончания всего процесса уплотнения смеси. Также в середине процесса уплотнения была достигнута нормативная максимальная плотность асфальтобетона 2,44 т/м^3, которая оставалась неизменной до окончания работ. Данные показатели асфальтобетонной смеси не были однородны по всей площади покрытия, и вследствие этого к концу уплотнения покрытие осталось разноуплотненным. На основании этого можно сделать вывод об их прямой зависимости на протяжении технологического процесса устройства покрытия.

3. На асфальтобетонных покрытиях городских дорог существуют участки, являющиеся труднодоступными для их качественного уплотнения (канализационные люки, бордюры, остановки автотранспорта). В зоне трудноуплотняемых участков наблюдается снижение средней плотности асфальтобетона (см. рис. 2) и увеличение неоднородности уплотнения (см. рис. 3).

4. Возможным решением проблемы некачественных покрытий автомобильных дорог является создание усовершенствованной технологии уплотнения асфальтобетонной смеси на основе проведенных исследований разных ученых и полученных результатов экспериментов настоящей работы. Новая технология должна учитывать различные особенности устройства покрытий в городе, обеспечивать высокое качество уплотнения смеси, и, как следствие, высокую надежность будущей дороги. Она должна быть экономически выгодной, относительно быстрой по времени выполнения и единой для всех подрядных организаций. Использование более совершенной технологии позволит рационально оптимизировать процесс укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси, лучше согласовывать различные аспекты повышения качества ремонта автомобильных дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Горячев М. Г.* Технология и организация строительства городских путей сообщения : учеб. пособие. Ч. 2: Строительство дорожных одежд. — М., 2003. — 229 с.

2. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей : учебник. — 11-е изд., стер. — М. : КНОРУС, 2010. — 664 с.

1. *Goryachev M. G.* Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva gorodskikh putey soobshcheniya : ucheb. posobie. Ch. 2: Stroitel'stvo dorozhnykh odezhd. — M., 2003. — 229 s.

2. *Venttsel' E. S.* Teoriya veroyatnostey : uchebnik. — 11-e izd., ster. — M. : KNORUS, 2010. — 664 s.

© Ермилов А. А., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Ермилов А. А. Вероятностная оценка уплотняемости асфальтобетона при ремонте городских дорог // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 313—319.

УДК 625.731

К. В. Семашкин

ПРАКТИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОДТОПЛЕННОЙ ДОРОЖНОЙ НАСЫПИ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Георадиолокация при дополнении к традиционным технологиям инженерных изысканий позволяет выявлять степень повреждений земляного сооружения, что является необходимым для назначения соответствующих мероприятий по предотвращению их развития. Позволяет осуществлять мониторинг до и после проведения восстановительных мероприятий, отслеживать положительную и отрицательную динамику состояния сооружения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: земляное полотно, подтопление, георадиолокация.

Ground penetration location when adding to the traditional technologies of engineering researches allows reveal damage level of earth construction that is necessary to choose relevant measures to prevent their development. It allows monitor before and after rehabilitation measures, trace positive and negative dynamics of the construction state.

K e y w o r d s: earth bed, flooding, ground penetration location.

От момента подтопления дорожной насыпи до ее повреждения проходит некоторое время. Перед появлением видимых разрушений земляного полотна в нем протекают скрытые процессы (переувлажнение грунта земляного полотна, фильтрация грунтовых вод в теле земляной насыпи), своевременное выявление которых позволило бы вовремя принять соответствующие превентивные меры. Обычно состояние земляной насыпи оценивают по кернам, полученным в результате бурения, либо по результатам динамического и статического испытания грунтов, описанными в ОДН 218.0.006—2002 и ОДН 218.1.052—2002. Указанные методы не позволяют оперативно получать информацию о состоянии грунтов земляной насыпи.

В настоящее время в условиях ограничения средств на диагностику дорожных насыпей для последующего планирования ремонта и реконструкции автомобильных дорог особую актуальность приобретают неразрушающие методы обследований дорожных конструкций, основанные на использовании приборов неразрушающего контроля. В России подобные приборы широко применяются, например, в геофизике.

Значительный вклад в решение инженерных задач в транспортном строительстве методом георадиолокации внесли А. А. Белозеров, Е. В. Богатырев, М. Л. Владов, В. В. Капустин, А. М. Кулижников, А. В. Старовойтов, В. А. Явна и многие др. За рубежом известны работы J. L. Davis (Канада), J. Emeilsson, J. Friborg, C. A. Lennegren (Швеция), T. Scullion (США). Однако работ по обследованию поврежденных дорожных конструкций георадиолокационными методами выполнено недостаточно. Они в основном направлены на выявление причин возникновения оползней, а не на прогнозирование поведения насыпи, подверженной подтоплению.

На этапе подтопления насыпи автомобильной дороги со стороны подтопленного откоса начинает формироваться продольная трещина в насыпи. При георадиолокационном обследовании разуплотненный грунт верхней части откоса характеризуется высокой амплитудой сигнала и низкими значениями

частоты. Наметившиеся продольные трещины характеризуются вертикальными смещениями осей синфазности радарограмм. Причиной развития оползня является изменение физико-механических характеристик грунта насыпи вследствие его переувлажнения. Переувлажненный грунт характеризуется низкой частотой сигнала и прозрачной волновой картинкой. Положение кривой депрессии определяется отсутствием эффекта инверсии фазы сигнала. Со стороны низового откоса у его основания появляется участок высачивания воды из тела насыпи, вследствие этого появляется возможность оползания низового откоса. Участок высачивания и переувлажнения основания откоса характеризуется высокой амплитудой и переотражением сигнала в зависимости значений влажности. Границу области избыточной влажности можно определить по отсутствию эффекта инверсии фазы сигнала.

Метод георадиолокации основан на явлении отражения электромагнитной волны от границ неоднородностей в изучаемой среде, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства — электропро-водность и диэлектрическая проницаемость. Излучаемые георадаром электромагнитные сверхширокополосные импульсы, распространяясь в обследуемой среде, отражаются от находящихся там объектов, слоев грунта принимаются антенной, усиливаются, преобразуются в цифровой вид, обрабатывается в ЭВМ, далее информация об обнаруженном объекте визуализуется на мониторе.

Основными величинами, измеряемыми при георадарных исследованиях, являются время пробега электромагнитной волны от источника до отражающей границы и обратно до приемника, а также амплитуда этого отражения. Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между сухими и влагонасыщенными грунтами (уровень грунтовых вод), контакты между породами различного литологического состава, породой и материалом искусственного сооружения, мерзлыми и талыми грунтами, коренными и рыхлыми породами, слоями нового и старого асфальта [1, 2].

Амплитуда отраженного сигнала от границы между слоями пропорциональна величине коэффициента отражения $K_{\text{отр}}$:

$$K_{\text{отр}} = \sqrt{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}\left(\sqrt{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}\right)^{-1}, \tag{1}$$

где ε_1 и ε_2 — значение диэлектрической проницаемости первого и второго слоев.

Скорость распространения электромагнитной волны в разных материалах различна поэтому, измеряя время пробега волн и зная основные физические свойства пород в изучаемой среде, можно судить о строении объекта. Скорость распространения электромагнитной волны в диэлектрике зависит от его диэлектрической и магнитной проницаемостей, однако, для большинства горных пород значение магнитной проницаемости близко к единице. Поэтому скорость распространения электромагнитной волны равна

$$V = c\varepsilon^{-0,5}, \tag{2}$$

где c — скорость распространения электромагнитной волны в вакууме (скорость света).

Формула для расчета скорости выглядит следующим образом:

$$V = 30\varepsilon^{-0,5}. \tag{3}$$

Максимальный контраст в диэлектрических проницаемостях наблюдается между воздухом ($\varepsilon = 1$) и водой ($\varepsilon = 81$). Их соотношение в породе и будет в основном определять диэлектрическую проницаемость слоя. Сухие, монолитные, слабо трещиноватые породы имеют низкие значения диэлектрической проницаемости, а влагонасыщенные, проницаемые, пористые, трещиноватые породы, как правило, имеют высокие значения и низкие значения скорости распространения электромагнитных волн [3].

Георадиолокационное зондирование проводится с использованием аппаратных и программных средств, специальных приборов — георадаров. Для зондирования среды используются георадары непрерывного и импульсного действия [1].

Излучаемые в исследуемую среду короткие электромагнитные импульсы имеют 1,0…2,0 периода квазигармонического сигнала. Импульсы отражаются от находящихся в среде предметов, элементов инженерных коммуникаций, границ раздела грунтов. Малая временная длительность излучаемого импульса приводит к возникновению достаточно широкого частотного спектра излучения. Центральная частота сигнала определяется свойствами антенн. Отраженные импульсы регистрируются приемной антенной и усиливаются в широкополосном усилителе [1].

В процессе аппаратной обработки методом стробирования определяется время распространения в зондируемых средах сигнала, зарегистрированного приемной антенной. Фаза и величина напряжения, наведенного на входных цепях приемной антенны при регистрации сигнала, преобразуется в цифровой вид при помощи аналогово-цифрового преобразователя и фиксируется в памяти компьютера в виде функции от времени, которая называется трассой (рис. 1, *а*). Совокупность трасс вдоль профиля съемки образует волновую картину или радарограмму (рис. 1, *б*).

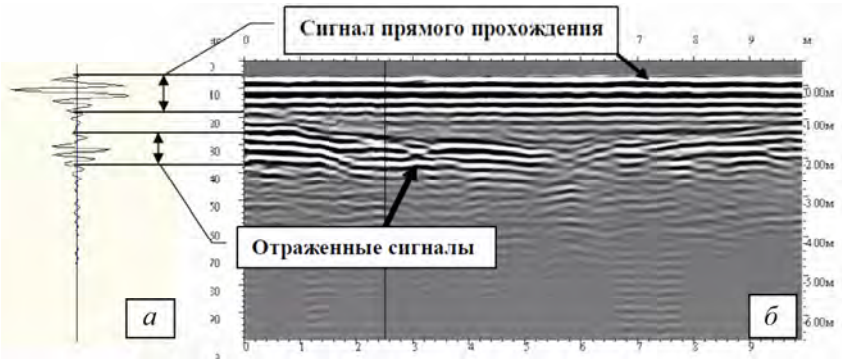


Рис. 1. Трасса (*а*) и волновая картина (радарограмма) (*б*)

При сканировании на экране компьютера по ходу перемещения георадара отображается радарограмма, на которой фиксируются линии синфазности в виде черно-белых или цветных полос, а также возникающие при записи шумы и помехи. С помощью специальных меток осуществляется привязка радарограмм к ситуации.

Обязательным этапом георадиолокационного обследования является контрольное бурение. Оно выполняется с целью определения диэлектрической проницаемости грунта каждого слоя, что позволяет выполнить тариров-

ку шкалы глубины на записанных радарограммах, тем самым уменьшая погрешность измерений при интерпретации полученных радарограмм. Контрольное бурение может выполняться до, в процессе и после сканирования. Если сведения о конструкциях неизвестны, то контрольное бурение можно выполнить до сканирования. Для этого необходимо записать радарограмму на коротком участке, выделить на ней однородный участок, отметить его на местности и выполнить контрольное бурение. По результатам бурения вносятся коррективы в установку начальных параметров георадара [4].

Процесс обработки данных представляет собой выполнение набора формализованных процедур, которые интерпретатор применяет для повышения качества полевых материалов и для выделения на георадарограммах полезных волн от основных рефлекторов (отражающих границ), к которым относятся границы конструктивных слоев дорожной одежды и земляного полотна, а также локальные неоднородности. Результатом обработки является георадарограмма, на которой с максимально возможной отчетливостью отражается структура инженерно-геологического разреза дорожной конструкции и подстилающих грунтов. Интерпретация сводится к решению обратной физико-математической задачи, в результате чего формируется электрофизическая модель, а затем — разрез дорожной конструкции. На этом этапе, с учетом данных бурения, определяются скорости распространения электромагнитных волн в слоях и определяются их толщины. Решение обратной задачи осуществляется обычно в несколько этапов, каждый из которых содержит стадии обработки и интерпретации.

В качестве объекта обследования методом георадиолокации была выбрана насыпь эксплуатируемой автомобильной дороги на 39-м км автодороги Омск — Кормиловка, подверженная подтоплению. В 2006 г. было выполнено устройство банкета со стороны низового откоса, со стороны верхового откоса было выполнено его уположение, в результате чего деформации насыпи прекратились. Целью обследования являлось получение непрерывной информации о техническом состоянии насыпи после выполнения восстановительных мероприятий по обеспечению ее устойчивости. При выполнении работ был использован георадар «ОКО-2» с антенными блоками АБ-400, съемка трасс выполнялась в режиме «*по сигналам с датчика перемещения*», который предусматривает зондирование среды в автоматическом режиме, в процессе перемещения антенного блока по поверхности. Расстояние между реализациями отсчитывается автоматически с помощью дополнительного датчика пути или измерительного колеса. При этом каждому импульсу датчика перемещения соответствует одна реализация. По достижению допустимого количества реализаций прием сигналов прекращается.

Обследование подтопленной насыпи автомобильной дороги было выполнено на основании методик [2]. Для выявления зон переувлажнения и разуплотнения земляной насыпи и основания участок обследования был разбит на поперечные профили с шагом 10 м. При локализации стенки отрыва откоса и изменения влажности по длине насыпе были выполнены обследования обочин продольными проходками, начиная с неподтопленного участка насыпи (рис. 2).

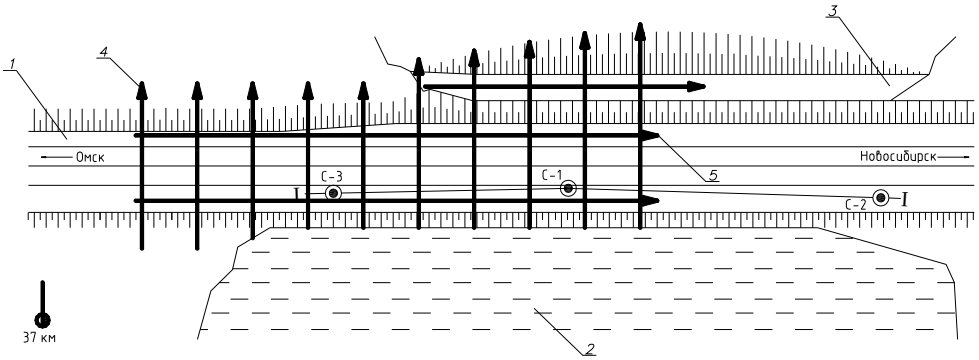


Рис. 2. Схема георадиолокационной съемки участка дорожной насыпи: *1* — насыпь; *2* — водоем; *3* — берма; *4* — поперечное обследование насыпи; *5* — продольное обследование насыпи

По результатам инженерно-геологических изысканий тело насыпи сложено суглинком тугопластичным до 2,2 м, глиной легкой пылеватой от мягкопластичной до полутвердого состояния (рис. 3). Лабораторные испытания грунтов насыпи показали, что насыпь недостаточно уплотнена. По результатам лабораторных испытаний грунтов были заданы начальные параметры: диэлектрическая проницаемость ε = 10, развертка — 200, усиление — 40.

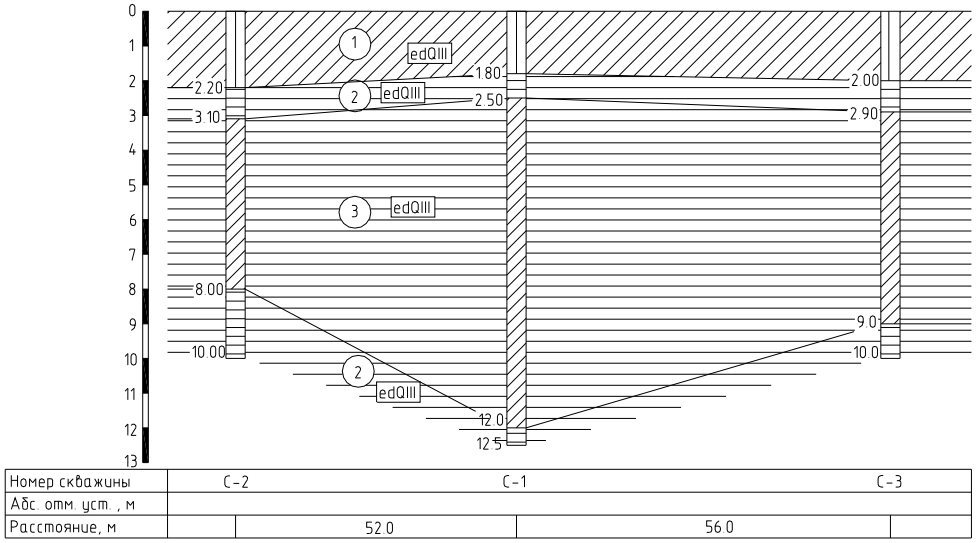


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез по линии I-I

Результатом георадиолокационной съемки являются временные разрезы, записанные методом переменной плотности, на которых по горизонтали указано расстояние в метрах, а по вертикали — время прихода отраженных сигналов. Обработка радарограмм была выполнена в лицензионной версии программы GeoScan 32. Целью обработки георадиолокационных данных является выделение полезных сигналов (отраженных сигналов от искомых объектов) на фоне других сигналов (сигнала прямого прохождения, сигналов-помех, шумов и т. д.).

Переувлажненные зоны, как правило, характеризуются низкими частотами. При выполнении работ раскраска георадиолокационного профиля подбирается таким образом, чтобы с уменьшением частоты отраженного сигнала цвет становился более темным, при этом максимальная влажность грунта прямопропорциональна интенсивности синего цвета. Участки, раскрашенные синим цветом, — это участки с низкой частотой и избыточного увлажнения грунтов земляного полотна и основания. Особенно четко участки низкой частоты выделяются на профиле после применения преобразования Гильберта к исходным сигналам для наилучшего выделения областей с повышенной энергией отражения. Наличие зеленых зон характеризуют участки разуплотнения грунтов основания и насыпи автомобильной дороги.

Мгновенная амплитуда (амплитуда Гильберт-преобразования) соответствует огибающей исходного сигнала. Такое представление бывает полезным при необходимости выделить или подчеркнуть на радарограмме области с характерным типом записи, отличающимся от соседних областей радарограммы более высокой или более низкой энергией сигнала, например, участки повышенной влажности, не имеющие четких отражающих границ, участки неровных и плохо отражающих границ, где трудно проследить ось синфазности из-за того, что отражения на соседних трассах имеют разную форму и т. д.

При визуальном обследовании низового откоса подтопленной насыпи вдоль него наметилась продольная трещина с предполагаемой плоскостью обрушения, об этом свидетельствует разуплотнение грунта насыпи на обочине *5* и переувлажнение грунта у основания откоса (рис. 4). Со стороны верхового откоса на радарограмме отмечены зоны переувлажнения грунта основания насыпи и участок высачивания *7*. Так при визуальном обследовании выявлены деформации дорожного покрытия, что может быть следствием разуплотнения грунтов дорожной одеждой (см. рис. 4).

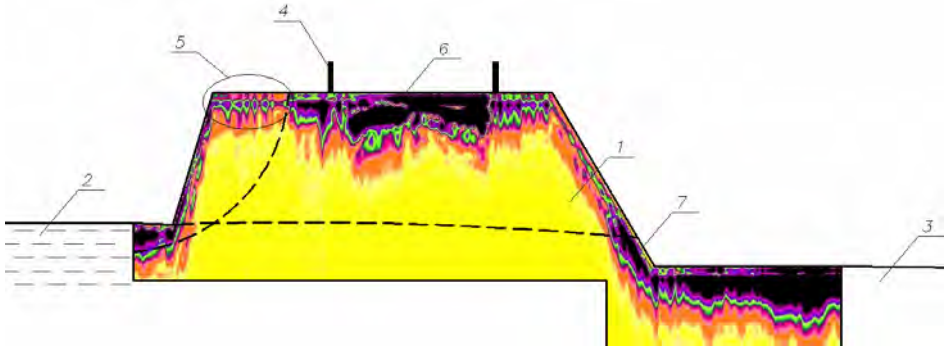


Рис. 4. Радарограмма поперечного профиля подтопленной насыпи: *1* — насыпь; *2* — водоем; *3* — основание насыпи; *4* — дорожное ограждение; *5* — разуплотненный участок верхового откоса; *6* — дорожное покрытие; *7* — участок высачивания на низовом откосе

Для сравнения рассмотрим радарограмму поперечного профиля неподтопленного участка насыпи автомобильной дороги (рис. 5). На радарограмме можно выделить только участок частичного разуплотнения земляной насыпи под конструкцией дорожной одежды *5* вследствие недостаточного уплотнения грунта. При визуальном обследовании выявлено незначительные деформации дорожного покрытия, видимые деформации откосов отсутствуют.

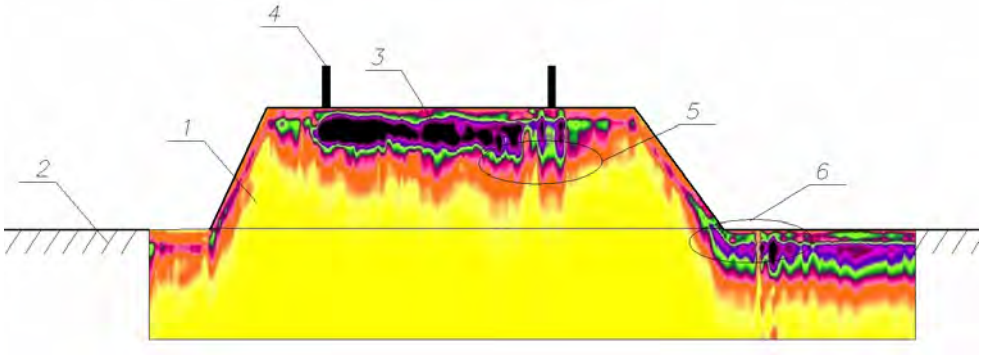


Рис. 5. Радарограмма поперечного профиля насыпи: *1* — насыпь; *2* — основание насыпи; *3* — дорожное покрытие; *4* — дорожное ограждение; *5* — разуплотненный участок насыпи; *6* — участок увлажненного основания

Для наглядной локализации участков переувлажнения и разуплотнения грунтов насыпи рассмотрим радарограмму, выполненную в продольном направлении по обочине насыпи (рис. 6). Отчетливо видно, как на расстоянии 20 м начинается участок разуплотнения грунта насыпи *3*, который характеризуется высокой амплитудой сигнала и низкими значениями частоты *5*, под ним же дальше видно участок переувлажнения грунта насыпи и основания *6*, характеризующийся низкой частотой сигнала и прозрачной волновой картинкой. В свою очередь отчетливо видно, что на первых 20 м продольного обследования насыпи никаких аномальных зон в толще грунта не имеется.

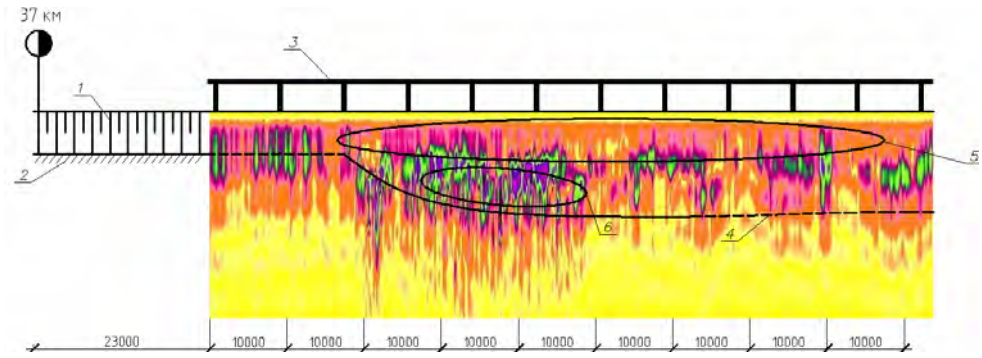


Рис. 6. Радарограмма продольного профиля подтопленной насыпи: *1* — насыпь; *2* — основание насыпи; *3* — дорожное ограждение; *4* — дно водоема; *5* — разуплотненный участок верхового откоса; *6* — участок переувлажнения грунта насыпи и основания

Выводы:

1. Результаты георадарных обследований подтопленных насыпей при дополнении к традиционным технологиям инженерных изысканий позволяют выявлять места и степень их повреждения, что является необходимым для назначения соответствующих мероприятий по превентивному предотвращению их развития.

2. После выполнения упреждающих восстановительных мероприятий качество и соответствие проектных решений действительности, их размерные параметры возможно контролировать методом георадиолокационного обсле-

дования с документированием полученных результатов. Позволяет осуществлять мониторинг за поврежденными насыпями до и после проведения восстановительных мероприятий, отслеживать во времени состояние земляного сооружения.

3. Необходимо формировать электронную базу данных для систематизации и хранения информации, содержащую результаты георадиолокационного обследование насыпи, для создания эффективной системы мониторинга за подтопленными насыпями, потенциально подверженными разрушению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Владов М. Л., Старовойтов А. В.* Введение в георадиолокацию. — М. : Изд-во МГУ, 2004. — 153 с.

2. Методические указания по георадиолокационной диагностике объектов земляного полотна железнодорожного пути / ОАО «РЖД» ; Департамент пути и сооружений ; Ростовский гос. ун-т путей сообщения. — М., 2005. — 56 с.

3. *Кулижников А. М., Белозеров А. А., Бурда С. Н.* Обнаружение дефектов в грунтах земляного полотна и подстилающего основания с помощью георадарных технологий // Актуальные проблемы современного дорожного строительства и хозяйства : материалы Всерос. науч.-практ. конф. — Вологда : ВоГГУ, 2002. С. 73—77.

4. *Кулижников А. М.* Прогрессивные методы и современное георадарное оборудование для обследования автомобильных дорог // Дорожная держава. 2011. № 32. С. 26—30.

1. *Vladov M. L., Starovoytov A. V.* Vvedenie v georadiolokatsiyu. — M. : Izd-vo MGU, 2004. — 153 s.

2. Metodicheskie ukazaniya po georadiolokatsionnoy diagnostike ob"ektov zemlyanogo polotna zheleznodorozhnogo puti / OAO «RZhD» ; Departament puti i sooruzheniy ; Rostovskiy gos. un-t putey soobshcheniya. — M., 2005. — 56 s.

3. *Kulizhnikov A. M., Belozerov A. A., Burda S. N.* Obnaruzhenie defektov v gruntakh zemlyanogo polotna i podstilayushchego osnovaniya s pomoshch'yu georadarnykh tekhnologiy // Aktual'nye problemy sovremennogo dorozhnogo stroitel'stva i khozyaystva : materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. — Vologda : VoGGU, 2002. S. 73—77.

4. *Kulizhnikov A. M.* Progressivnye metody i sovremennoe georadarnoe oborudovanie dlya obsledovaniya avtomobil'nykh dorog // Dorozhnaya derzhava. 2011. № 32. S. 26—30.

© Семашкин К. В., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Семашкин К. В. Практика инженерно-геологического обследования подтопленной дорожной насыпи методом георадиолокации // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 320—327.

УДК 624.131.54.:625.855.3

Б. А. Бондарев, Л. А. Прозорова, Г. М. Бутузов, А. В. Длугашевский, А. Б. Бондарев

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ГОРОДСКИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

Приведены результаты исследований долговечности щебеночно-мастичного асфальтобетона и методы ее прогнозирования.

К л ю ч е в ы е с л о в а: долговечность, щебеночно-мастичный асфальтобетон, прогнозирование, остаточный ресурс.

The results of the researches of longevity of crushed-stone and mastic asphalt concrete and the methods for its forecasting are given in the article.

K e y w o r d s: longevity, crushed-stone and mastic asphalt concrete, forecasting, remaining life.

На рис. 1 приведен алгоритм определения параметров безопасной эксплуатации городских транспортных сооружений (автомобильных дорог, мостов, путепроводов).

Рис. 1. Основные принципы обеспечения безопасности эксплуатируемых элементов конструкций городских транспортных сооружение.

Комплексный подход к решению проблем надежности и работоспособности элементов конструкций на различных транспортных объектах включает в себя следующие положения:

1) анализ состояния материалов несущих конструкций и сооружений с учетом технологии изготовления и эксплуатационных дефектов;

2) определение характера, параметров, расположения и размеров дефектов в материале конструкции [1].

Наиболее характерными дефектами асфальто-бетонных покрытий городских автомобильных дорог являются:

1) наплывы в сторону тротуаров;

2) волны поперек движения («гребенки»);

3) образование колейности по наиболее повторяющемуся следу прохода колес;

4) первичные трещины шириной до 3 мм;

5) соединительные трещины шириной до 1 мм;

6) соединительные продольно-поперечные трещины вторичного образования;

7) шелушение поверхности покрытия от потери битума и старения асфальтобетона.

Оценка фактического состояния элементов дорожной одежды определяется в ходе диагностического обследования городских автомобильных дорог на основе комплексного показания транспортно-эксплуатационного состояния (рис. 2).

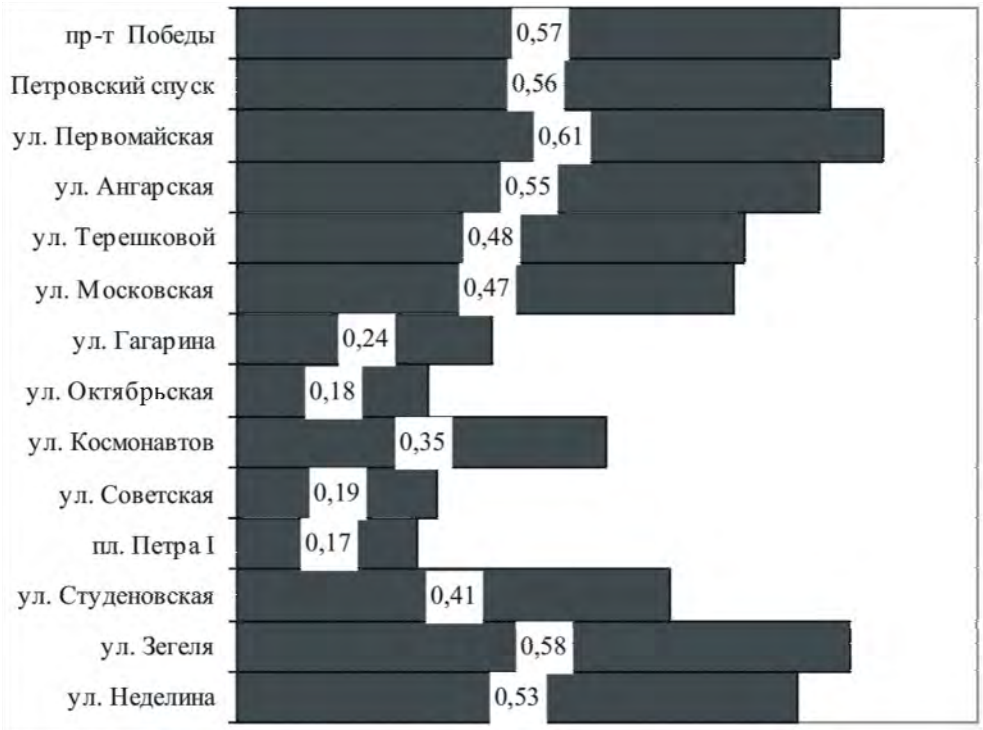


Рис. 2. Комплексный показатель транспортно-эксплуатационного состояния дорожных покрытий автомобильных дорог Липецка

Комплексный показатель транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог учитывает сразу несколько свойств, воздействующих на долговечность и эксплуатационную надежность. Для ее количественной оценки, помимо определения стандартными методами механических свойств,

необходим анализ ровности, сцепных качеств и скользкости дорожных покрытий. Наиболее высокие показатели (см. рис. 2) наблюдались в дорогах с использованием литых доменных шлаков. При этом особое внимание уделялось обеспечению надлежащего водоотвода и соблюдению технологии производства работ.

Анализ данных о состоянии дорожных покрытий на городских автомобильных дорогах показал, что возросшая интенсивность дорожного движения и несвоевременное проведение работ по ремонту и содержанию дорожных покрытий способствуют их ускоренному износу и ухудшению сцепных свойств. С другой стороны, применение современных технологий с использованием щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) и макрошероховатых покрытий позволяет увеличить фактические межремонтные сроки службы дорожных покрытий, обеспечивая высокие сцепные качества.

Дорожное покрытие из ЩМА обладает повышенной устойчивостью к возникновению пластических деформаций и предпочтительно по условию обеспечения сцепления колеса с покрытием в течение всего планируемого срока эксплуатации. При изготовлении щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси особое внимание уделяется качеству щебня. Его количество составляет до 75 % от массы инертных материалов в смеси. Щебень должен быть достаточно прочным и характеризоваться устойчивостью к истиранию и полированию, что обеспечивает рекомендованную шероховатость асфальтобетонного покрытия и безопасность дорожного движения. Но самое важное и труднодостижимое — это получение кубовидной формы зерна, позволяющее снижать расход вяжущего при неизменной прочности асфальтобетонов.

Однако горных пород, из которых получается наиболее качественный щебень, очень мало и это, чаще всего, породы кислого типа (содержащие более 65 % кварца SiO_2). Это приводит к необходимости использования адгезионных добавок в составах ЩМА на природных заполнителях, поскольку по адгезии к битуму кварц занимает предпоследнюю позицию в ряду природных минералов. В то же время липецкий опыт [2, 3] использования в составах асфальтобетонов литого доменного шлакового щебня показывает высокие параметры адгезии, прочности, водостойкости, долговечности и стойкости к колееобразованию. К особенностям шлаковых асфальтобетонов следует отнести невысокие показатели макрошероховатости верхнего слоя после нескольких лет эксплуатации, слегка увеличенное количество битума в составах асфальтобетонов (оптимально 7 % в составах Б-II), а также сравнительно высокое водопоглощение по сравнению с асфальтобетонами на традиционных природных заполнителях. Указанных недостатков будет лишен щебеночно-мастичный асфальтобетон, хорошо зарекомендовавший себя при эксплуатации в условиях высоких динамических нагрузок от движущегося транспорта.

Важнейшим свойством ЩМА, предопределяющим долговечность этого материала, является устойчивость его структуры в условиях изменяющегося влажностного и температурного режимов. Подобно большинству других пористых строительных материалов ЩМА разрушается, главным образом, при длительном увлажнении, а также в результате попеременного замораживания-оттаивания.

Особенно разрушительно вода действует при попеременном замораживании и оттаивании. Вода, проникая в поры материала, способствует отслаиванию битумных пленок, что приводит к ослаблению структурных связей в асфальтобетоне. Расклинивающий эффект от действия воды при замерзании усиливает этот процесс. Как известно, битумные пленки значительно изменяют свои свойства с понижением температуры — они становятся хрупкими, а когда вода увеличивается в объеме при замерзании, вызывает большие напряжения в стенках пор, которые способны привести к возникновению микротрещин. Эти микротрещины при оттаивании заполняются водой и в дальнейшем могут развиваться, чему способствует проникающая в них вода. Таким образом, асфальтобетон, в том числе и щебеночно-мастичный, при одновременном действии воды и пониженных температур находится в наиболее неблагоприятных условиях.

Водостойкость определяется величиной водонасыщения, набухания и коэффициентом водостойкости соотношение прочности водонасыщенных к прочности сухих образцов.

Результаты, проведенных испытаний на водостойкость образцов ЩМА-10 на шлаковых заполнителях, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели водостойкости ЩМА-10 на шлаковых заполнителях

Показатель	Фактические показатели	Требования ГОСТ 3101-20025
Водонасыщение, % по объему	3,13	1…4
Набухание, %	0,015	—
Коэффициент водостойкости	1,03	—

Важнейшим вопросом при выборе пути повышения долговечности асфальтобетона в покрытии является учет закономерностей процессов развития деформаций в условиях непрерывно изменяющихся эксплуатационных факторов. Асфальтобетон в покрытии работает в сложном напряженном состоянии. Поэтому при оценке усталостной долговечности следует рассматривать те воздействия, которые имеют место в процессе работы асфальтобетона и при этом в режиме, наиболее близко отвечающем реальным эксплуатационным условиям. Так, по данным А. В. Руденского, режимом испытания асфальтобетона, наиболее близко имитирующим реальные условия работы материала в условиях воздействия на покрытие автотранспортной нагрузки, является испытание на усталость при циклическом динамическом изгибе.

Известно, что чем больше действующие напряжения, тем быстрее протекают процессы разрушения. Таким образом, при заданном напряжении усталость асфальтобетона определяет время, в течение которого покрытие может выдерживать заданное напряжение без разрушения. Соответственно динамическую усталость при циклически действующих нагрузках определяют числом циклов, которое выдерживает материал до разрушения.

Частотой испытания, наиболее близкой к реальным эксплуатационным дорожным условиям, является частота 868 мин$^{-1}$, так как расчетная продолжительность одного цикла действия нагрузки в этом режиме составляет около 0,02 с, что соответствует режиму нагружения дорожного покрытия при проезде автомобиля со скоростью 60 км /ч.

Так при амплитуде прогиба, равной 0,35, количество циклов до разрушения составляет 25 958 .

Образцы асфальтобетонов испытывали в агрессивной среде в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации. Длительность испытаний составила 360 циклов, по результатам которых определяли коэффициент химической стойкости ($K_{x.c}$) по потерям массы или прочности (рис. 3). При этом полагали, что под действием агрессивной среды в течение 360 циклов снижение $K_{x.c}$ не должно превышать 50 %. Длительность каждого цикла составляла 8 ч.

Для имитации работы образцов в естественных условиях работы покрытия осуществляли попеременное замораживание-оттаивание образцов в 30-процентном растворе поваренной соли NaCl. Из 360 циклов испытаний, имитирующих условия работы покрытия в течение года, количество испытаний на морозостойкость составило 90 циклов. В воду, помимо соли, добавляли кварцевый песок в количестве 10 % от массы воды. Гелевые оболочки из кремниевой кислоты, образующиеся на зернах кварцевого песка при его увлажнении, могут переходить в воду, усиливая агрессивность среды, особенно для шлаковых заполнителей. Для имитации работы асфальтобетона в весенний и осенний периоды осуществляли попеременное насыщение и высушивание по 4 ч. Число таких циклов составило 180. В летнее время, как известно, помимо увлажнения дорожных покрытий, добавляется действие солнечной радиации. Поэтому имитация работы асфальтобетона в этот период заключалась в насыщении-высушивании с добавлением солнечной радиации. Число циклов таких испытаний составило 90. Зависимости потерь массы и прочности от продолжительности испытаний представлены на рис. 4, откуда видно, что вначале, при насыщении в воде до 15 сут, происходит снижение прочности, а при испытании до 90 циклов ее рост. Это подтверждает известные положения исследователей о том, что со временем шлаковые асфальтобетоны упрочняются под действием влаги за счет образования кристаллогидратов.

Рис. 3. Зависимость прочности от продолжительности испытания

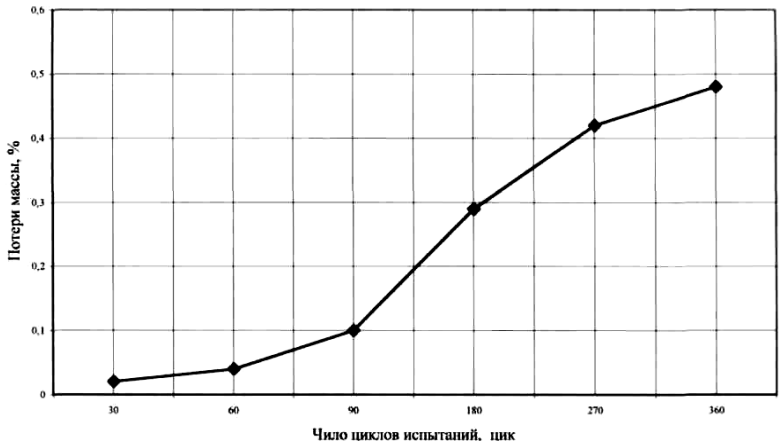


Рис. 4. Зависимость массы от продолжительности испытаний

Эти результаты хорошо согласуются с исследованиями, в которых утверждается, что рост прочности при действии воды на шлаковые заполнители обусловлен образованием кристаллогидратов, которые приводят к структурированию пленки битума и росту общей прочности асфальтобетона.

Для прогнозирования долговечности по результатам испытаний нами рассчитывался коэффициент химической стойкости по потере прочности. Результаты этих расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты рачета коэффициентов химической стойкости

Наименование	Величины показателя после испытания, циклы							
	2	15	30	60	90	180	270	360
Прочность при сжатии до испытания, МПа	3,877	3,877	3,877	3,877	3,877	3,877	3,877	3,877
Прочность при сжатии после испытаний, МПа	3,977	3,623	3,723	4,197	4,306	4,151	3,554	3,201
Потери массы, г	—	—	0,03	0,03	0,4	0,27	0,32	0,68
$K_{x.c}$	1,03	0,93	0,96	1,08	1,11	1,07	0,92	0,83

При этом установлено, что прогнозируемая долговечность асфальтобетона оптимального состава не менее 10 лет, поскольку потери массы не превышают 0,5 %, прочность после испытания остается достаточно высокой и $K_{x.c}$ не ниже 0,5. Расчет значений коэффициентов химической стойкости вели по формуле

$$\lg K_{x.c} = a + b \lg \tau,$$

где $\lg K_{x.c}$ — его логарифм для принятого срока эксплуатации τ; a и b — постоянные коэффициенты для данных видов среды и бетона:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\lg K_{\text{x.c}} - b \lg \tau)(\lg \tau - \lg \tau_1)}{\sum_{i=1}^{n} (\lg \tau - \lg \tau_1)};$$

$$a = \lg K_{\text{x.c}} - b \lg \tau,$$

где $\lg \tau = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lg \tau_i}{n}$ и $\lg K_{\text{xc}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lg K_{\text{x.c1}}}{n}$ — среднее значение логарифмов времени испытаний и $K_{\text{x.c}}$.

Исходя из конкретных условий эксплуатации, рассчитывали экономически целесообразный срок службы, принимая, что в течение этого срока допустимое снижение коэффициента химической стойкости должно быть равно *c*. То есть для принятого периода эксплуатации, например 10 лет, химическая стойкость покрытия обеспечивается при условии снижения $K_{\text{x.c}}$ не более 50 %.

Искомая зависимость $K_{\text{x.c}}$ от принятого периода эксплуатации

$$\lg K_{\text{x.c}} = 0{,}243 - 0{,}1164 \lg \tau.$$

Если экономически целесообразный срок службы асфальтового покрытия принимается τ = 10 лет (3600 сут.), то для оптимального состава

$$\lg K_{\text{x.c}} = 0{,}243 - 0{,}1164 \lg \tau = 0{,}243 - 0{,}1164 \lg 3600 = -0{,}1709536.$$

Откуда $\lg K_{\text{x.c}} = 0{,}6746$.

Отсюда получаем

$$0{,}6746 > (1 - 0{,}5) = 0{,}5.$$

Следовательно, срок службы, по результатам выполненных испытаний щебеночно-мастичного асфальтобетона на шлаковых заполнителях оптимального состава по прогнозу долговечности, составит не менее 10 лет.

Исследованные ЩМА на шлаковых заполнителях выдержали испытания на долговечность в агрессивной среде, в условиях гораздо более жестких, чем натуральные условия эксплуатации покрытия. Хотя и не учитывались динамические нагрузки, воспринимаемые покрытием в процессе эксплуатации, запасы их прочности и долговечности позволяют судить о высоком качестве полученных составов ЩМА [4].

Остаточный срок службы элементов конструкций дорожных одежд с применением ЩМА рассчитан по методике Е. В. Угловой [5].

Экономический эффект от внедрения в сравнении с ЩМА-15 на гранитном щебне достигнут за счет снижения стоимости крупного заполнителя из металлургического шлака, стоимость которого не превышает 300 р за 1 т, по сравнению с гранитным щебнем, стоимость которого составляет 500 р за 1 т.

Суммарный экономический эффект от внедрения экспериментальной партии асфальтобетонной смеси в общем объеме 2100 т, уложенной на опыт-

ных участках дорог г. Липецка площадью 24 тыс. м^2 фирмами ООО «Автобан-Липецк» и ОАО ДСП-1 (г. Липецк), составил 540 000 р или 22,5 р/м^2. Наблюдения за состоянием уложенного асфальтобетонного покрытия показали более высокую несущую способность и отсутствие дефектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бондарев Б. А.*, *Бондарев А. Б.*, *Длугашевский А. В.* Основные принципы безопасности эксплуатации городских транспортных сооружений // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов : материалы IV междунар. конф. 13—14 окт. 2011 г. Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. — С. 116—119.

2. *Гончарова М. А.*, *Бондарев Б. А.*, *Корнеев А. Д.* Кристаллические металлургические шлаки в дорожном строительстве // Строительные материалы. 2009. № 11. С. 16—18.

3. *Резванцев В. И.*, *Еремин А. В.* Шлаковые асфальто-бетонные покрытия: эксплуатационно-прочностные свойства. Воронеж : ВГУ, 2002. С. 60.

4. *Бондарев Б. А.*, *Прозорова Л. А.* Современные пути повышения основных физико-механических свойств дорожных покрытий // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов : материалы IV междунар. конф. 13—14 окт. 2011. Волгоград : ВолгГАСУ, 2011. С. 120—125.

5. *Углова Е. В.* Теоретические и методологические основы оценки остаточного ресурса асфальто-бетонных покрытий : автореф. дис. … д-ра техн. наук. Вологрaд, 2009. С. 38.

1. *Bondarev B. A.*, *Bondarev A. B.*, *Dlugashevskiy A. V.* Osnovnye printsipy bezopasnosti ekspluatatsii gorodskikh transportnykh sooruzheniy // Nadezhnost' i dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, konstruktsiy i osnovaniy fundamentov : materialy IV mezhdunar. konf. 13-14 okt. 2011 g. Volgograd : VolgGASU, 2011. — S. 116—119.

2. *Goncharova M. A.*, *Bondarev B. A.*, *Korneev A. D.* Kristallicheskie metallurgicheskie shlaki v dorozhnom stroitel'stve // Stroitel'nye materialy. 2009. № 11. S. 16—18.

3. *Rezvantsev V. I.*, *Eremin A. V.* Shlakovye asfal'to-betonnye pokrytiya: ekspluatatsionno-prochnostnye svoystva. Voronezh : VGU, 2002. S. 60.

4. *Bondarev B. A.*, *Prozorova L. A.* Sovremennye puti povysheniya osnovnykh fiziko-mekhanicheskikh svoystv dorozhnykh pokrytiy // Nadezhnost' i dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, konstruktsiy i osnovaniy fundamentov : materialy IV mezhdunar. konf. 13-14 okt. 2011. Volgograd : VolgGASU, 2011. S. 120—125.

5. *Uglova E. V.* Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy otsenki ostatochnogo resursa asfal'to-betonnykh pokrytiy : avtoref. dis. … d-ra tekhn. nauk. Volograd, 2009. S. 38.

© Бондарев Б. А., Прозорова Л. А., Бутузов Г. М., Длугашевский А. В., Бондарев А. Б., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Прогнозирование долговечности асфальтобетонных покрытий городских автомобильных дорог на основе щебеночно-мастичного асфальтобетона / Б. А. Бондарев, Л. А. Прозорова, Г. М. Бутузов, А. В. Длугашевский, А. Б. Бондарев // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 328—335.

УДК:330.322.214:325.76

В. С. Боровик, Н. Б. Сергеева

НЕОБХОДИМОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ МЕТОДИК ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБОСНОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА (РЕКОНСТРУКЦИИ) АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Предлагается выполнять обоснование инвестиций строительства и реконструкции автомобильных дорог, которое в настоящее время не отменено, но и не применяется при проектировании автомобильных дорог. Доказывается необходимость реализации ряда организационных мероприятий, позволяющих существенно повысить качество проектно-изыскательских работ и экономическую эффективность развития автомобильных дорог.

К л ю ч е в ы е с л о в а: обоснование инвестиций, экономическая эффективность, организация проектно-изыскательских работ автомобильных дорог.

The authors offer to carry out justification of investments in construction and reconstruction of highways which is not cancelled now, but is not used when designing highways. The necessity to implement some organizational measures allowing increase significantly the quality of design and exploration work and economic efficiency of highways development is proved.

K e y w o r d s: justification of investments, economic efficiency, organization of design and exploration work on highways.

Известно, что качественно проводимые предпроектные работы позволяют избежать действия закономерности обратных пропорций, заключающейся в том, что чем меньше времени и денег выделено на предпроектную проработку, тем больше ошибок получается при проектировании и тем дороже обходится строительство.

В настоящее время действующие регламентирующие документы не предусматривают разработку стадии Обоснования инвестиций (далее ОИ) в строительство или реконструкцию автомобильных дорог. Материалы ОИ служат основанием для принятия решения о технической возможности, экономической, социальной, а при необходимости, и коммерческой целесообразности инвестиций в строительство или реконструкцию, местоположении и технических параметрах дороги, получения Акта выбора земельного участка для размещения объекта и выполнения проектно-изыскательских работ (ПИР).

Для привлечения средств из Федерального дорожного фонда (80 % от общей сметной стоимости строительства), Администрация Волгоградской области обязана подготовить проектную документацию за счет областных средств. После этого необходимо получить заключения ГАУ Волгоградской области «Облгосэкспертиза» (далее экспертиза) как на проектную документацию, так и на определение достоверности сметной стоимости строительства (реконструкции) автомобильной дороги. И, наконец, в строго установленные сроки необходимо направить эти заключения для получения финансирования в Федеральное дорожное агентство [1, 2, 3].

Следуя такому порядку, в 2011 г. в программу финансирования из Федерального дорожного фонда на 2012 г., направленную на прирост количества населенных пунктов, обеспеченных постоянной круглогодичной связью с сетью автомобильных дорог общего пользования по дорогам с твердым по-

крытием, попало всего четыре объекта Волгоградской области. Суммарная протяженность не более 12 км. Для области площадью 112,9 тыс. км^2 и учитывая неудовлетворительное состояние дорог, такой прирост населенных пунктов, обеспеченных дорогами с твердым покрытием, окажет минимальное влияние на социально-экономическое развитие Волгоградской области.

Ситуация с финансированием строительства дорог на 2013 г. складывается значительно сложнее. В областную программу по финансированию проектной документации включено шесть объектов строительства автомобильных дорог общего пользования. Однако на ноябрь месяц текущего года были поданы и получили положительное заключение экспертизы только два объекта. На остальные объекты проектная документация даже не поступала на экспертизу. Учитывая сроки рассмотрения проектов в экспертизе с момента поступления документации до получения положительного заключения, в среднем 45 дней, вероятно, финансирование в 2013 г. на оставшиеся четыре объекта область не получит.

Причин ухудшения ситуации несколько. Во-первых, нерешенные задачи, связанные с выделением средств и подписанием государственных контрактов. Во-вторых, сложности в получении исходно-разрешительной документации на проектирование. В-третьих, неудовлетворительная работа изыскательских и проектных организаций и другие причины, по которым область потеряла средства на несостоявшиеся проекты в 2012 г.

На наш взгляд, необходима реализация ряда организационных мероприятий, связанных с формированием областной программы финансирования. Дело в том, что программа развития автомобильных дорог общего пользования формируется строго на один год. Следовательно, всего за год Администрация области должна определить:

1) где и какие дороги нужно построить (реконструировать) (без социально-экономического анализа);

2) оформить всю исходно-разрешительную документацию на участок;

3) сформировать технико-экономические показатели;

4) провести тендер и заключить государственный контракт с генеральной проектной организацией.

Проектная организация в свою очередь должна выполнить инженерные изыскания, разработать и утвердить проектно-сметную документацию.

Только этап формирования программы и организация финансирования занимает более шести месяцев. Получается, что на все остальное остается очень мало времени. Поэтому проектная организация вынуждена начинать проектирование, зачастую не имея всех исходных данных. Это ведет к нарушению технологической последовательности разработки проектных материалов, что влечет за собой низкое качество проектов, срыв сроков и неэффективность использования бюджетные средств.

В этой системе не хватает промежуточного этапа, который позволил бы органам власти и исполнителям выполнять работу эффективнее и в большем объеме. На наш взгляд, назрела необходимость обязательного выполнения стадии ОИ. Но для того, чтобы разработка стадии ОИ не стала дополнительным временным и финансовым «балластом» для области, необходимо создать единый территориальный регламент по разработке ПИР, который не будет противоречить существующему нормативному обеспечению.

Действующие в настоящее время нормативные документы по разработке ОИ для строительства и реконструкции автомобильных дорог («Порядок разработки, согласования и утверждения проектной документации для дорожных фондов работ, финансируемых из Федерального дорожного фонда», утв. Приказом Федеральной дорожной службы России от 13.07.1999 № 237, а также ВСН 21-83 [4, 5]) были разработаны в условиях экономической ситуации, значительно отличающихся от сложившихся к настоящему времени. Методика расчета экономической эффективности инвестиций, хотя и охватывает необходимые факторы, однако выполняется точечным методом расчета, который не учитывает движение и баланс денежных потоков в процессе инвестирования и получения экономического эффекта от вложенных средств. Соответственно результирующие показатели такого расчета являются субъективными.

В современном мире многие страны стандартизировали планирование своих инвестиционных проектов в соответствии с методикой Организации Объединенных Наций по промышленному развитию (ЮНИДО).

Различные организации, занимающиеся прединвестиционными исследованиями по всему миру, снабдили ЮНИДО многими ценными предложениями относительно того, как адаптировать систему к требованиям современных видов деятельности в области инвестирования. Используя эту систему, российские издания по микроэкономике и финансовому учету, а также нормативную базу в области дорожного строительства можно доработать для эффективного обоснования инвестиционных решений.

Модернизацию ОИ и адаптацию его к современным регламентам и экономическим требованиям целесообразно проводить по нескольким основным направлениям:

1. Состав и содержание ОИ.

2. Порядок сбора и формирования исходных данных для определения социально-экономических и экологических эффектов от строительства (реконструкции) и дальнейшей эксплуатации автомобильной дороги, привязанных к методике ЮНИДО для возможности выполнять расчетную часть ОИ при помощи современных программных продуктов Project Expert, Альт-Инвест и других, что позволит существенно сэкономить срок разработки.

3. Образцы форм для финансово-коммерческих расчетов и для результирующих расчетно-аналитических таблиц.

Одновременно с разработкой современного регламента по выполнению ОИ нужно пересмотреть порядок определения стоимости его разработки.

В соответствии с п. 3.20 Общих положений Справочника базовых цен (далее СБЦ) на проектные работы для строительства автомобильных дорог общего пользования базовая цена разработки ОИ определяется по ценам Справочника с применением понижающего коэффициента (до 0,5) от стадии «проект» в зависимости от трудоемкости работ [6—8].

Рассмотрим для примера затраты на разработку проектно-сметной документации среднестатистического объекта строительства (реконструкции) автомобильной дороги общего пользования с момента получения генеральной проектной организацией исходно-разрешительной документации до подачи на согласование в экспертизу.

Основные технико-экономические показатели:

Протяженность	3 км
Категория	IV
Тип покрытия	капитальный
Число полос движения	2 шт.
Расчетная скорость движения	80 км/ч

Расчет проектных и изыскательских работ выполняется по справочникам базовых цен СБЦ и сборникам цен (далее СЦ), рекомендованных Министерством регионального развития Российской Федерации в объеме согласно «Положения о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию», утв. постановлением Правительства РФ от 16.02.2008г № 87.

Инженерно-геодезические изыскания проводятся на основании СБЦ на инженерные изыскания для строительства, утв. постановлением Госстроя РФ от 23.12.2003 г. № 213 [7]).

Выполнение инженерных изысканий, расходы на внешний и внутренний транспорт, организацию и ликвидацию работ в ценах 2001 г. (без НДС) составляет 105 000 р.

В текущем уровне цен II квартала 2012 г. (без НДС) — 366 450 р. (К инф. на ИР 3.49, утвержденный письмом Минрегиона РФ от 04.05.2012 г № 10837-ИП/08).

Инженерно-геологические изыскания проводятся на основании СБЦ на инженерно-геологические и инженерно-экологические изыскания для строительства, одобрен письмом Госстроя РФ от 22.06.1998 г. № 9-4/84 [6])

Выполнение инженерных изысканий, расходы на внешний и внутренний транспорт, организацию и ликвидацию работ в ценах 1991 года (без НДС) — 8350 р.

В текущем уровне цен II квартала 2012 года (без НДС) — 329 992 р. (К инф. на ИР 39.52, утвержденный письмом Минрегиона РФ от 04.05.2012 № 10837-ИП/08).

Изготовление проектной документации на основании СБЦ на проектные работы для строительства «Автомобильные дороги общего пользования», утв. Письмом Ростроя РФ от 09.10.2007 г. № СК-3743/02 по согласованию с Росавтодор РФ от 29.06.2007 г. № 01-29/5858

Выполнение проектные работ (включая раздел «Охрана окружающей среды») в ценах 2001 г. (без НДС) составило 206 586 р.

В текущем уровне цен II квартала 2012 г. (без НДС) — 329 992 р. (К инф. на ПР 3.42, утвержденный письмом Минрегиона РФ от 04.05.2012 № 10837-ИП/08).

Исходя из вышеперечисленных затрат получается, что большая часть средств приходится на выполнение инженерных изысканий. Согласно СБЦ на проектные работы для строительства автомобильных дорог общего пользования разработка ОИ (по максимуму) определяется как разработка стадии «проект» (умноженному на коэффициент 0,5). Тогда на основании приведенного примера затраты составят в текущем уровне цен II квартала 2012 г. (без НДС) 329 992 р. · 0,5 = 164 996 р.

Следовательно, необходимо запланировать 10 % дополнительных расходов на разработку ОИ к той сумме, которую предполагается затратить на изыскательские работы и проектно-сметную документацию на строительство (реконструкцию) автомобильных дорог.

Выполнение предпроектной проработки в объеме ОИ дает возможность сформировать областную программу развития автомобильных дорог в два этапа (2 года): 1 этап (1 год) — разработка ОИ, анализ и выбор по разработанным ОИ наиболее социально-экономических выгодных проектов, получение исходно-разрешительной документации и частичное выполнение изыскательских работ по выбранным объектам строительства (реконструкции) автомобильных дорог; 2 этап (2 год) — по проведенной предпроектной подготовке выполнение инженерных изысканий, разработка и согласование проектно-сметной документации.

Такое поэтапное разделение позволяет свести к минимуму влияние организационных факторов, связанных с торгами, и повысить качество выполнения проектно-изыскательских работ в Волгоградской области за счет:

разработки обоснованной схемы развития сети автомобильных дорог области путем комплексного рассмотрения социально-экономической целесообразности предполагаемых участков строительства (реконструкции) автомобильных дорог;

возможности государственного Заказчика собрать необходимую исходно-разрешительную документацию по запланированным объектам строительства (реконструкции);

возможности определения достоверной максимальной стоимости контракта на выполнение изыскательских и проектно-сметных работ, исключая возможность необоснованного занижения или завышения;

введения дополнительного года проектирования, что позволяет избежать «аврального» выполнения изысканий, проектирования и согласования документации, что способствует повышению ее качества.

Выводы

Разработка Обоснования инвестиций при строительстве и реконструкции автомобильных дорог позволяет:

1) оценить социально-экономическое обоснование инвестиций в строительство (реконструкцию) локального участка автомобильной дороги;

2) улучшить качество исходных данных, поступающих от Заказчика;

3) помочь внедрить и финансово обосновать проекты инноваций;

4) повысить качество ПИР;

5) создать предпосылки для своевременного начала строительно-монтажных работ.

Максимальная стоимость разработки ОИ является незначительной по сравнению с тем эффектом, который она принесет региону, а создание единого территориального регламента по разработке ОИ в условиях современной социально-экономической ситуации поможет существенно снизить стоимость и срок изготовления Обоснования инвестиций [9].

Волгоградская область имеет выгодное географическое положение. Она является главными воротами на юг России с выходом на Иран, Кавказ, Украину и Казахстан, а также в направлении на центральную Россию и Поволжье. Разработав программу развития автомобильных дорог и выявив при помощи Обоснования инвестиций наиболее эффективные направления строительства (реконструкции) автомобильных дорог, Администрация Волгоградской области сумеет существенно повысить социально-экономический статус области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градостроительный кодекс РФ от 29.12.2004 № 190-ФЗ.

2. Положения о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию, утв. постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 № 87.

3. Положения об организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий, утв. постановлением Правительством РФ от 05.03.2007 № 145.

4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов, утв. Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительству, архитектуре и жилищной политике от 21.06.1999 № ВК 477.

5. ВСН 21-83 (Минавтодор РСФСР). Указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог.

6. Справочник базовых цен на проектные работы для строительства «Автомобильные дороги общего пользования», утв. Письмом Росстрой № СК-3743/02 от 09.10.2007 по согласованию с Росавтодор от 29.06.2007 № 01-29/5858.

7. Справочник базовых цен на инженерные изыскания для строительства, утв. постановлением Госстроя РФ от 23.12.2003 № 213.

8. Справочник базовых цен на инженерно-геологические и инженерно-экологические изыскания для строительства, одобрен письмом Госстроя РФ от 22.06.1998 № 9-4/84.

9. Федеральный закон от 08.11.2007 № 257-ФЗ. Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации.

1. Gradostroitel'nyy kodeks RF ot 29.12.2004 № 190-FZ.

2. Polozheniya o sostave razdelov proektnoy dokumentatsii i trebovaniyakh k ikh soderzhaniyu, utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 16.02.2008 № 87.

3. Polozheniya ob organizatsii i provedeniya gosudarstvennoy ekspertizy proektnoy dokumentatsii i rezul'tatov inzhenernykh izyskaniy, utv. postanovleniem Pravitel'stvom RF ot 05.03.2007 № 145.

4. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proektov, utv. Ministerstvom ekonomiki RF, Ministerstvom finansov RF, Gosudarstvennym komitetom RF po stroitel'stvu, arkhitekture i zhilishchnoy politike ot 21.06.1999 № VK 477.

5. VSN 21-83 (Minavtodor RSFSR). Ukazaniya po opredeleniyu ekonomicheskoy effektivnosti kapital'nykh vlozheniy v stroitel'stvo i rekonstruktsiyu avtomobil'nykh dorog.

6. Spravochnik bazovykh tsen na proektnye raboty dlya stroitel'stva «Avtomobil'nye dorogi obshchego pol'zovaniya», utv. Pis'mom Rosstroy № SK-3743/02 ot 09.10.2007. po soglasovaniyu s Rosavtodor ot 29.06.2007 № 01-29/5858.

7. Spravochnik bazovykh tsen na inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva, utv. postanovleniem Gosstroya RF ot 23.12.2003 № 213.

8. Spravochnik bazovykh tsen na inzhenerno-geologicheskie i inzhenerno-ekologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva, odobren pis'mom Gosstroya RF ot 22.06.1998 № 9-4/84.

9. Federal'nyy zakon ot 08.11.2007 № 257-FZ. Ob avtomobil'nykh dorogakh i o dorozhnoy deyatel'nosti v Rossiyskoy Federatsii i o vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii.

© Боровик В. С., Сергеева Н. Б., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Боровик В. С., *Сергеева Н. Б.* Необходимость модернизации методик по разработке технико-экономических обоснований объектов строительства (реконструкции) автомобильных дорог // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 336—341.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

УДК 621.643.053:621.6.076

С. Г. Абрамян, А. М. Ахмедов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ЗАМЕНЫ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Разработана новая технологическая схема замены изоляции магистральных трубопроводов при капитальном ремонте и реконструкции, которая позволяет максимально сокращать сроки выполнения работ при минимальном количестве использования машин и механизмов. Применение предлагаемой технологии замены изоляции магистральных трубопроводов позволит сократить нежелательные воздействия на окружающую среду.

К л ю ч е в ы е с л о в а: магистральный трубопровод, капитальный ремонт, реконструкция, ГИС-технологии, вскрытие трубопровода, замена изоляции, роторные экскаваторы, технологическая схема.

The new technological plan of insulation replacement of main pipe lines at overhaul and reconstruction was developed. This plan allows reduce as much as possible terms of performance of work at the minimum quantity of cars and mechanisms used. Usage of offered technology of insulation replacement of main pipe lines will allow reduce undesirable impacts on the environment.

K e y w o r d s: main pipe line, overhaul, reconstruction, GIS-technology, pipe line development, insulation replacement, rotary excavator, technological plan.

Формирование экологически рационального ремонтно-строительного потока обеспечивает минимум возможных антропогенных изменений природно-техногенной системы. Это возможно при проектировании и управлении технологическими процессами строительства, реконструкции и капитального ремонта линейно-протяженных сооружений, приводящие к минимизации сроков и высокому качеству выполнения работ.

Разработка и внедрение технологических схем при реконструкции и капитальном ремонте магистральных трубопроводов с учетом применения передовых информационных и ремонтно-строительных технологий производства работ способствуют решению поставленной задачи.

При этом должны быть соблюдены следующие требования:

1) максимальная механизация работ с использованием минимального количества машин;

2) синхронизация работ, приводящая к сокращению продолжительности функционирования потоков.

Именно данные требования позволят сократить антропогенную и техногенную экспансию на все жизнеобеспечивающие оболочки природной среды.

В существующие технологии реконструкции и капитального ремонта магистральных трубопроводов единым потоком не полностью внедряют передовые технические средства.

При капитальном ремонте магистральных газопроводов наиболее трудоемкой работой является вскрытие трубы до ее нижней образующей (до 35 % от общего объема работ). Для механизации этой работы создан специальный вскрышной экскаватор, применение которого позволяет повысить уровень механизации вскрышных работ до 85 % [1]. Однако эти экскаваторы предназначены только для вскрытия магистральных газопроводов определенного диаметра. Они не могут работать на участках углов поворота трубопровода в горизонтальной плоскости, на крутых склонах и т. п.

Кроме этого, применение методов организации работ по реконструкции и капитальному ремонту магистральных трубопроводов на бровке траншеи, на берме траншеи или на лежках в траншее в ряде случаев невозможно, так как вскрышные экскаваторы разработаны для труб определенного диаметра. В некоторых же организациях вообще отсутствуют подобные механизмы.

В большинстве случаев работы по вскрытию участка трубопровода осуществляют одноковшовыми экскаваторами. Для облегчения работы экскаваторов предлагается применение тракторного рыхлителя на базе бульдозера «Комацу» *2* (рис. 1). Чтобы избегать повреждения клыком стенки вскрываемого газопровода, вначале потока проходит минитрактор *1* (можно марки Stiga Villa 12 HSTB, максимальная скорость которого 9 км/ч или «Беларусь» МТЗ-082) на минимальной скорости (не более 7 км/ч, т. е. равной скорости пешего хода), который оборудован трассопоисковым комплексом «Сталкер 75-04» и GPS-приемниками. Именно на данной скорости можно получить наиболее достоверные данные по реконструируемому участку трубопровода. С помощью трассоискателя «Сталкер» определяется ось трубопровода и глубина его заложения, которые автоматически записываются в электронный журнал. В указанный журнал также записываются географические координаты трубопровода, полученные с помощью GPS-приемниками. Бульдозер «Комацу» *2* необходимо оборудовать системой точного вождения типа EZ-Guide 250. Для обеспечения максимальной поточности работ и увеличения производительности вскрышных работ предлагается использовать общестроительный роторный экскаватор марки ЭТР-254-01.

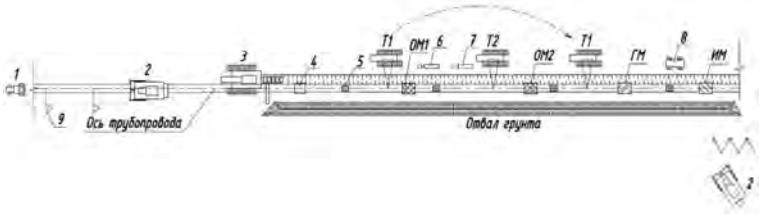


Рис. 1. Технологическая схема изоляции трубопровода с применением ГИС-технологий при реконструкции и капитальном ремонте магистральных трубопроводов: *1* — минитрактор; *2* — бульдозер «Комацу»; *3* — общестроительный роторный экскаватор ЭТР-254-01; *4* — подкапывающая машина; *5* — самоходная опора; $ОМ_1$ — очистная машина предварительной очистки; $ОМ_2$ — очистная машина для окончательной очистки; *6* — передвижная установка контроля качества сварных швов; *7* — сварочный пост; *8* — передвижная лаборатория контроля качества изоляционных покрытий; *9* — вешка показывающая положение оси трубопровода; ГМ — грунтовочная машина; ИМ — изоляционная машина; $Т_1$,$Т_2$ — трубоукладчики

При этом для очистки верхней образующей трубы к экскаватору перед ротором крепится специальное устройство (рис. 2), состоящее из ножа и из трех зубьев от роторного экскаватора. К ножу приварены карманы, аналогичные ковшу роторного экскаватора, для крепления сменных зубьев. Рыхление грунта в зоне 1 производится зубьями, приваренными к ножу таким образом, чтобы верхний зуб *2* рыхлил грунт в плоскости I над трубой, средний зуб *3* рыхлил грунт в плоскости II, а третий зуб *4* рыхлил грунт в плоскости III. Разрыхленный грунт сваливается в ротор экскаватора и выбрасывается в отвал. Таким образом, труба очищается от грунта и при ее извлечении траншея остается свободной от лишнего грунта, сохраняет свою первоначальную геометрию и готова для укладки нового трубопровода.

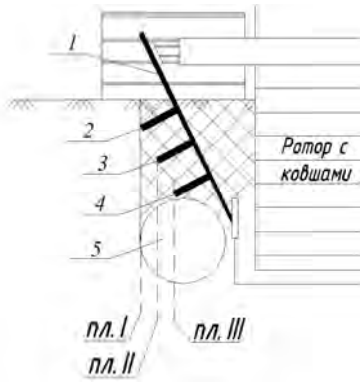


Рис. 2. Схема разрыхления грунта над трубой с помощью устройства-ножа с зубьями: *1* — нож устройства; *2, 3, 4* — зубья; *5* — реконструируемый (ремонтируемый) трубопровод

После роторного экскаватора для полной очистки грунта проходит подкапывающая машина. Известно, при технологии ремонта, когда требуется только замена изоляции трубопровода, лучше выполнять работы в траншее. Это позволяет сохранить пространственное положение трубопровода и избежать дополнительных напряжений в трубопроводе. Поэтому предлагается с помощью двух трубоукладчиков $Т_1$ и $Т_2$ поддерживать участок трубопровода для насадки на него очистной машины $ОМ_1$ для предварительной очистки трубы от старой изоляции. После предварительной очистки определенного участка трубопровода $Т_1$ заменяем самоходной опорой типа «Атлант». Трубоукладчик $Т_1$ меняет свое расположение и передвигается за $Т_2$. Трубоукладчики $Т_2$ и $Т_1$ поддерживают следующий участок трубопровода для насадки очистной машины $ОМ_2$ для окончательной очистки трубопровода от старой изоляции. В связи с тем, что при очистке трубопровода может наблюдаться ослабление сварных стыков, после прохождения $ОМ_1$ передвижной установкой контроля качества сварных швов должны проверяться все стыки. При необходимости свариваются швы. Грунтовочной машиной (ГМ) наносят грунтовку и изолируют трубопровод изоляционной машиной (ИМ). Далее передвигающаяся лаборатория контроля качества изоляционных покрытий проверяет качество выполняемых изоляционных работ. Перед окончательной засыпкой трубопровода авторами предлагается под изолированную трубу устраивать уплотненные земляные перемычки, которые не позволят трубо-

проводу после окончательной засыпки под тяжестью грунта менять свое геометрическое положение. Расстояние между земляными перемычками определятся по расчету.

Работы по устройству земляных подтрубных перемычек предлагается выполнять следующим образом. На расстоянии 30…40 см от предполагаемых земляных перемычек с обеих сторон устанавливаются самоходные опоры, которые на уровне колес до нижней образующей трубы снабжены толкателями грунта. Очертание толкателя соответствует очертанию нижней части трубы. Одноковшовым экскаватором на место земляной перемычки передается с отвала грунт. Самоходные опоры-толкатели грунта передвигаются в направлении друг к другу, уплотняя грунт. Процесс уплотнения грунта должен повторяться многократно, до получения необходимой длины земляной перемычки, которая также получается расчетным путем в зависимости от диаметра трубы.

Уложенный, заизолированный участок засыпается грунтом бульдозерами, движущимися косопоперечными ходами под углом 45° к оси уложенного трубопровода, сразу после устройства земляных перемычек. Так как производительность бульдозеров по засыпке траншеи большая, то предварительно выполняется расчет по определению комплекта одноковшовых экскаваторов для устройства земляных перемычек. После, при необходимости, выполняют окончательную рекультивацию земель (восстановление плодородного слоя грунта).

Данная технологическая схема с применением ГИС-технологий, разработанная для замены изоляции при капитальном ремонте или реконструкции магистральных трубопроводов, после некоторых изменений может быть адаптирована и для других технологий, в частности при выполнении сварочно-восстановительных работ, на бровке или на берме траншеи.

Вывод

Выполнение комплекса работ по капитальному ремонту магистральных трубопроводов по вышеописанной технологии позволяет максимально увеличить производительность работ, следовательно, уменьшить продолжительность выполнения работ. Заменяя трубоукладчики самоходными опорами, уменьшаются также вредные техногенные воздействия как на литосферу и атмосферу, так и на биосферу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абрамян С. Г.* Экологические основы реконструкции и капитального ремонта магистральных трубопроводов : монография. — Волгоград : ВолгГАСА, 2002. — 212 с.

1. *Abramyan S. G.* Ekologicheskie osnovy rekonstruktsii i kapital'nogo remonta magistral'nykh truboprovodov : monografiya. — Volgograd : VolgGASA, 2002. — 212 s.

© Абрамян С. Г., Ахмедов А. М., 2013

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Абрамян С. Г., Ахмедов А. М. Технологическая схема замены изоляции при реконструкции и капитальном ремонте магистральных трубопроводов с применением ГИС-технологий // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 342—345.

УДК 517:633

И. А. Маяцкая, Б. М. Демченко

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МОДЕЛЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработаны модели структуры листостебельных растений. Аналитические интерпретации моделей растительных объектов строились на базе систем уравнений, описывающих геометрию основных вегетативных органов: стебель, ветки первого и второго порядков ветвления. Построены модели более высокого уровня сложности по сравнению с используемыми в настоящее время. Результаты могут быть использованы в компьютерном моделировании технологических процессов, что позволит уменьшить объем трудоемких натурных экспериментов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: модель, растительный объект, стебель, аналитическая геометрия.

Models of cormophyte structure models are developed. Analytical interpretations of plant objects models are based on the equation systems describing geometry of the main vegetative bodies: stalk, branches of the first and second ramification orders. The developed models are of higher level of complexity as compared to the ones used nowadays. The results can be used in computer modeling of technological processes that will allow reduce the volume of labor-consuming natural experiments.

K e y w o r d s: model, plant object, stalk, analytical geometry.

Исследования в области построения моделей технологических процессов показали, что необходимо построение математических моделей растительных объектов более высокого уровня сложности. Для компьютерного моделирования определенных технологических процессов, в которых участвуют сельскохозяйственные материалы, необходимо построить модель этого объекта [1—4]. Это дает возможность построить теоретическую модель рассматриваемого процесса в виде совокупности системы уравнений. Анализ получаемых результатов может дать оценку качества реализации данного процесса. Для построения моделей можно использовать методы аналитической геометрии [5].

Листостебельные растения представляют собой растительные объекты с различной скелетной структурой и с различными типами ветвления. Существуют следующие типы ветвления побегов:

1) дихотомическое;
2) моноподиальное;
3) симподиальное.

Можно рассмотреть данные типы структуры моделей листостебельных материалов, где *1* — ось ветвления 1-го порядка ветвления; *2* — ось 2-го порядка ветвления и *3* — ось 3-го порядка ветвления с ветвистой структурой от начала стебля (рис. 1) и со «спрямленной» структурой (рис. 2).

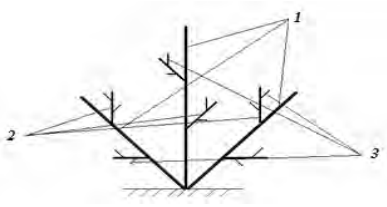


Рис. 1. Модель с ветвистой структурой от начала стебля

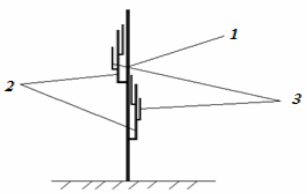


Рис. 2. Модель со «спрямленной» структурой

Рассмотрим аналитические интерпретации модели растительных материалов с ветвистой структурой от начала стебля с моноподиальным типом ветвления.

При построении скелетной структуры листостебельных растений используется координатный метод. Рассматривается плоская модель растительного объекта. Модель принимается в виде плоской кривой, включающей прямой стебель, который представляет собой ось 1-го порядка ветвления, и отходящие от него ветки 2-й и 3-й осей ветвления. Обычно ось 1-го порядка ветвления представляет собой прямой вертикальный стебель. Ветки могут быть аппроксимированы прямыми или кривыми 2-го порядка, например, параболами. Такую плоскую модель листостебельных растений можно описать следующей системой уравнений:

$$x = 0;\ \ 0 \le y \le \mathrm{H}; \tag{1}$$

$$y = f_i(x);\ \ 0 \le x \le x_{Bi}; \tag{2}$$

$$y = f_{ij}(x);\ \ x_{Aij} \le x \le x_{Bij}, \tag{3}$$

где (1) — уравнение стебля; (2) — уравнение ветвей 1-го порядка ветвления и (3) — уравнение ветвей 2-го порядка ветвления.

Рассмотрим модель листостебельной культуры с прямолинейными осями ветвления, представленную на рис. 3.

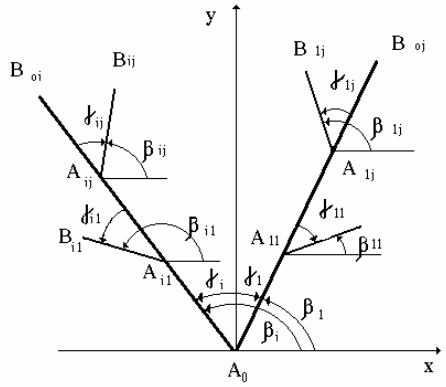


Рис. 3. Структурная плоская модель листостебельного материала с прямолинейными осями ветвления с моноподиальным типом ветвления

Приняты следующие обозначения для i -й ветви оси 1-го порядка ветвления: угол β_1 — угол наклона отрезка прямой A_0B_{01}; угол β_i — угол наклона отрезка прямой A_0B_{0i}; l_i — длина i-й ветви (рис. 4). Уравнение для i-й ветви оси 1-го порядка ветвления будет иметь вид

$$y = x\ \mathrm{tg}\ \beta_i;\ \ 0 \le x \le l_i \cos\ \beta_i, \tag{4}$$

где $\beta_i = \dfrac{\pi}{2} + \gamma_i$, где γ_i — угол между i-й ветви 1-й оси ветвления и осью $A_0 y$. Угол положительный, если он направлен против часовой стрелки.

Рассмотрим *j*-ю ветвь 2-й оси ветвления к *i*-й ветви 1-й оси ветвления (рис. 5). Угол для этой ветви определяется по формуле

$$\beta_{ij} = \beta_i + \gamma_{ij}, \tag{5}$$

где γ_{ij} — угол между *j*-й ветви 2-й оси ветвления и прямой A_0B_{0i}.

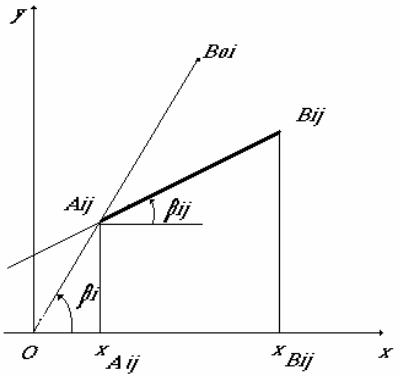


Рис. 4. Схема плоской модели для *i*-й ветви оси 1-го порядка ветвления

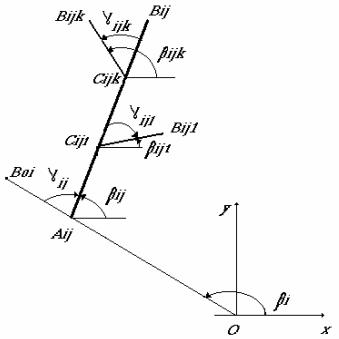


Рис. 5. Схема плоской модели для *j*-й ветви оси 2-го порядка ветвления

Координаты точки $A_{ij}(x_{Aij}, y_{Aij})$, являющейся началом *j*-й ветви, равны

$$x_{Aij} = l_{ij}\cos\beta_i;$$

$$y_{Aij} = l_{ij}\sin\beta_i,$$

где l_{ij} — длина отрезка A_0A_{ij}.

Уравнение для *j*-й ветви оси 2-го порядка ветвления при $x_{Aij} \le x \le x_{Bij}$ будет иметь вид

$$y = x\ \mathrm{tg}\ \beta_{ij} + y_{Aij} - x_{Aij}\mathrm{tg}\ \beta_{ij} \tag{6}$$

или

$$y = x\ \mathrm{tg}\ \beta_{ij} + l_{ij}\sin\beta_i - l_{ij}\cos\beta_i\mathrm{tg}\ \beta_{ij}. \tag{7}$$

Уравнение для рассматриваемой ветви будет иметь следующий вид:

$$y = x\ \mathrm{tg}\ \beta_{ijk} + y_{Cijk} - x_{Cijk}\mathrm{tg}\ \beta_{ijk}, \tag{8}$$

где x_{Cijk} и y_{Cijk} — координаты точки C_{ijk}, и они равны

$$x_{Cij} = x_{Aij} + l_{ijk}\cos\beta_{ji} = l_{ij}\cos\beta_i + l_{ijk}\cos\beta_{ij}; \tag{9}$$

$$y_{Cij} = y_{Aij} + l_{ijk}\sin\beta_{ji} = l_{ij}\sin\beta_i + l_{ijk}\sin\beta_{ij}, \tag{10}$$

где l_{ijk} — длина отрезка $A_{ij}C_{ijk}$.

В результате при $x_{Cijk} \le x \le x_{Bijk}$ получаем

$$y = x\ \mathrm{tg}\ \beta_{ijk} + l_{ij} \sin \beta_i + l_{ijk} \sin \beta_{ij} - \left(l_{ij} \cos\beta_i + l_{ijk} \cos \beta_{ij}\right) \mathrm{tg}\ \beta_{ijk}. \quad (11)$$

Ветви ветвления могут быть разной формы: прямолинейные и криволинейные оси ветвления, в виде парабол. Рассмотрим плоскую модель листостебельной культуры с моноподиальным типом ветвления, для которой 1-я ось ветвления представляет собой прямой вертикальный стебель высотой H и отходящие от него листья, которые являются 2-й осью ветвления. Такая плоская модель описывается следующей системой уравнений:

$$x = 0;\ \ 0 \le y \le H; \quad (12)$$

$$y = f_j(x);\ \ 0 \le x \le x_{Bj}. \quad (13)$$

Рассмотрим аналитические структуры растительных материалов с прямолинейными и криволинейными осями ветвления. Схемы этих структур представлены на рис. 6—8. Листья описываются участками парабол с вершинами соответственно в точках D_{1j} и ветви парабол направлены вверх. Обозначим A_{1j} — начало *j*-го листа; B_{1j} — конец *j*-го листа; $A_0B_{01} = H_1$ — высота стебля в 1-й фазе развития, длина дуги $\cup A_{1j}B_{1j}$ равна l_{1j}.

Уравнение для *j*-го листа имеет вид

$$y = a_{2j}x^2 + a_{1j}x + a_{0j}, \quad (14)$$

где a_{2j}, a_{1j}, a_{0j} — эмпирические коэффициенты; $a_{0j} = y_{A1j}$ — расстояние от точки A_0 до точки A_{1j} начала *j*-го листа.

Для определения a_{1j} и a_{2j} нужно подставить координаты точек $A_{1j}\left(x_{A1j}, y_{A1j}\right)$ и $B_{1j}\left(x_{B1j}, y_{B1j}\right)$ в (12):

$$y_{A1j} = a_{2j}x_{A1j}^2 + a_{1j}x_{A1j} + y_{A1j};$$

$$y_{B1j} = a_{2j}x_{B1j}^2 + a_{1j}x_{B1j} + y_{A1j}. \quad (15)$$

В результате получаем

$$a_{1j} = -a_{2j}x_{A1j};$$

$$a_{2j} = \frac{y_{B1j} - y_{A1j}}{x_{B1j}\left(x_{B1j} - x_{A1j}\right)}. \quad (16)$$

Используя найденные зависимости, представим исследуемую модель следующей системой уравнений:

$$x = 0;\ \ 0 \le y \le \mathrm{H}_1$$

$$y = a_{2j}x^2 + a_{1j}x + a_{0j};\ \ 0 \le x \le x_{\mathrm{B}1j} \quad (17)$$

с учетом (16).

Для растительной структуры с прямолинейными осями ветвления. Ветви направлены прямолинейно и данная модель описывается уравнениями

$$x = 0;\ \ 0 \le y \le H_2;$$

$$y = x\ \mathrm{tg}\beta_j;\ \ 0 \le x \le l_{2j}\cos\beta_j, \tag{18}$$

где β_j — угол между j-м листом и осью A_0x.

При этом нужно учитывать, что геометрические параметры тоже изменяются: $A_0B_{02} = H_2$ — высота стебля во второй фазе развития, длина $A_{2j}B_{2j} = l_{2j}$, $H_2 > H_1$, $y_{A2j} > y_{A1j}$, $l_{2j} > l_{1j}$.

Отметим, что на 3-й и 4-й фазах роста растения листья могут быть аппроксимированы параболами, ветви которой направлены вниз. Листья без перегиба аппроксимируются частью параболы без вершины, а листья с перегибом — частью параболы с вершиной D_{4j}.

Уравнение для j-го листа имеет вид
для листьев без перегиба (рис. 7)

$$y = -b_{3j}(x - x_{D3j})^2 + y_{D3j}, \tag{19}$$

для листьев с перегибом (рис. 8, пунктирная линия)

$$y = -b_{4j}(x - x_{D4j})^2 + y_{D4j}, \tag{20}$$

а уравнение стебля остается прежним, только изменяется геометрические параметры — высота стебля и длина листьев.

Определим параметры b_{3j} и b_{4j}:

$$b_{3j} = \frac{y_{B3j} - y_{A3j}}{x_{B3j}^2};\ \ b_{4j} = \frac{y_{D4j} - y_{A4j}}{x_{D4j}^2}. \tag{21}$$

Для спрямленной листостебельной структуры (рис. 8, сплошная линия) уравнение для спрямленного j-го листа с перегибом будет иметь следующий вид:

$$y = -d_{5j}\left(x - x_{D5j}\right)^{2n} + y_{D5j}, \tag{22}$$

где n — натуральное число, увеличивая которое можно достичь любой степени прилегания листа к стеблю.

Эмпирический параметр для спрямленной структуры для j-го листа рассчитывается по формуле

$$d_{5j} = \frac{y_{D5j} - y_{A5j}}{x_{D5j}^{2n}}. \tag{23}$$

И уравнение для спрямленного j-го листа без перегиба и вплотную прижатого к стеблю описывается функцией

$$x = 0;\ \ y_{A6j} \ge y \ge y_{B6j}. \tag{24}$$

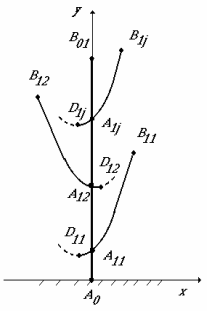


Рис. 6. Листостебельная структура с криволинейными осями ветвления

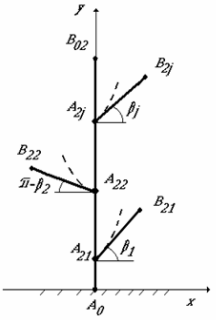


Рис. 7. Модель с прямолинейными осями ветвления

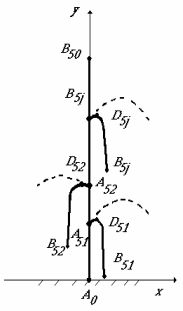


Рис. 8. Спрямленная модель с криволинейными осями ветвления

Исследования в области построения моделей растений показали, что необходимо построение математических моделей растительных объектов более высокого уровня сложности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы. — М. : Мир, 1982.
2. *Раздорский В.Ф.* Архитектоника растений. — М. : Советская наука, 1955.
3. *Эндрюс Дж., Мак-Лоун Р.* Математическое моделирование. — М. : Мир, 1979.
4. *Владимирский Б. М., Горстко А. Б., Ерусалимский Я. М.* Математика. Общий курс. — СПб. : Лань, 2002.
5. *Павловская Т. А.* C/C++. Программирование на языке высокого уровня. — СПб. : Питер, 2002.

1. *Mandel'brot B.* Fraktal'naya geometriya prirody. — M. : Mir, 1982.
2. *Razdorskiy V. F.* Arkhitektonika rasteniy. — M. : Sovetskaya nauka, 1955.
3. *Endryus Dzh., Mak-Loun R.* Matematicheskoe modelirovanie. — M. : Mir, 1979.
4. *Vladimirskiy B. M., Gorstko A. B., Erusalimskiy Ya. M.* Matematika. Obshchiy kurs. — SPb. : Lan', 2002.
5. *Pavlovskaya T. A.* S/S++. Programmirovanie na yazyke vysokogo urovnya. — SPb. : Piter, 2002.

© Маяцкая И. А., Демченко Б. М., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Маяцкая И. А., Демченко Б. М. Аналитическая интерпретация моделей растительных материалов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 346—351.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДА

УДК 711. 711. 5–168.

И. В. Тонкой

ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАССЕЛЕНИЯ РУССКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Рассмотрены проблемы развития региональных систем расселения на примере центрального региона России, определяемом как Русское междуречье. Приводятся предпосылки развития региональной структуры расселения во взаимосвязи с Московским мегаполисом с учетом формирования каркаса стратегических трансконтинентальных русел как результат развития информационно-коммуникационного ресурса, что отражается на взаимодействии функции и пространства природной и антропогенной среды. Прогнозируется алгоритм устойчивого развития региона.

К л ю ч е в ы е с л о в а: Европейская система расселения, агломерации, региональная система расселения, динамика мегаполиса, динамика региона, Русское междуречье, мобильность и связность, устойчивые процессы, конфликтные ситуации, изменчивость и необратимость, градостроительная гибкость.

The authors consider issues of development of urbanized region systems by the example of the central region of Russia, defined as the Russian interfluve area. Preconditions for the development of urbanized region system in conjunction with Moscow megalopolis taking into account the formation of a framework of strategic transcontinental river beds as the result of the development of information and communication resource that is reflected in the interaction of function and space of the natural and anthropogenous environment are considered. The algorithm of stable development of the region is predicted.

K e y w o r d s: European urbanized region system, agglomeration, urbanized region system, megalopolis dynamic, region dynamic, Russian interfluve, mobility and connectivity, stable processes, conflict situations, variability and irreversibility, urban development flexibility.

Главным катализатором тенденций трансформации пространственной структуры и территориальной организации систем расселения в современных условиях выступает усиливающаяся *мобильность* населения, которая значительно изменяет параметры *доступности*, и как следствие, расширяет пространство и территории взаимодействия. Миграционные потоки населения, как внутренние, так и внешние изменяют социально-демографические режимы функционирования мировых городов. В результате усиливается тенденция усложнения и функциональной плотности — формирование интегрированной структуры городской среды при ее неоднородной дислокации по территории региона (рис. 1).

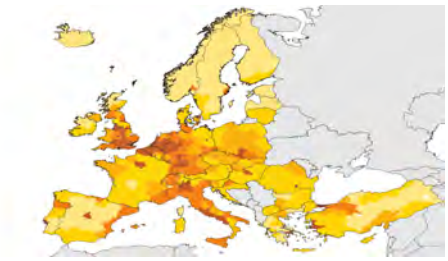


Рис. 1. Плотность населения и величина ЕС в соотношении с ЦАО России (2010 г.). Источник: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/gisco/maps_posters/maps

Опыт и мотивации формирования региональной структуры расселения в ЦАО. Если Европейская система расселения имеет перманентно положительную динамику насыщения функционально-пространственного ресурса, то в России в силу исторических социально-политических преобразований такой потенциал растрачивался. Его накопление по территории происходило неоднородно и фрагментарно, отсюда слабое развитие урбанизации, гипертрофированное различие развития крупных городов и регионов.

Имея четвертую позицию по числу агломераций (Китай — 76, США — 51, Индия — 48, Россия — 22 — GaWC), в России лишь два глобальных города: Москва — в статусе альфа, Санкт-Петербург — гамма. Из 22-х агломераций страны большинство — малые с населением не выше 1…2,5 млн — представляют собой моноцентричные структуры, функционирующие исключительно в зоне влияния крупного города, границы которых, как правило, сдерживаются административными границами субъектов. Не учитываются пространственные ареалы реальных взаимосвязанных функциональных процессов, конструирующих целостность региона (расселения и производства) и поэтому имеют место проблемы их стратегического и тактического развития. Разработка перспективных схем территориального планирования также ведется в пределах административных границ территориальных субъектов, отсутствует иерархическая целостность взаимодействия (рис. 2). Сложившиеся агломерации функционируют замкнуто. При этом, следует отметить наличие особенностей территориальной организации сети населенных мест, которые представлены уникальным природно-ландшафтным и духовно-культурным потенциалом, имеющим глубокие исторические корни и своеобразие морфологии структуры расселения.

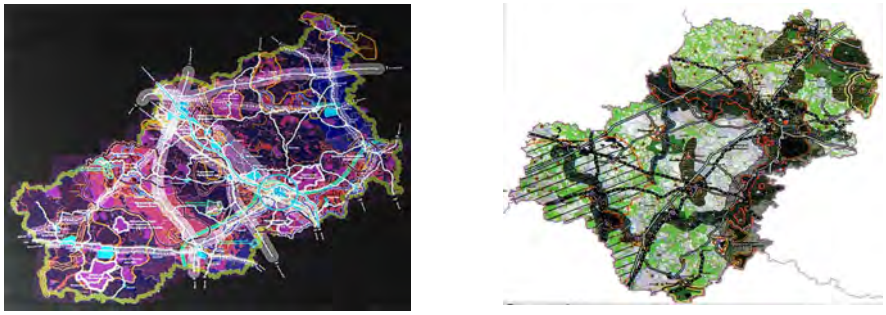


Рис. 2. СТП систем расселения в границах Тверской и Калужской областей (НПИ ЭНКО)

Динамика мегаполиса. Московский мегаполис расположен на периферии, точнее, на границе зоны влияния Европейской континентальной системы расселения, поэтому имеет слабый рейтинг бизнесс-привлекательности. (рис. 3). Структура его моноцентричная, с не высоким потенциалом пространственной связности, не подпитывается градостроительным окружением в силу исторически сложившегося низкого уровня урбанизации, обусловленного политикой прежнего тоталитарного режима.

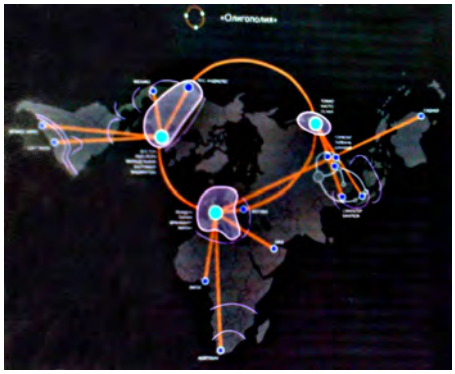


Рис. 3. Мировая система метрополий. Парижский институт исследований (IEP de Paris) (по рис. А. Коробова, Пі 28С35)

По уровню развития региональных связей не имея альтернативных центров, Московский мегаполис функционирует изолированно от региона. Отсутствуют механизмы паритетности прямой и обратной связей мегаполиса и региона, необходимых для *компенсирующего* взаимодействия. Глобальный город пребывает в режиме перманентного накопления и обострения функциональных и пространственных конфликтов. Мегаполис наступает на регион, поглощая новые территории, разрастаясь территориально при наличии внутренних резервов (от 5,83…15 % промплощадки) [1]. Однако застройка выплескивается за его границу, потому как реализуется стратегия максимального захвата новых территорий по принципу «пометить-застолбить». Административно-управленческий ресурс пытается сдержать реальные процессы установлением новых границ территориальных субъектов. С одной стороны, город стремится обособиться, но не может, в силу интересов бизнеса и неэффективных решений власти относительно пространственного развития мегаполиса. С другой — отсутствуют мониторинг и прогноз территориального и функционального использования городской территории и стратегические программы развития системы расселения. Создаются условия для процессов т. н. «стихийной» самоорганизации, которые возникают в результате нарушения пропорции взаимодействия и конфликта плановой (законодательной, регулятивной) стратегии развития города с неофициальной стороной поведения социума, осуществляющей тактику ее реализации. Сейчас наблюдается диспропорция с приоритетом второй правовой взаимодействующей, в связи с чем, усиливается тенденция не регулированного развития системы.

Наращивая мобильность и связность, социальная подсистема мегаполиса, с одной стороны, увеличивает ареалы доступности, с другой – концентрируя и расширяя функции, провоцирует напряжения и создает пространствен-

ные конфликты внутренней структуры. Пространственная среда города теряет устойчивость, накапливает нештатный режим поведения, обостряя *непредсказуемость*, что характеризует ее как *диссипативную структуру*, находящуюся в точке бифуркации. Пространство стремится к упорядоченности своей организации, для обеспечения устойчивого функционирования социальной системы.

Внешние факторы функционирования мегаполиса — устойчивые динамические процессы взаимодействия с регионом, в настоящее время характеризуются действиями, не подтвержденными логичными процессами функционирования, взаимосвязанной системой населенных мест, скорее решениями административно-управленческого ресурса:

1) неэффективность радиально-концентрической планировочной структуры за пределами МКАД;

2) неорганизованная маятниковая миграция (ежедневная) создает конфликтные ситуации в средней и периферийной части города;

3) отсутствие критериев для определения границ зоны влияния мегаполиса не позволяет эффективно перераспределить функциональную нагрузку системы и сохранить целостность ее структуры;

4) отсутствие профессионального научного прогнозирования провоцирует необоснованное территориальное развитие мегаполиса, нарушает экологические режимы пригородной зоны, уничтожая природную среду;

5) в силу административно-хозяйственной изолированности субъектов в регионе отсутствует стратегическая программа взаимодействия, проблемы развития субъектов решаются изолированно. При этом, сложившаяся система населенных мест Московского региона с пространственно ориентированными линейными векторами, выступает деструктивным морфологическим компонентом для радиально-концентрической структуры мегаполиса.

Структура мегаполиса на региональном уровне имеет определенно ограниченную эффективную реализацию: во-первых, сложившаяся структура расселения имеет линейный вектор морфологического построения; во-вторых, по территории региона проходят трансконтинентальные транспортно-коммуникационные русла — перспективные направления развития региона, с подключением в мировую сеть и которые способны обеспечивать его высокий статус в дальнейшем; в-третьих, динамичное функционирование зоны влияния мегаполиса предполагает формирование компенсирующих центров на основе крупных сложившихся исторических городов. Наблюдаемые процессы и тенденции подтверждают необходимость разработки модели региональной системы расселения в регионе, которая может обеспечить через компенсирующие узлы взаимодействия «мягкую» трансформацию — неконфликтную коррекцию структуры мегаполиса в регион.

Внутренние характеристики и тенденции функционирования мегаполиса. Формируется интегрированная среда дисперсной функциональной структуры с неравномерной дислокацией в городских границах. Основные характеристики представлены в двух взаимосвязанных ракурсах — функции и пространства:

1) концентрация плотности и расширение номенклатуры функциональных процессов растворяет границы функциональных зон, повышается функциональная энтропия пространства города, а неравномерная ее дислокация создает пространственные напряжения структуры;

2) увеличение плотности кварталов неорганизованной деструктивной застройкой — нарушение их капиллярной системы, что приводит к транспортно-пешеходному пломбированию, особенно в центральной части [2];

3) низкая плотность дорожно-уличной сети — ДУС (в разы меньше, чем в Париже) при многократном увеличении автопарка провоцирует конфликтные ситуации транспортной системы;

4) увеличение транспортно-коммуникационной нагрузки города создает дискомфортные биоэнергетические экологические режимы среды [2];

5) нерациональное использование промышленных площадок (производственные территории занимают не менее 15 % городской площади) создает чересполосицу городской структуры [2];

6) значительные миграционные процессы провоцируют социальную коррозию и сегрегацию социальной системы (неравномерная дислокация);

7) стабильное увеличение численности населения (порядка 150 000 человек в год), увеличение антропогенной, биоэнергетической, коммуникационной нагрузки [3];

8) концентрация административно-управленческих и деловых функций в исторической части города (порядка 800 000 человек ежедневно с учетом посетителей);

9) рыхлость (историческая «недоразвитость») структуры провоцирует хаотичность застройки, усиливает конфликтность функционирования пространства.

В настоящее время *мегаполис пребывает в точке бифуркации* — устойчиво неравновесном состоянии. Система настолько напряжена и раскачана, что достигла критического состояния и готова перейти в новое качество (подтверждается крайне необдуманными решениями административно-управленческого ресурса). Этот процесс может быть управляемым, если мегаполис приобретает качество элемента системы более высокого уровня — центра региональной системы расселения. В другом случае мегаполис может трансформироваться в деструктивное образование (это уже наблюдается), что негативно отразится на функционировании сложившейся системы расселения окружающего региона. В этом случае системе потребуется неопределенно долгое (в силу известных объективных причин) время для восстановления устойчивого функционирования, что крайне неэффективно.

Динамика региона. Регион обладает уникальным природным и историко-культурным потенциалом, включает 146 исторических городов (не принимается во внимание приказ Минкультуры РФ 2010 года), при этом функционирует локально со слабым и угасающим производственным потенциалом, не имеющей территориально-производственной структуры на основе районирования. В настоящее время прослеживаются три основные группы факторов, способных повлиять на изменение неэффективной в пределах региона радиально-центрической структуры мегаполиса*: функциональная* — прохождение трансконтинентальных транспортно-коммуникационных русел, формирование опорных узлов взаимодействия — пространственных порогов изменения качества среды; *морфологическая* — модернизация природно-ландшафтной структуры и сложившейся системы расселения, использование приоритетных направлений геоэнергетических русел территории; *группа прогноза* — изме-

нение приоритетов градостроительной политики в предпочтении территориального районирования региона на основе идентификации целостных территориально-производственных комплексов и природных ареалов. Масштаб и площадь региона для компенсирующего взаимодействия с мегаполисом определяется по идентификации территории — функционально-пространственному *архипелагу* с рациональной и эффективной структурой, целостность которого обеспечивается критериями *доступности* и *связности* в пределах *зоны влияния* мегаполиса [4]. В предлагаемом варианте это регион Русское междуречье.

Теория градостроительства сегодня слабо обогащается — «пробуксовывает» на материале 80-х гг. XX в. Проекты, модели, концепции… обнаруживают просчеты, прежде всего, в теории, методологии и подходах. Главные из них, на наш взгляд, следующие:

1) моделирование системы расселения мегаполиса, области и региона происходит в *административных границах*, и должно обеспечиваться значительно бóльшим территориальным ареалом с созданием в нем паритетных компенсирующих центров, что отражает действительное взаимодействие, с ресурсным потенциалом мегаполиса;

2) моделирование системы расселения мегаполиса и области не учитывает сложившийся *геофизический, историко-культурный и духовный* ресурс региона в формировании опорного каркаса перспективного развития;

3) градостроительная система любого статуса рассматривается как *самодостаточная статичная детерминированная антропогенная субстанция*, приоритетно взаимодействующая с окружающей средой — нивелируется развитие ее природной составляющей;

4) моделирование в рамках *одного замкнутого иерархического уровня*, без мотивированной обоснованной взаимосвязи с внешней средой, со структурами других иерархических уровней, без учета механизмов и закономерностей функционирования систем расселения в современных условиях.

Развитие мегаполиса и его окружения (любого другого градостроительного объекта) в контексте теории открытых неравновесных систем прослеживается крайне редко. Мегаполис принимается как статичная территориально-пространственная структура, а система расселения региона не рассматривается вообще. В этой связи моделирование территориальной организации не имеет продолжения в реализации, поскольку не учитывает природу и многообразие реальных функциональных процессов систем расселения. Особенности поведения и динамики развития градостроительных систем и городов требует корректного применения алгоритмов теории сложных динамических структур физического мира. Основу трансформации пространства современного функционирования градостроительных структур в контексте теории сложных структур составляют принципы:

1) *изменчивости и непрерывности* — перманентные процессы взаимодействия антропогенного, природного и социального характера при циклической смене приоритетов;

2) *урбанистической гибкости* — возможности рационального оперативного реагирования и адаптации структуры к изменению функциональной программы среды.

При этом градостроительная система способна накапливать, усложнять и трансформировать свою структуру и пространство, изменяя статус, причем такие процессы по своей природе *необратимы* и *непредсказуемы*, вследствие неопределенности и непредсказуемости мощности и частоты внешних импульсов. В определенном алгоритме такие процессы могут быть объяснены как самоорганизация объектов расселения любого иерархического уровня. Самоорганизация городской среды, наблюдаемая сегодня - «непредсказуемость» решений застройки, нештатных процессов функционирования городской структуры. Наблюдаемые результаты самоорганизации в большинстве негативны, дискомфортны, поскольку корреспондируются без учета реального протекания процессов из-за отсутствия всестороннего научного мониторинга. Не обеспечивая комфорт на микроуровне — *двор, квартал, улица,* нарушают гармоничное развитие более крупных элементов системы, поскольку функционируют как закрытые детерминированные структуры, без внешней связи.

На макроуровне городской структуры — *городской, планировочный район, межмагистральная территория* — в результате накопления реализаций нештатных проектов возникает вынужденная трансформация планировочной структуры макроуровня, отсюда режим вынужденной самоорганизации. Причины!? Не учитывается, что самоорганизация градостроительных систем зависит от факторов, которые формируются в процессах деятельности социума — *уровень развития общества в целом, его общественное сознание, общая компетентность и культура в обращении со средой проживания, совершенство и адекватность законодательно-правовой системы современным процессам и потребностям, компетентность профессионалов.* Особенность явления самоорганизации в градостроительных системах проявляется в том, что в каждый максимально короткий промежуток времени элементы городской среды (застройка и пространство) статичны и находятся в покое, а воспринимаемые в темпоральном режиме, обнаруживают достаточно ощутимые преобразования. Необходимыми условиями для проявления процессов самоорганизации в градостроительных системах должны быть:

1) наличие импульса внешней среды — через воздействие природных, геофизических и энергетических явлений и деятельности социума;

2) возникновение флуктуации — нештатное поведение пространства городской среды в результате напряжения в социальной подсистеме городской структуры;

3) функционирование системы (подсистемы) в критически неравновесном состоянии — точке бифуркации — готовность к трансформации пространственной структуры через функциональную дисфункцию подсистем (транспорт, природные катаклизмы, социальная коррозии, джентрификация, миграционные процессы и т. д.).

Таким образом, для обеспечения устойчивого развития региона м*егаполису* предлагается *открыться в регион, региону интегрироваться с мегаполисом* (рис. 4). Для этого необходимо:

1. Рассматривать современные системы расселения *как открытые, динамичные, природно-антропогенные, пространственно-временные структуры*, функционирующие в результате взаимосвязанного воздействия социума и природной среды.

2. Провести *стратификацию региона* — определить уровни качества среды по плотности, мобильности и связности функциональных процессов.

3. Провести *территориальное районирование* региона на основе идентификации целостных территориально-производственных комплексов и природных ареалов.

4. Определить «*фарватеры*» стратегического развития региона — основы пространственного каркаса взаимодействия трансконтинентальных ресурсно-коммуникационных русел с мегаполисом.

5. Выявить (мониторинг) границы и уровни воздействия *зоны* (пояса) *влияния* мегаполиса на регион.

6. Определить *опорные компенсирующие узлы взаимодействия* мегаполиса и региона для формирования структуры системы расселения.

7. Разработать *целевые программы* развития региона в контексте реализации модели региональной системы расселения с центром в мегаполисе.

В результате чего, Русское междуречье с ядром — Московским мегаполисом — может функционировать в системе мировых центров как структуроформирующий узел всемирной ресурсно-информационной сети, обеспечивая устойчивое развитие региона.

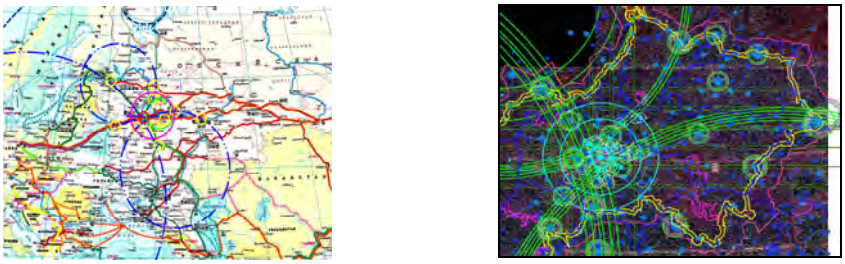


Рис. 4. ТКР, фарватеры и опорные узлы взаимодействия структуры Русского междуречья

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Григорян Ю. М.* Старая Москва. Инвентаризация 2011 // Проект Россия (Приложение к журналу). 2011 № 62(4). С. 29.

2. *Юдинцев В.* Москва: что это было и куда грести // Арх. вестник. 2010. № 2 (113). С. 34—41.

3. *Бочаров Ю. П.* О восстановлении прав федеральных властей и ликвидации монополии мэрии на развитие столицы России // Академия. 2009. № 4 С. 4—5.

4. *Christian de Portzamparc*. От киберпространства к физическому пространству // ПІ. № 28. С. 44.

1. *Grigoryan Yu. M.* Staraya Moskva. Inventarizatsiya 2011 // Proekt Rossiya (Prilozhenie k zhurnalu). 2011. № 62 (4). S. 29.

2.*Yudintsev V.* Moskva: chto eto bylo i kuda gresti // Arkh. Vestnik. 2010. № 2 (113) S. 34—41.

3. *Bocharov Yu. P.* O vosstanovlenii prav federal'nykh vlastey i likvidatsii monopolii merii na razvitie stolitsy Rossii // Akademiya. 2009. № 4 S. 4—5.

4. *Christian de Portzamparc.* Ot kiberprostranstva k fizicheskomu prostranstvu // PI. № 28. S. 44.

© Тонкой И. В., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013 г.

Ссылка для цитирования:

Тонкой И. В. Предпосылки формирования и развития региональной системы расселения русского междуречья // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 352—359.

УДК 728.1:502(470.45)

И. В. Черешнев, Н. В. Черешнева

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ АРХИТЕКТУРЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛИЩА В УСЛОВИЯХ Г. ВОЛГОГРАДА

Исследуется влияние экологических факторов на параметры индивидуального городского жилища в южном регионе России. Внимание акцентируется на аспектах экологии жилища.

К л ю ч е в ы е с л о в а: анализ, экология, адаптация, жилище.

Studied is the influence of ecological factors on parameters of individual city dwelling in the southern region of Russia. The attention is focused on aspects of the ecology of dwelling.

K e y w o r d s: analysis, ecology, adaptation, dwelling.

Сегодня многие города России достигли высокого уровня урбанизации. Жизнеспособность городов с миллионным населением полностью зависит от бесперебойного функционирования централизованных энергосистем, работающих, как правило, на переработке ископаемого топлива. Растущее потребление энергоресурсов ведет к увеличению их стоимости и ухудшению экологического состояния окружающей среды. Одним из главных, способствующих этому факторов эксперты считают ухудшение условий жизни россиян в связи с повышением плотности расселения на единицу городской территории, в 5…6 раз превышающей аналогичные показатели за рубежом. Так, например, в крупных городах России местные нормы допускают повышение плотности жилищного фонда до 25 тыс. м^2, т. е. ориентировочно до 1,2 тыс. чел. на один гектар. Для градостроительных условий Москвы плотность жилищного фонда вовсе не нормируется, так в многофункциональных примагистральных комплексах она может достигать 3 тыс. и более человек на один гектар. Таким образом, на одного человека приходится около 3 м^2 незастроенных земель. В то время как, согласно гигиеническим требованиям, плотность населения в жилой застройке не должна превышать 400…500 чел./га [1].

В этих условиях к городской среде обитания человека, во многом определяемой качеством жилой застройки, предъявляются наиболее жесткие требования. Современные процессы глобализации, которые сегодня определяют характер воздействия на природу человеческой деятельности, неравномерность и скорость экономического развития многих стран, привели международное сообщество к формулировке идеи перехода к устойчивому развитию как цели всех сфер деятельности и каждого в отдельности гражданина Земли. Одним из средств достижения поставленной цели в области архитектурно-строительной деятельности могут стать принципы социально-экологической адаптации архитектурных объектов к меняющимся условиям природы и общества, рассмотренные на примере развития архитектуры индивидуального малоэтажного жилища.

Опираясь на многовековой опыт народного зодчества, определивший комплекс приемов и средств адаптации, малоэтажная застройка позволяет создать иную среду обитания в городе. Малоэтажное индивидуальное жилище

дает возможность более гибко реагировать на противоречия между постоянно растущими и изменяемыми потребностями людей и неизменяемостью характеристик окружающей среды. В качестве примера, на котором можно было бы проанализировать основные процессы социально-экологической адаптации архитектуры малоэтажного жилища, может служить эволюция развития малоэтажного жилища в Волгограде. Оценка этих процессов должна включать следующие показатели: *фактор устойчивости к социальным и экономическим преобразованиям*; *фактор приспособляемости к специфике региональных природно-климатических условий.*

Устойчивость архитектуры жилища к социальным и экономическим преобразованиям невозможно рассматривать без учета фактора развития градостроительных систем в пространстве и во времени. Социальные и экономические факторы являются наиболее динамичными. Они отражают структуру демографических изменений, определяют особенности материально-технической базы и организации строительства в регионе, влияют на распределение энергетических ресурсов, организацию транспортных коммуникаций и системы обслуживания.

Оценивая социальную и экономическую устойчивость индивидуальной городской застройки, можно отметить, что данный тип застройки в градостроительных условиях Волгограда имеет высокую степень адаптивности жилой среды, так как на протяжении многих десятилетий продолжает занимать до 40…50 % селитебных территорий города. Период развития индивидуальной застройки позволяет выделить несколько этапов ее формирования.

Первый этап относится к периоду до начала революционных преобразований 1917 г. Лишь незначительная часть застройки этого времени дошла до наших дней. Часть домов-«особняков» является памятниками архитектуры и находится под охраной государства, часть идет под снос из-за высокой степени физического износа.

Второй этап относится ко времени социалистического строительства. Новая социальная политика в стране после 1917 г., экономические возможности и идеологические факторы поменяли место индивидуального дома-«особняка» в типологии городского жилища. Город застраивался домами, привнесенными из сельской местности, со свойственной им планировочной структурой самого дома и участка и специфической номенклатурой жилых и подсобных помещений. Территории индивидуальной малоэтажной застройки отличаются регулярностью построения кварталов из одинаковых участков величиной 300…600 м^2. Для этих кварталов характерен более высокий процент застройки земельного участка домовладения и высокая степень застройки квартала, которая увеличивается за счет большей плотности домовладений на 1 га территории. Отрицательное влияние на комфортность проживания имела жесткая регламентация размеров жилого дома и подсобных строений. Например, верхние пределы как жилой, так и общей площади составляли 60 м^2.

Несмотря на экономические трудности и социальные потрясения, строительство малоэтажного жилища становится доступным решением жилищных потребностей для значительной категории горожан. Подтверждением тому является значительный рост индивидуального строительства, проходивший в послевоенный восстановительный период с середины 1940 до начала 1960 гг. На 1955—1960 гг. приходятся максимальные доли денежных вложений

населения в строительство частных жилых домов. Именно в эти годы сформировалась значительная часть индивидуальной жилой застройки Волгограда. Заполняя территориальные пустоты городских пригородов, сегодня кварталы индивидуального жилища оказались на границе капитальной многоэтажной застройки. На некоторых участках «частный сектор» примыкает к зонам районных и общегородских центров обслуживания, создавая определенные трудности их территориального расширения и развития.

Третий этап формирования городской индивидуальной застройки можно отнести к периоду рыночных преобразований в стране. В начале 90-х гг. XX в. наблюдался новый всплеск индивидуального строительства. В этот период его объемы возросли в 3,7 раза. Появлялись новые «коттеджные» поселки, которые возводились на свободных пригородных территориях города, а также в планировочной структуре различных функциональных зон города, на территориях бывших промышленных предприятий, различных рекреационных зон, дачных массивов и сельских поселений, примыкающих к городской черте. Строительство новых индивидуальных жилых домов велось одновременно с обновлением старого малоэтажного жилого фонда. Такой количественный рост по существу означал и крупный сдвиг в направленности градостроительства. В этот период решается вопрос не только размещения индивидуальной застройки, но и превращения ее в гарантированный от ликвидации тип городского жилища, постоянно обновляющийся и развивающийся, полноправно включенный в социальную, экономическую и планировочную структуру города.

Развитие новых экономических отношений, появление частной формы собственности на земельные участки способствовали качественному перерождению индивидуальной жилой застройки. Широкое распространение «коттеджного» строительства сопровождалось увеличением участков домовладения, процента их застройки, а также увеличением общей и жилой площади жилого дома, которая во многих случаях составляла 600…800 м^2 и выше. Строительство жилого дома велось, как правило, из строительных материалов, характерных для массового многоэтажного жилища (кирпич, железобетонные плиты перекрытий), на базе весьма трудоемких технологий с применением тяжелой строительной техники. Эти здания намного уступают традиционным жилым домам по рациональности использования природных ресурсов как на стадии возведения, так и, особенно, на стадии эксплуатации. В целом подобный тип жилой среды оказался доступным лишь весьма ограниченному числу наиболее состоятельных горожан.

Фактор приспособляемости к специфике региональных природно-климатических условий прослеживается на протяжении всей истории архитектуры жилища. Адаптация архитектуры жилища южного региона России не является исключением. Континентальный климат с резкими колебаниями температуры, холодной зимой и жарким засушливым летом создает серьезные проблемы при формировании качественной жилой среды. В подобных условиях архитектурно-пространственная организация жилища должна иметь гибкую функционально-планировочную структуру, которая способна эффективно реагировать на изменения погоды.

Архитектуру малоэтажного индивидуального жилища можно рассматривать как единственную форму обитания в городских условиях, сохранившую

традиции народного зодчества. Оценивая процессы адаптации традиционного жилища южных регионов России, следует отметить то, что жилище имело высокую степень согласованности с окружающей средой.

Природные условия оказали сильное воздействие на формирование основных типов хозяйственного двора южного жилища. Теплый климат и небольшое количество осадков на юге вызвали рождение открытого двора, где можно было разместить большое количество хозяйственных построек, не связывая их непосредственно с домом. Появление летней кухни с печью позволило перенести в теплый период года большую часть хозяйственных процессов, связанных с приготовлением пищи, за пределы жилого дома, снизив перегрев и обеспечив прохладу в жилых помещениях дома.

Согласованность со средой во многом определялась умелым использованием строительных материалов. Следует особо отметить то, что для народного жилища использовались только местные традиционные природные материалы: дерево, камень, камыш, солома. Недостаточное количество строительной древесины в южных степных ландшафтах определило появление глинобитных и каркосно-глинобитных построек. Конструктивная особенность такого жилища состоит в том, что несущий остов дома выполнялся из дерева, а теплоизолирующим материалом служил глинобит. В некоторых постройках для возведения наружных стен использовался сырцовый кирпич — саман. В условиях континентального климата Южного Поволжья с сухим жарким летом и холодной зимой глинобитные конструкции из-за высокой теплоинерционности обеспечивали прохладу в жилых помещениях летом и снижали теплопотери зимой.

Анализ практики самодеятельной городской застройки, характерной для юга России, показывает, что при рациональной организации планировочной структуры индивидуального жилища можно добиться его высокой энергоэкономии. На основании тщательного изучения рельефа местности, направления ветров, температурного режима, инсоляции территории застройки создавалась жилая среда, защищавшая человека от отрицательных воздействий внешней среды. К наиболее характерным приемам адаптации жилища к специфическим условиям климата и ландшафта следует отнести:

1) освоение неудобных для многоэтажного строительства территорий (холмистый ландшафт, изрезанный балками и оврагами), расположение жилых домов на южных склонах, защищающих от воздействия холодных северных ветров;

2) расположение хозяйственных построек с наветренной стороны жилого дома;

3) организация замкнутых изолированных от внешнего воздействия (ветер, пыль) дворовых пространств;

4) применение отдельно стоящих хозяйственных построек (летних кухонь);

5) устройство ветрозащитного и солнцезащитного озеленения;

6) ориентация жилых помещений на юг;

7) центральное расположение отопительной печи;

8) устройство остекленных веранд;

9) организация заглубленных в землю жилых этажей, способствующих поддержанию теплового баланса жилого здания;

10) применение наружных ставень, обеспечивающих снижение теплопотерь зимой и теплопоступлений летом [2].

Подводя итог сказанному, следует отметить, что малоэтажная индивидуальная жилая застройка, сохранившая традиции народного зодчества, имеет наиболее высокую степень социально-экологической адаптации в условиях современного города. Этот тип городского жилища имеет несравненно более высокий потенциал выживаемости. Сотрудничая с природной средой и экономично расходуя взятые у нее ресурсы, «частный сектор города» может просуществовать без внешней энергетической подпитки достаточно долго, хотя и небогато.

К сожалению, обладая огромными территориальными ресурсами, наши города на протяжении всего периода развития индивидуального жилищного строительства так и не стали территориальным «плацдармом» для создания массового производства малоэтажного жилища, как это произошло во многих странах Америки и Европы. Решить проблему доступного городского жилища в современных социально-экономических и экологических условиях невозможно без совершенствования типологии малоэтажного жилища, основанного на принципах социально-экологической адаптации. Совершенствование различных технических средств и технологических приемов, направленных на повышение адаптации жилища, даст дополнительный стимул к развитию индивидуального жилищного строительства, позволит повысить экономическую устойчивость и независимость многих малоэтажных жилых поселений, а также предоставит еще одно направление для выживания в жестких экономических и экологических условиях городской среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бочаров Ю. П., Петрова З. К.* От квадратных метров к дому на собственной земле // ACADEMIA. 2007. № 3. С. 6—11.

2. *Черешнев И. В.* Экологическая оценка современных типов городской жилой застройки (на примере г. Волгограда) // Вестник гражданских инженеров. 2006. № 2(7). С. 21—25.

1. *Bocharov Yu. P., Petrova Z. K.* Ot kvadratnykh metrov k domu na sobstvennoy zemle // ACADEMIA. 2007. № 3. S. 6—11.

2. Chereshnev I. V. Ekologicheskaya otsenka sovremennykh tipov gorodskoy zhiloy zastroyki (na primere g. Volgograda) // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2006. № 2(7). S. 21—25.

© *Черешнев И. В., Черешнева Н. В., 2013*

Поступила в редакцию
в декабре 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Черешнев И. В., Черешнева Н. В. Анализ процессов социально-экологической адаптации архитектуры индивидуального жилища в условиях г. Волгограда // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 360—364.

УДК 711.4

Н. Г. Юшкова

ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТИКА РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Впервые представлены результаты авторского исследования новейших документов государственного управления процессами развития регионов, выражающиеся в обосновании принципиальной модели территориального планирования в современных социально-экономических условиях.

К л ю ч е в ы е с л о в а: государственная политика развития регионов, планирование развития региона, инфраструктура инновационной системы региона, инновационно-активные территории, система документов.

For the first time the results of the author's research of the latest documents of state management of the region development processes being expressed in the justification of the basic model of territorial planning under modern social and economic conditions are presented.

K e y w o r d s: region development state policy, region development planning, infrastructure of innovative regional system, innovative and active territories, system of documents.

Общая направленность государственной политики последних пятнадцать лет в нашей стране формирует новый взгляд на результаты происходящих социально-экономических реформ. Одной из ведущих современных тенденций развития общества становится уравнивание градостроительства с прочими сферами рынка и высокая степень его зависимости от законодательных инициатив органов государственной власти Российской Федерации. Об этом свидетельствует современная практика работы органов государственной власти и управления, программные положения и документы Президента и Правительства Российской Федерации. В них явно прослеживается вектор инновационного развития российской экономики, регионов и территорий[1]. С точки зрения государственного управления, требования реализации такой направленности политики вызывают если и не трансформацию, то существенные изменения в структуре решений планирования развития территорий, точность их целеполагания и предметности. Соответственно внимание ученых и специалистов, исследующих проблемы перспективного развития градостроительных систем, сосредотачивается на таких аспектах, как степень адекватности отражения принципов планирования, зафиксированных в правовых документах, профессиональной градостроительной деятельности.

Вследствие радикальных социально-экономических реформ в России 1990-х гг. и полного разрушения сложившейся системы плановых решений разработка долгосрочных документов стратегического планирования развития

[1] Перечень исследуемых в рамках данной работе документов [1—32] приводится в хронологической последовательности их разработки, согласования и утверждения. Приводимый перечень документальных разработок составлен исходя из общей логики диссертационного исследования автора в соответствии с необходимостью решения сформулированных в нем задач.

территорий была прекращена. Обращение к проблеме восстановления системных подходов к процессу разработки прогнозно-программных мероприятий в новых экономических условиях осуществилось в 1995 г., когда был принят Федеральный закон «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Российской Федерации» [1]. Характерным отличием этого закона стало выделение в качестве приоритетов политики государственного управления прогнозирования как системы научно обоснованных представлений о направлениях социально-экономического развития РФ в условиях рыночного хозяйствования. Прогнозирование, в трактовке закона, является основой принятия органами законодательной и исполнительной власти Российской Федерации стратегических решений. Условием последовательности и иерархичности разработки государственных прогнозов социально-экономического развития становится новый принцип: от ориентиров государственного управления регионов к фиксированию приоритетных объектов на территории.

Новый, точнее, инновационный аспект проблемы развития территорий субъектов Российской Федерации проявился в процессе разработки проекта Федерального закона «Об инновационной деятельности и государственной инновационной политике в РФ» (1999 г.) [5]. Впервые представленное в нем понятие *государственной инновационной политики* как совокупности целей инновационной стратегии и механизмов ее реализации вошло в большое количество последовавших за этим разработок [10, 12, 15, 17, 26, 27], где оно пересматривалось и раскрывалось детальнее с учетом уточняющихся приоритетов и особенностей системы государственного управления. Выделились, в частности, такие аспекты инновационной политики, как:

структурно-функциональное усложнение системы государственного управления с обозначением особой роли политики инновационного развития страны и ее отдельных территорий (регионов);

формирование гармоничной инновационной среды;

усиление роли функции государственного регулирования, ее направленность на новые приоритетные объекты деятельности — элементы инновационной инфраструктуры;

комплиментарный (стимулирующий) подход к инновационному развитию территорий со стороны государства;

необходимость обоснования и разработки современных механизмов реализации государственной политики, адекватных происходящим изменениям в социально-экономическом устройстве общества, включая динамичные «технологические платформы»;

перенос «центра тяжести» проблем и перспектив инновационного развития на региональный уровень (формирование положений государственной инновационной политики с учетом предложений субъектов Российской Федерации и муниципальных образований).

Основываясь на обозначенном иерархическом принципе разработки решений по планированию развития территорий, была установлена логическая связь между этапами планирования (долгосрочным, среднесрочным и краткосрочным) процесса реализации политики инновационного развития и докумен-

тами, закрепляющими эти положения. Поэтому была предложена системная основа прогнозно-программно-аналитических разработок, обеспечивающая проведение государственной инновационной политики.

Прогрессивность этого закона заключается в том, что здесь впервые в отечественной практике было сформулировано понятие *«инновационная инфраструктура»* (или «инфраструктура инновационной системы») и заявлена необходимость законодательного закрепления этой социально-экономической категории[2]. Предложенные в конце 1990-х годов как гипотетические правовые положения доказали впоследствии на практике свою жизнеспособность и заложили основы построения современной концепции правового обеспечения процессов инновационного развития территорий. Инновационная система, например, остается до настоящего времени ключевым ее положением, предопределяющим принципы государственного управления в вопросах инновационной политики (проект Федерального закона «О государственной поддержке инновационной деятельности в Российской Федерации» [27]).

Элементы инновационной системы транслируют управленческие акценты через реализацию *функций управления* (*организацию*, *регулирование*, *мониторинг*)[3]. В современных условиях реализация государственной инновационной политики предполагает вариативность функций управления и их соотнесенность с приоритетами инновационного развития (инновационных процессов). Соответственно, именно эти процессы развития инновационной инфраструктуры обуславливают, прежде всего, полномочия органов государственной власти субъектов Российской Федерации, сводящиеся в итоге к оптимизации на конкретных территориях муниципальных образований инфраструктуры региональной инновационной системы.

Инновационные процессы, в свою очередь, обеспечивают практическую реализацию заданных приоритетов, заключающуюся в прогрессивных структурных преобразованиях экономики и наличии фиксированных показателей этих изменений. Результативность инновационных процессов напрямую зависит от содержания мероприятий и работ (инновационных программ, проектов и т. п.), определяемых задачами формирования инновационной инфраструктуры,

[2] На этом этапе развития в нашей стране современных экономических отношений инновационная инфраструктура только зарождается, она и определяется как некая совокупность организаций, предоставляющих услуги по созданию, освоению в производстве и (или) практическому применению новой или усовершенствованной продукции, нового или усовершенствованного технологического процесса, и рассматривается в основном как вспомогательное средство, способствующее большей эффективности решения задач в рамках, обозначенных государственной инновационной политикой.

[3] Функции управления в данной работе определяются в соответствии с установившимися в современной теории и практике управления (менеджмента) принципами организации системы управления, предопределяющими выделение отдельных функций управления в соответствии с выполняемыми ими специфическими управленческими задачами. Об этом более подробно в следующих работах автора: Юшкова Н. Г., Донцов Д. Г. Формирование алгоритма организационно-технологических основ современного градостроительства // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2009. Вып. 16 (36). С. 193—200; Юшкова Н. Г. Алгоритмы управления градостроительными процессами // Вестник гражданских инженеров. СпбГАСУ. 2010. Вып. 3 (24). С. 30—35.

степенью адекватности инновационных разработок существующему социально-экономическому контексту, а также квалификационным уровнем участников (субъектов).

«Основы политики…» (2002 г.) [10] не только логически развивают положения проекта федерального закона, но и фиксируют новые концептуальные позиции. В частности, была уточнена цель государственной политики в области развития науки и технологий — переход к инновационному пути развития страны на основе избранных приоритетов, достижимая при условии реализации поступательного процесса формирования *национальной инновационной системы* (НИС). На этапе развития общественных отношений в нашей стране только начали появляться пионерные исследования и разработки, очерчивающие круг социально-экономических проблем и раскрывающие сущность новых для отечественной практики государственного управления явлений. Здесь впервые в качестве главенствующей задачи достижения политических целей инновационной экономики и обязательного условия была установлена необходимость структурного единства формирования НИС и инновационной инфраструктуры (ИНИ).

В результате дальнейшего изучения автором особенностей структурной организации инновационной системы и ее инфраструктуры было установлено, что в «Основных направлениях…» (в отличие от федерального закона 1999 г. и «Основ…» 2002 г.) инновационная инфраструктура определяется в качестве каркасной основы (предложено автором) инновационной системы и уточняются типы образующих ее элементов. Тем самым НИС (РИС) и ИНИ трактуются как взаимосвязанные и структурно-подчиненные явления, и именно это предопределяет методологию их моделирования.

Принципы формирования инновационной инфраструктуры территорий регионов как условия существования и развития инновационной системы с этого момента приобретают статус ведущего приоритета государственного управления и определяют содержание важнейших государственных документов. Наиболее емкой в этом смысле является Стратегия развития науки и инноваций в Российской Федерации (2006) [15]. При обосновании отправных моментов концепции национальной инновационной системы в нашей стране был проведен сравнительный анализ существующих ее типов в странах мира, различающихся интенсивностью инновационных процессов и характерными признаками функционирования экономических систем. В результате анализа концептуальных подходов к формированию НИС выявились ее принципиальные схемы, отражающие поступательные этапы ее развития и характеристики состояния в современных условиях. Соответствие отечественной НИС первому этапу (ее формированию) позволило установить перспективы последующего развития НИС и сформулировать способы решения проблем, существующих на различных этапах. А такие характеристики, как неоднородность и разнотипность структур НИС доказали невозможность прямого заимствования выявленных особенностей сформированных инновационных систем и аналоговых параметров. Например, общей особенностью эффективного функционирования НИС в большинстве экономически развитых стран является их встраивание в глобальную инновационную систему, чему содействует интенсивное взаимодействие сектора исследований и разработок с предпринимательским сектором, но это качество не определяется

на начальных стадиях формирования НИС. Вместе с тем, широко дискутируемые в нашей стране вопросы теоретического моделирования структуры НИС дают основания для предположений о возможности становления НИС по стандартной схеме, с последовательной реализацией всех этапов.

Сравнительный анализ существующих принципов моделирования НИС, проведенный автором данной работы, позволил установить следующее. При определении ведущих направлений государственной инновационной политики характеристики изменений НИС на определенных этапах ее развития, а также самой социально-экономической системы не являются главными, а приоритет в этом процессе получает наделение инновационной инфраструктуры территорий признаками *каркасной основы* национальной (региональной) инновационной системы. В этом контексте на формирование инновационной инфраструктуры территории наибольшее влияние оказывает интенсивность развития отдельных ее базовых элементов (технополисов, технопарков, инновационно-технологических и инжиниринговых центров, центров трансфера технологий, бизнес-инкубаторов и т. п.) [4], и наравне с ними используемые методы государственного управления, подразумевающие высокую эффективность взаимодействия федеральных, региональных и муниципальных органов публичной власти при обеспечении функционирования элементов инновационной инфраструктуры. Последние напрямую зависят от процесса интеграции науки и образования, ее нацеленности на результативность обозначенных элементов инфраструктуры и от характера используемых современных прогрессивных механизмов управления, таких как степени их корреспонденции с конкретными объектами инновационной инфраструктуры.

Впервые сформулированные в 2006 г. такие положения процесса формирования инновационной инфраструктуры, как типологическая неоднородность и особенности «точек роста» территории регионов, их фиксация в *инновационно-активных территориях* (ИАТ), свидетельствовали о признании необходимости выявления пространственных (градостроительных) аспектов развития территорий регионов.

Актуальность именно этих вопросов, признанная на государственном уровне, вызвала к жизни разработку Концепции стратегии социально-экономического развития регионов Российской Федерации (далее КССЭРРРФ, 2005) [13]. Концепция стала квинтэссенцией наработанных к этому времени законодательных и нормативно-правовых положений, определяющих принципы государственного управления в отношении перспектив развития территорий регионов и планирования этих процессов. В то же время она приобрела признаки системы, вобрав в себя в наиболее емком и зрелом виде самые ценные понятия, появившиеся в предшествующие годы и в разных документах

[4] Среди базовых элементов инновационной инфраструктуры выделяются экономические зоны (преимущественно технико-внедренческие и промышленно-производственные), на стимулирование развития которых направлен федеральный закон «Об особых экономических зонах в Российской Федерации» (2005 г.) [14], предусматривающий разработку правовых основ их размещения в опорных регионах, с учетом их особого правового режима использования территории.

в разрозненной виде. В свое время («Об основных положениях региональной политики…», 1996 г.) пионерные и даже революционные для новой социально-экономической системы понятия «регион», «региональная политика», «программы регионального развития», «территориальное развитие» стимулировали разработку многочисленных документов [3, 4, 6, 7, 8, 9, 11], раскрывающих содержание процесса развития российских регионов.

Суммирование отдельных трактовок государственной региональной политики, данных в утвержденных и проектных документах органов государственной власти, позволяет сформулировать следующее. В современных условиях *региональная политика* представляет собой самостоятельное направление государственной политики, увязывающее региональные и федеральные приоритеты, объединяющее цели и задачи органов государственной власти по управлению политическим, экономическим и социальным развитием регионов страны, содержащее механизм их реализации, формализуемый в нормативных правовых актах, программах и иных документах, направленных на региональное развитие.

Цели и направленность политики развития территорий регионов напрямую зависят от проводимой социально-экономической политики государства. Если в начале социально-экономических реформ в нашей стране принципы государственного управления отражали преимущественно концепцию «выравнивающего развития регионов», это и определяло основные аспекты региональной политики, и именно они были материализованы в целом ряде подготавливаемых документов. Тезис о наличии прямой зависимости реализуемых на практике принципов регионального развития территорий от проводимой государственной политики в определенном социально-экономическом контексте приводит к необходимости синхронизации изменений в региональной политике в соответствующем документальном отображении. Переход к балансу централизации и децентрализации в системе государственного управления означает «симметричность» в способах решения задач государственной региональной политики [21] и делает практически несостоятельными проводимую до этого времени политику «выравнивания», даже лишает «тоталитарности» признанную, начиная с 2005 г., политику «поляризованного развития» регионов нашей страны. Как результат этого в КССЭРРРФ фактологически обосновывается необходимость пересмотра действующих принципов государственного управления в связи с достижением политикой «выравнивания» предела эффективности и потерей ею жизнеспособности. В качестве наиболее эффективного способа решения на государственном уровне обозначенных проблем регионов и фиксации «инновационных» направлений их развития в это время обосновывается *принцип многополярности* на территории страны [13] [5].

[5] Принцип многополярности, в противоположность принципу выравнивания с его жестокой привязкой к сложившимся энерго-сырьевым и финансовым зонам развития, позволяет конструировать новую структуру пространства, обусловленную появлением новых центров инновационного роста, концентрирующих человеческий и технологический потенциал. Как следствие реализации этого принципа именно регионы-«локомотивы роста» закладывают основу теоретической модели формирования нового

Уже на новом этапе эволюции современных социально-экономических отношений и в развитии рассматриваемых принципов разработана и утверждена Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (Концепция «2020») [17]. Она обозначила основные положения новой государственной политики становления инновационной экономики, неотъемлемым условием которой является реализация инновационного сценария развития. Этот сценарий, используемый как возможность динамичного развития регионов, отличается от других вариантов внедрением инновационных источников роста и технологий во все, без исключения, сферы экономической активности хозяйствующих субъектов, последовательным превышением долгосрочных целевых параметров над краткосрочными показателями. В нем приоритетно получают интенсивное развитие инновационные, прежде всего, наукоемкие сектора экономики, в которых концентрируется ресурсный потенциал территории регионов, что позволяет формировать *новые территориальные центры роста*, интенсифицирующие развитие других территорий. А как следствие этого, формируется в перспективе *территориальная структура инновационной системы* не только на основе регионов, имеющих официальный статус субъектов Федерации, но и включающих элементы градостроительных структур различных иерархических уровней, вовлеченные в систему активных социально-экономических связей страны.

Таким образом, реализация принципов многополярного развития регионов, сопряженных с формированием новых зон опережающего развития, приводит на практике к необходимости определения оптимальных параметров пространственного развития территорий в узлах образуемых инновационных инфраструктур НИС и одновременно отражает действующие в определенный момент времени приоритетные направления государственной региональной политики. Иными словами, изменение принципов социально-экономического развития регионов способно трансформировать цели (и формы) пространственного развития территорий. Именно такие концептуальные подходы к развитию регионов предопределяют методы и формы реализации региональной пространственной политики. Общий ее вектор раскрывается направленностью на сокращение уровня межрегиональной дифференциации в социально-экономическом состоянии регионов и качестве жизни и обеспечение их сбалансированного социально-экономического развития.

На основании вышеизложенного автором были выявлены предпосылки формирования *новой принципиальной схемы принятия управленческих решений по планированию развития территорий регионов*, которая, согласно результатам исследования автора, может быть описана следующей логикой. Принципы регионального пространственного развития («выравнивающего», «поляризованного», «балансового») являются следствием проводимой государственной политики. Они находят отражение в каркасе структурно-

опорного каркаса страны, а в перспективе они для соседних территорий регионов приобретают качества «девелопера». В этом процессе *пространственные* (*градостроительные*) *факторы* уравниваются в возможностях с экономическими, геоэкономическими факторами, а также факторами национальной безопасности.

пространственной организации территории, образованной совокупностью регионов «локомотивов роста», — инфраструктуре инновационной системы региона. В рамках «опорных регионов» выделяются «точки роста», различающиеся структурой и интенсивностью инновационных процессов, благодаря чему конфигурация пространства инновационной системы региона становится динамичной и подвижной, а концентрация инновационного потенциала обуславливает перспективное образование ее новых элементов.

Новая, выявленная автором данной работы, инфраструктурная организация территории региона, обуславливает необходимость ее адекватного отражения в документах территориального планирования развития региона[6].

Кардинальное изменение задач территориального планирования развития региона требует совершенствования механизма реализации региональной (инфраструктурной) политики, что, в свою очередь, отражается на концепции государственного управления регионами. Оптимизация системы государственного управления регионами базируется на использовании приоритетных функций управления. В зависимости от общей социально-экономической ситуации ее функции вовлекаются в систему управления с различной степенью функциональной активности, при этом в разных временных периодах отмечается переменный характер превалирования функций планирования, организации, регулирования и мониторинга.

Начиная с 2000-х годов (2000 г. [7], 2002 г. [11]) и по настоящее время власть регулирует территориально-пространственные интересы участников деятельности посредством реализации политики, целенаправленно ограничивающей возможности субъектов рынка, и выработки вариабельных управленческих решений, адекватных экономической системе. А с возрастанием актуальности вопросов обеспечения устойчивого и сбалансированного функционирования региональных систем, направленного на улучшение качества и повышение уровня жизни населения, значение регулирующей функции государства возрастает. Решения по обоснованию мер регулирующего воздействия на экономические и социальные процессы [2, 3, 4, 6, 7, 8, 11] сосредоточены на региональном уровне власти, но в то же время они требуют постоянной корреспонденции с решениями федерального уровня[7], что позволяет

[6] Согласно материалам Концепции стратегии социально-экономического развития регионов Российской Федерации (2005 г.) и Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года (2008 г.) в качестве таких перспективных документов территориального планирования представлена генеральная схема пространственного развития РФ.

[7] В современной практике отечественного градостроительства подобных примеров до 2004 г. не было выявлено. Положения новой редакции Градостроительного кодекса РФ 2004 г. стали прямо указывать на необходимость установления взамозависимостей процедур разработки документов территориального планирования и документов социально-экономического (стратегического) планирования. С этого момента органы публичной власти (в том числе и органы, уполномоченные в области архитектуры и градостроительства) ряда регионов Российской Федерации практически буквально воспроизводят данное требование в своей практической деятельности. К разряду примеров подобного рода могут быть отнесены следующие субъекты различных федеральных округов Российской Федерации: в ЦФО — Белгородская, Брян-

не только очертить перспективы в общей схеме, но и установить примерные количественные параметры социально-экономического развития территории.

Регулирующие приоритеты развития регионов, определяемые государственной политикой на новом этапе развития социально-экономических отношений в нашей стране, усиленные включением пространственного аспекта, вызвали к жизни появление Указа Президента Российской Федерации «Об основах стратегического планирования в Российской Федерации» 2009 [19]. К этому моменту жизнеспособность федерального закона 1995 г., дающего правовые основания для реализации принципов стратегического планирования, снизилась. В то же время полноценная и адекватная новым условиям система законодательных и подзаконных актов, регулирующая на федеральном уровне процессы развития территорий регионов, не сформировалась. В качестве обоснования новых методико-правовых разработок выступали немногочисленные документы, датируемые 2002 г. и даже 1996 г. Среди них проект федерального закона «Об основах государственного регулирования регионального развития в Российской Федерации» [3] до конца 2000-х гг. оставался практически единственным документом, положившим начало совершенствованию принципов государственного управления в направлении интеграции социально-экономических и пространственных процессов развития регионов.

Стратегическое планирование, согласно Указу 2009 г. [19], представлено совокупностью основных направлений, способов и средств достижения стратегических целей устойчивого развития Российской Федерации и обеспечения ее национальной безопасности. Четкое обозначение устойчивых связей компонентов стратегического планирования федерального уровня (концепции и программ) и уровня субъекта Федерации (программа социально-экономического развития субъекта) позволило совершенствовать требования к документам, разрабатываемым на уровне региона, показаны принципиальные направления их «встраивания» в общую систему планирования.

Реальные проблемы регионов, новые стратегические задачи планирования их развития на уровне субъектов РФ, вызванные необходимостью практической реализации Концепции «2020» стали дополнительными аргументами в пользу детализации положений Указа, но уже в формате проекта Федерального закона [20]. Этому способствовал и «встречный» со стороны

ская, Ивановская, Курская, Орловская, Рязанская, Смоленская, Тамбовская и Ярославская области; в СЗФО — республики Карелия и Коми, Архангельская, Вологодская и Псковская области; в ЮФО — республика Калмыкия и Астраханская область; в ПФО — республики Башкортостан, Марий Эл и Удмуртия, а также Пермский край и Кировская область; в УФО — Тюменская область; в СФО — республика Хакасия и Забайкальский край; в ДФО — Амурская область и Еврейский автономный округ. В то же время целый ряд примеров свидетельствует о наличии прямо противоположной тенденции, показывающей игнорирование разработчиками документов территориального планирования субъектов РФ приоритетных позиций документов стратегического планирования уровней Российской Федерации и регионов РФ. Среди них документы территориального планирования Калининградской области (СЗФО); республик Ингушетия, Северная Осетия-Алания, Карачаево-Черкессия (ЮФО); Ульяновской области (ПФО), а таже респеблики Бурятия и Алтайского края (СФО).

субъектов федерации процесс, инициируемый министерством регионального развития РФ, связанный с решением проблемы разработки стратегических документов развития территории регионального уровня на основе единых (стандартных) требований[8].

Документы территориального планирования Российской Федерации и субъектов Российской Федерации, согласно проекту федерального закона 2009 [20], правовых положений указа 2009 [19], разрабатываются в целях пространственного отображения стратегий социально-экономического развития нашей страны, регионов и отдельных территорий, а также отраслевых документов стратегического планирования и целевых программ. Таким образом, внедрение территориального планирования в систему стратегического планирования, наделение новым смыслом и содержанием документацию территориального планирования развития территорий устанавливает взаимозависимости федерального и регионального уровней принятия проектно-управленческих решений в системе государственного управления. Данный принцип, заключающийся в обязательности корреспонденции и синхронизации документов территориального планирования как Российской Федерации, так и ее субъектов с документами стратегического планирования, получает преемственное развитие в отдельных законопроектах на протяжении последующих лет. В обновленном и систематизированном виде правовые положения, раскрывающие принцип синхронизации (синтеза) градостроительных и социально-экономических компонентов системы стратегического планирования, представлены в проекте федерального закона «О государственном стратегическом планировании» 2012 [31] [9]. Благодаря внедрению этого принципа в систему стратегического планирования, государственное управление, в целом, получает новый эволюционный вектор, а регламентация процессов развития регионов, позволяющая целенаправленно решать задачи повышения качества жизни населения, влечет за собой рост российской экономики и обеспечение безопасности страны.

Именно эти завоевания проектов федерального закона послужили мощным стимулом для внесения кардинальных изменений в содержание Концеп-

[8] Утверждение требований к стратегии социально-экономического развития субъекта РФ (приказ министра регионального развития Российской Федерации от 24.02.2007 г. № 14) означало внедрение количественного описания показателей состояния региона, фиксируемого в стратегии социально-экономического развития субъекта РФ как документе государственного управления, синтезирующем и долгосрочные приоритеты, и видоизменяющие задачи региональной политики.

[9] Качественно новыми положениями проекта федерального закона в редакции 2012 г. становится установление прямых и обратных связей процесса собственно территориального планирования и корреспондирующихся с ним видов деятельности по обеспечению стратегического планирования развития территорий в целом. Дополнительные новации данного документа заключаются в выявлении более жестких зависимостей содержания документов территориального планирования (на всех иерархических ступенях их разработки) от *приоритетов регионального развития*, закрепдяющих основные мероприятия в отношении конкретных форм развития территорий и механизмы, в частности в стратегиях регионального развития Российской Федерации.

ции совершенствования региональной политики в Российской Федерации [23]. Характерно, что при всех различиях положений этих документов, в вопросах совершенствования системы стратегического планирования развития регионов они были тождественны в признании необходимости создания единой системы стратегического планирования, предполагающей общность целей и задач развития Российской Федерации, ее субъектов и муниципальных образований. Как наиболее эффективное управленческое решение, с одной стороны, и как средство идентификации инновационных предположений Концепции 2020, с другой стороны, определены (в разрезе федеральных округов) *зоны опережающего экономического роста*, на которых в долгосрочном периоде прогнозируется развитие перспективных для каждого субъекта Российской Федерации экономических специализаций. Закономерным результатом реализации такого подхода представляется приобретение регионами в перспективе инновационных качеств развития и его адекватного отражения в пространственной конфигурации территории. Подобные планируемые пространственные ориентиры развития регионов формируют единство принципов разработки документации социально-экономического и градостроительного планирования и обуславливают необходимость синхронизации положений планирования развития территорий в соответствующих документах.

Это кардинально изменяет документы территориального планирования, в основном, благодаря существенному расширению требований к их разработке, вызываемых становлением инновационной экономики (как то: планируемое размещение объектов инновационной инфраструктуры), не исключающими при этом обязательных требований Градостроительного кодекса РФ. Ответы на запросы требований закрепляются одновременно в федеральных (долгосрочных) целевых программах, в рамках которых выделяются в отдельную группу федеральные целевые программы территориального развития, которые расшифровывают мероприятия по созданию инфраструктурных объектов и конкретизируют формы государственной поддержки реализации экономического потенциала российских регионов.

Концепции совершенствования региональной политики в Российской Федерации (в первой редакции) в то же время не смогла учесть принципиальных положений Концепции 2020 в части направлений социально-экономического развития регионов, нацеленных на реализацию в нашей стране инновационного сценария. Данное расхождение способствовало выработке новых форм взаимодействия существующих систем стратегического и территориального планирования регионального развития. В то же время законодательно закрепленная Градостроительным кодексом РФ (2004 г.) подчиненность документов территориального планирования разработкам стратегического планирования их разработчиками поддерживалась слабо[10]. Степень вовлеченности градостроительной деятельности как сферы экономической активности в рыночные отношения были ограничены формальными дейст-

[10] Данный вывод базируется на авторском исследовании материалов библиографических источников, периодической печати и Интернет-ресурсов, представленных в тексте диссертационного исследования.

виями правовых положений кодекса. В Концепции, развивающей положения федерального закона (2009 г.), предложены способы достижения структурного единства систем государственного стратегического планирования регионального развития и территориального планирования, посредством формирования новой системы их разработки, предполагающей в качестве основы управленческих решений и соответствующих им документов развития территорий разных уровней наличие принципов координирования, взаимосогласования и взаимоувязки.

Как результат ее реализации доказывается состоятельность «возвратно-поступательного» подхода к осуществлению системы планирования развития территории. Главным элементом данной системы становятся документы территориального планирования (Российской Федерации и регионов Российской Федерации), взаимодействующие с документами стратегического планирования аналогичных уровней. Акцент на этой функциональной связи совершенствует существующие принципы государственного управления развитием регионов. Если во всех исследуемых в работе документах и обнаруживаются возможности и перспективы неформального «участия» документов территориального планирования в системе государственного управления, то их роль заметно снижена. В Концепции (2010 г.), напротив, признается первостепенное значение именно этих документов. В целом это подводит к изменению алгоритма решений государственной власти по планированию процессов развития территории региона: уравнивание в правах документов территориального и стратегического планирования означает на практике «симметричность» концептуальных подходов в них и синхронизацию методологических положений, задающих содержание и порядок разработки документов.

В развитии данных положений об обязательности единой логики построения системы градостроительных документов и стратегических документов предполагается возможность осуществления описываемых ими социально-экономических мероприятий в прогнозируемом состоянии, выраженном адекватностью профессиональной градостроительной деятельности потребностям региональных экономик в территориально-пространственном аспекте. Только при наличии такой системы возможно формирование и последующее функционирование территориально-пространственной основы для реализации государственной политики социально-экономического развития регионов. Соответственно принцип преемственности распространится не только на формат, структуру и содержание документов, но также на процедуры их разработки и согласования, на инструменты их реализации.

В перспективе данный подход способен оптимизировать практическое решение задач формирования инновационной инфраструктуры региона. В частности, установление вектора развития экономики региона «от территории» означает последующую реалистичность и реализуемость намеченных мероприятий, следствием чего является принятие более обоснованных решений по созданию объектов (элементов) инновационной инфраструктуры объектов Российской Федерации. Наличие и функционирование подобной единой документальной системы стратегического и территориального планирования должны позволить им органично вписаться в систему приоритетов долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации [17] и основных направлений деятельности Правительства Российской Федерации [18].

Смысловое и структурное единство документов социально-экономического и градостроительного планирования, обозначенное в проекте Федерального закона (2009 г.) и в Концепции совершенствования региональной политики в Российской Федерации (2008—2009 гг. и 2010 г.), получило свое логическое продолжение в Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года (Стратегия «2020») [24, 25]. Положения новой государственной политики инновационной экономики, обозначенные в ранее разработанных документах, в Стратегии представлены в системном единстве отдельных компонентов.

Сценарий инновационного развития экономики, рассматриваемый уже с новых позиций региональной политики, выдвигает на первый план ее территориальные аспекты. Инновационная стратегия на региональном уровне координирует усилия по ускоренному развитию элементов инновационной инфраструктуры и используется как возможность практической реализации приоритетных инновационных объектов. Как следствие этого среди российских регионов выделяется группа передовых, наиболее *инновационно-активных регионов* с развитой инновационной инфраструктурой, концентрирующих усилия и координирующих инвестиционные вложения в отдельные компоненты инфраструктуры[11].

Появление проекта Федерального закона «Об основах организации разработки и реализации государственной региональной политики Российской Федерации» 2010 [21] в этих условиях рассматривается как способ решения проблем регионов. В нем представлен новый подход к управлению региональным развитием через снижение межрегиональной социально-экономической асимметрии (диспропорций регионального развития), соответственно, уточнено понятие регионального развития, трактуемого как согласованное друг с другом изменение региональных показателей, характеризующих социально-

[11] Принадлежность отдельных субъектов РФ к данной группе регионов устанавливалась посредством аналитического сравнения результатов изучения новейшей отечественной практики разработки документов территориального планирования и мониторинга процессов инновационного развития регионов, а также определения количественных и качественных характеристик этих процессов. Как следствие проведенного анализа было установлено, что в настоящее время наличие инновационных объектов как в документах территориального планирования, так и реализующихся на практике зафиксировано в следующих градостроительных системах федеральных округов РФ: в Воронежской, Калужской, Липецкой, Московской, Тверской областях (ЦФО); Ленинградской, Мурманской областях и в Санкт-Петербурге (СЗФО); в республике Адыгея (ЮФО); Ставропольском крае (СКФО); республиках Татарстан и Чувашия, в Нижегородской и Самарской областях (ПФО); Свердловской области (УФО); республике Алтай, Кемеровской и Омской областях (СФО); Приморском и Хабаровском краях (ДВФО). Наряду с этой тенденцией наибольшие предпосылки к закреплению процессов инновационного развития территорий регионов в документах территориального планирования в ближайшей перспективе имеют градостроительные системы, характеризующиеся инициированием практической реализации объектов инновационного развития (элементов инновационных инфраструктур). Среди них: Калининградская область (СЗФО); Краснодарский край (ЮФО); республики Дагестан, Ингушетия, Северная Осетия-Алания (СКФО); Ульяновская область (ПФО); Челябинская область (УФО); республики Бурятия и Алтай, Новосибирская, Иркутская и Томская области (СФО).

экономическое состояние региона (регионов). С учетом этого пересматриваются принципы разработки и реализации государственной региональной политики посредством согласования общегосударственных и региональных интересов с использованием прогрессивных механизмов управления.

В вопросах региональной политики проект закона фиксирует внимание на обоснование механизмов ее практической реализации как приоритетной задачи современного развития общества. В составе механизмов предусматриваются такие инструменты, как единая система документов государственной региональной политики, одним из ведущих требований к которой становится координация принципов планирования процессов градостроительного и социально-экономического развития через систему закладываемых в них параметров, обеспечивающих сопоставимость и возможность их взаимной корректировки. Как следствие реализации этих принципов прогнозируется системность принимаемых проектно-управленческих решений.

Анализ современного опыта регионального развития позволил выявить появление механизмов нового типа, оптимально сочетающихся с концепцией государственного управления процессами территориального развития, способных учитывать интересы и потенциалы различных регионов страны, увязывая их между собой, а также с федеральным центром. С внедрением механизмов, реализующих документальное обеспечение процессов развития регионов, связаны большие ожидания. Они основаны на их способности (при наличии оптимальной системы их разработки и функционирования) обеспечивать дополнительные стимулы к повышению эффективности деятельности органов государственной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления по развитию территорий. Несмотря на прогрессивность самого подхода к поиску прогрессивных механизмов управления процессами регионального развития, предложенные в законе способы решения конкретных проблем субъектов Российской Федерации, как правило, *федеральные целевые программы*, оставались стандартными.

Одним из принципиальных положений проекта закона является установление в качестве приоритетов государственной региональной политики особых объектов управления — территорий инновационного развития. Выделение их в новую типологическую группу территорий с особым статусом означает воспроизведение параметрического (т. е. пространственного) подхода к государственной политике развития регионов.

Наиболее ярким примером воспроизведения концепции «территорий инновационного развития» в ее практическом выражении является инновационный центр «Сколково», где создается беспрецедентный правовой режим, снижающий административные барьеры и налоговое бремя для компаний-резидентов, являющиеся следствием реализации правовых положений федерального закона, персонифицированного для этого объекта [22]. В самой ближайшей перспективе можно прогнозировать то, что выявленную в процессе практического осуществления этого закона обусловленность задач планирования развития территорий особенностями режима их функционирования распространится на объекты, относящиеся к этой типологической группе.

Необходимость обоснования и формализации управленческих решений, содержащих мероприятия по структурным преобразованиям территорий этого типа, вызвала к жизни появление нового механизма — государственных программ Российской Федерации [25]. Государственные программы не рассматривались как альтернатива федеральным целевым программам, как их логическое продолжение или как некий модернизированный вариант, а позиционировались как новая система управленческих решений, объединяющих слои-подсистемы, включающие в себя федеральные целевые программы и подпрограммы, ведомственные целевые программы и отдельные мероприятия органов государственной власти. Другими словами, это система мероприятий (взаимоувязанных по задачам, срокам осуществления и ресурсам) и инструментов государственной политики, обеспечивающих в рамках реализации ключевых государственных функций достижение приоритетов и целей государственной политики. Но одновременно это и документ, определяющий цель, задачи, результаты, основные направления и инструменты государственной политики. Весь этот комплекс опций направлен на достижение целей и реализацию приоритетов, установленных Концепцией 2020, а также на реализацию в установленные сроки крупномасштабных мероприятий общенационального или международного значения.

Несмотря на то, что принятие Правительством РФ постановления об утверждении порядка разработки, реализации и оценки эффективности государственных программ РФ приходится на середину 2010 г., в Стратегии инновационного развития России (2011 г.) его правовые новеллы не находили своего отражения. Практически до сегодняшнего дня программные механизмы не получают необходимого развития, воспринимаясь по-прежнему как перспективные, но слабо сочетающиеся с уже существующими правовыми формами. Разработка федерального закона «О государственном стратегическом планировании» 2012 [31] в корне изменила эту ситуацию благодаря признанию ведущей роли госпрограмм в системе государственного управления, их способностью соответствовать приоритетам социально-экономической политики, определенными стратегией социально-экономического развития субъекта Российской Федерации на долгосрочный период и стратегиями социально-экономического развития федеральных округов и отдельных территорий.

Анализ имеющихся законодательных разработок дает основание для признания состоятельности в современных условиях таких механизмов государственного управления, как государственно-частное партнерство (ГЧП) — базовой основы для продвижения инновационных идей государственной политики. Усиление стратегической линии ГЧП означает необходимость ее акцентирования на планирование процессов инновационного развития территорий, а также обоснование механизмов реализации этих решений [29].

В качестве расшифровки положений законодательных документов, разработанных до 2011 г., и средства ликвидации возникших несоответствий и коррекции методических основ разработки государственных программ Правительством РФ был утвержден перечень государственных программ Российской Федерации. Одно из главенствующих мест в перечне заняла программа «Экономическое развитие и инновационная экономика», направленная на совершенствование системы государственного стратегического управления

в контексте современной государственной инновационной политики. Объективными причинами разработки этой государственной программы стала ревизия результатов инновационного развития регионов страны в части создания инновационной системы и ее элементов, оценки эффективности их государственного финансирования и, как следствие этого, — не выраженность модернизационных процессов, структурных изменений и диверсификации экономики.

Структурирование программы из подпрограмм, среди которых выделяются такие, например, как «Совершенствование системы государственного стратегического управления» и «Стимулирование инноваций», — способ решения существующих проблем развития территорий. Сформулированные в рамках подпрограмм мероприятия направлены на превращение инноваций в ведущий фактор развития во всех секторах экономики, формирующий ее новую технологическую базу, а также на достижение практического результата — сбалансированного пространственного развития ее конкретных территорий. Активное использование механизма разработки программ прогнозируемо совершенствует систему государственного управления по осуществлению задач государственной инновационной политики.

Зависимость эффективности процесса совершенствования системы государственного управления от характера разрабатываемых и внедряемых программных механизмов зафиксирована в Указе Президента РФ «О долгосрочной государственной экономической политике», подписанном В. В. Путиным сразу же после вступления его в эту должность в 2012 г. [28]. Детальное изучение документа позволяет выявить наличие прямых связей между приданием государственным программам статуса приоритетного механизма государственного управления и гарантиями достижения территориями целевых показателей их развития. В этих условиях государственные программы развития территорий являются адаптером происходящих в границах регионах изменений показателей социально-экономических систем. Кроме того, этот документ еще больше усиливает акценты стратегического планирования процессов социально-экономического развития, увязывая их с основными направлениями деятельности Правительства РФ и содержанием прогноза долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г.

Суммируя вышеизложенное, можно сделать вывод о заметном эволюционировании положений современного отечественного законодательного обеспечения процессов инновационного развития территорий (рис. 2). Среди явных приоритетов инновационной политики последних лет выделяются пилотные проекты создания «инновационного лифта» и «технологических платформ»[12] в рамках мероприятий по развитию национальной (и региональ-

[12] «Инновационный лифт», «технологические платформы» — термины, используемые для описания и характеристики процессов инновационного развития территорий регионов в целом и для раскрытия специфики формирования национальной и региональных инновационных систем. Их появление связано с разработкой Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года, определившей стратегические приоритеты формирования новой структуры государственного управления, в частности, в отношении региональных систем. В более поздних концептуальных и нормативно-правовых разработках, относящихся, в ос-

ной) инновационной системы. Как наиболее близкие по времени и как наиболее актуальные задачи политики инновационного развития территорий с этих позиций представляется создание новых механизмов реализации политики, способствующих большей адресности и территориальной привязке инновационных процессов.

В профессиональном архитектурном сообществе до настоящего времени устойчиво существует точка зрения о том, что правовые основы градостроительной деятельности формируются действующим законодательством — Градостроительным кодексом РФ. Несовершенство современного градостроительства списывается на ограниченное количество законодательных инициатив и недостаточно высокое их качество, а альтернатив в данном вопросе не предложено.

Исследование данной проблемы сводится к следующим результатам. Выявлены особенности и закономерности формирования системы правого обеспечения, образованной тремя секторами (блоками): государственное управление, региональное развитие, образование (рис. 2). Документы, сгруппированные в блоки, оказывают опосредованное воздействие друг на друга, а общность правовых принципов позволяет осуществлять их функциональные взаимодействия. В общей динамике развития этой системы выделяются три стадии формирования правового пространства инновационного развития региона (ППИРР), различающихся степенью инновационной зрелости его компонентов. Так, например, третий, современный, этап характеризуется наивысшей концентрацией правовых положений инновационного развития региона и наибольшим его наполнением территориальными аспектами.

«Изоляция» градостроительства от взаимодействия с компонентами ППИРР в современных условиях проявляется и в том, что правовые, в том числе и инновационные, положения не находят отражения ни в действующем градостроительном законодательстве, ни в каких бы то ни было иных подзаконных актах, определяющих принципы функционирования территориально-пространственных систем. В то же время очевидность векторного, направленного, характера ППИРР, определяющего формы реализации градостроительных решений, требует адаптации его инновационных положений к системе градостроительной деятельности и особенно к территориальному планированию, способному наилучшим образом транслировать их в действующую систему, описываемую предлагаемой принципиальной авторской моделью планирования развития территорий регионов в условиях современной государственной политики (рис. 3).

новном, к 2011—2013 годам, начиная со Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года (2011 г.), данные термины получают дальнейшее развитие, определяясь как ведущие факторы инновационного развития территорий.

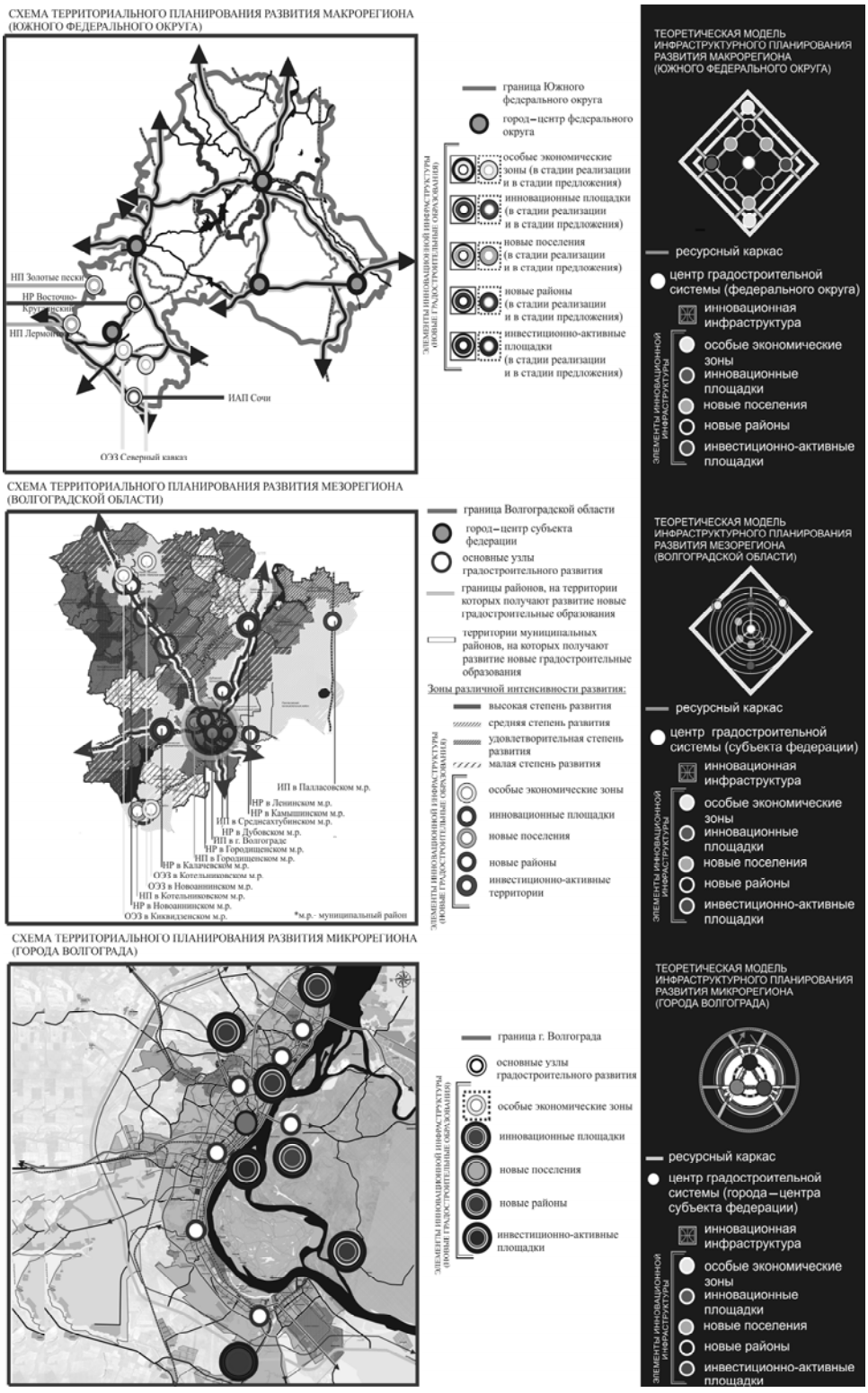


Рис. 1. Модель инфраструктурного планирования региона на примере документов территориального планирования развития Волгоградской области

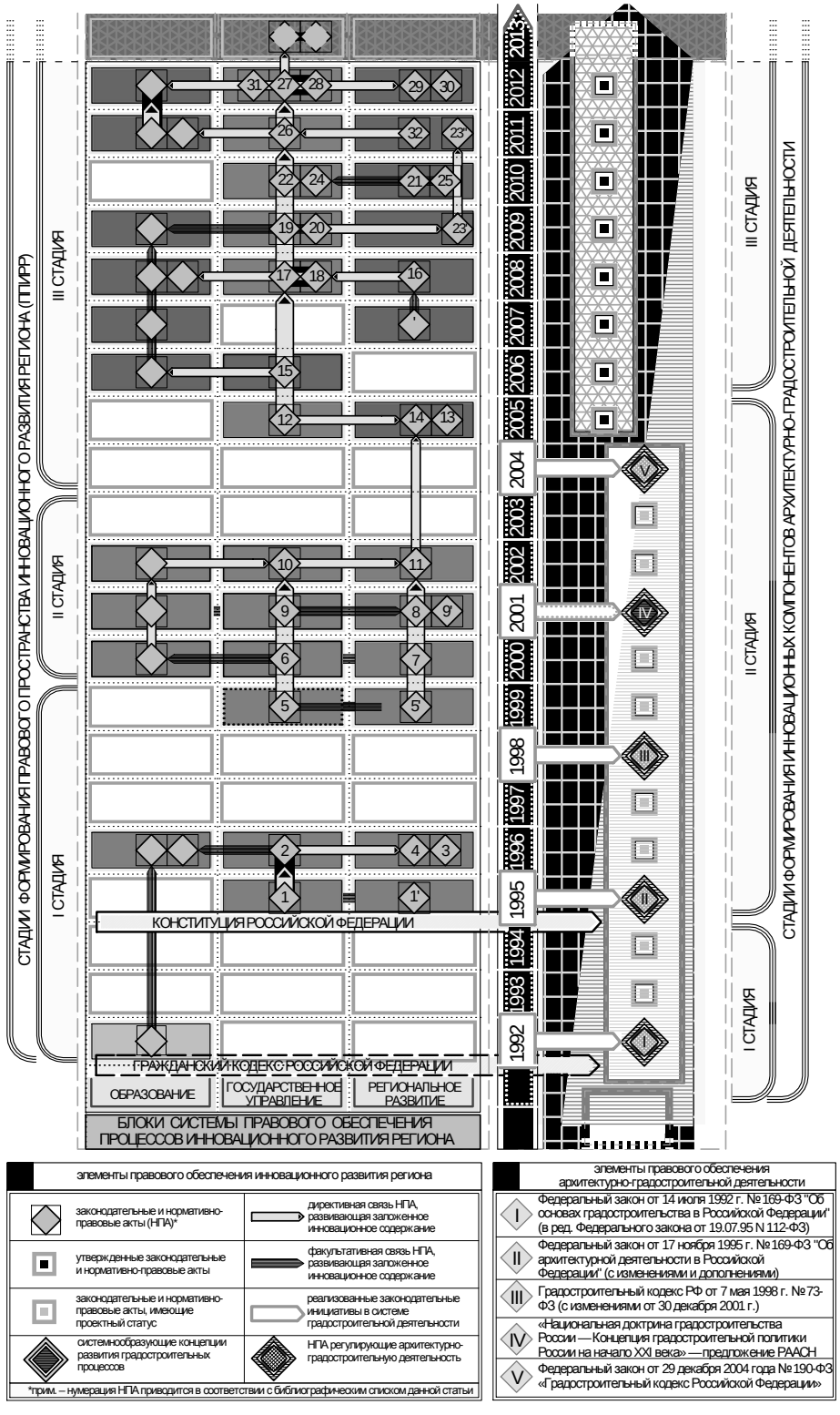


Рис. 2. Проблематика взаимосвязи градостроительства и современной системы государственного управления

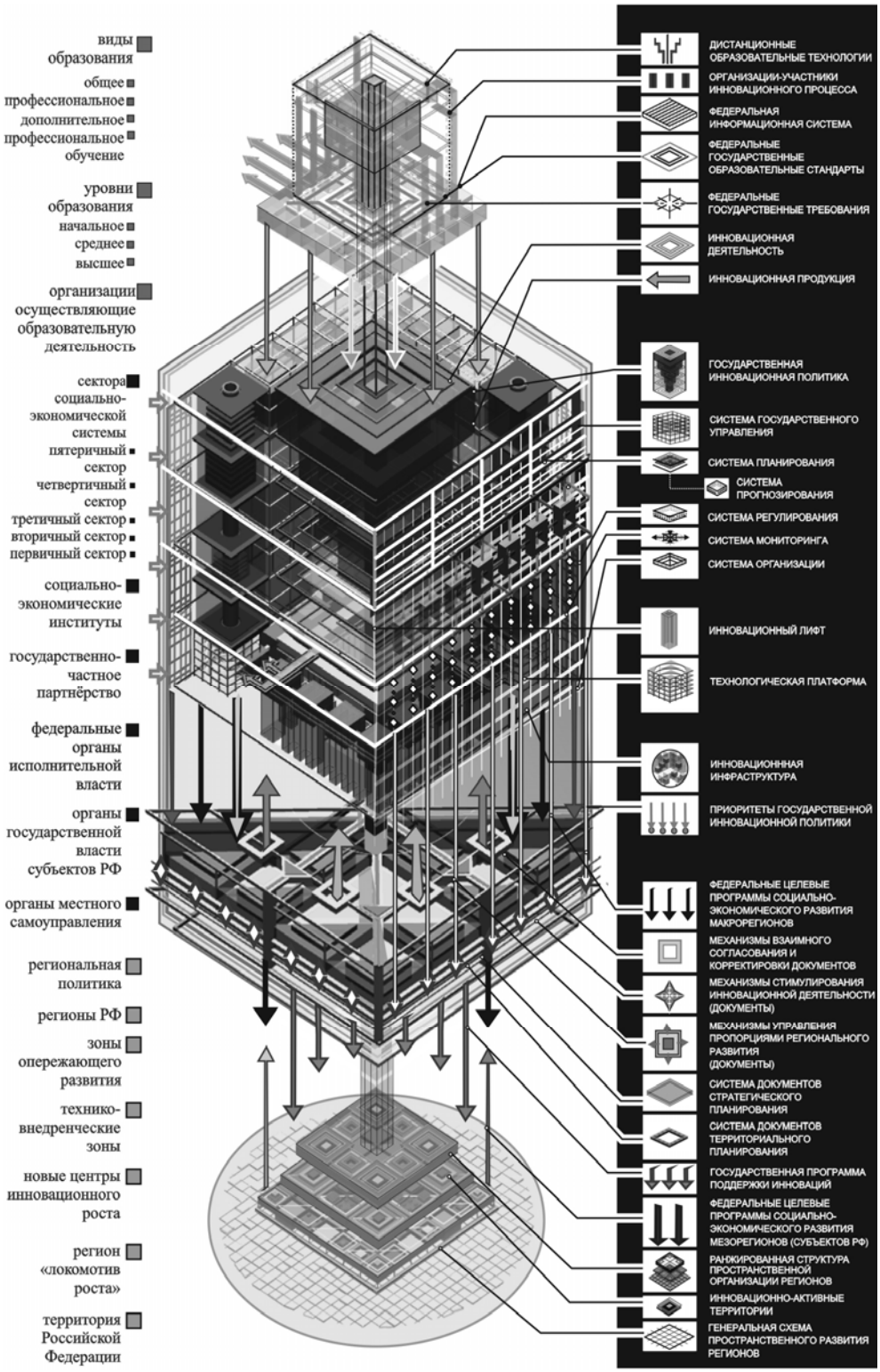


Рис. 3. Принципиальная модель планирования развития территории регионов в условиях современной государственной политики

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития РФ : федеральный закон от 20 июля 1995 г. № 115-ФЗ.

2. Об основных положениях региональной политики в Российской Федерации : указ Президента Российской Федерации от 3 июня 1996 г. № 803.

3. Об основах государственного регулирования социально-экономического развития Севера Российской Федерации : федеральный закон от 19 июня 1996 г. № 78.

4. О совершенствовании механизма государственной поддержки развития регионов Российской Федерации : постановление Правительства Российской Федерации от 7 декабря 1996 г. № 1450 (в ред. Постановления Правительства РФ от 21.07.1997 № 914).

5. Об инновационной деятельности и государственной инновационной политике в РФ : проект федерального закона. 1999.

6. О полномочном представителе Президента Российской Федерации в федеральном округе : указ Президента Российской Федерации от 13 мая 2000 г. № 849.

7. Об основах государственной региональной политики, порядке ее разработки и реализации : проект федерального закона. 2000.

8. О федеральных целевых программах регионального развития : проект федерального закона. 2001.

9. О Федеральной целевой программе «Сокращение различий в социально-экономическом развитии регионов Российской Федерации» (2002—2010 г. и до 2015 г.) : постановление Правительства РФ от 11.10.2001. № 717 (ред. от 22.06.2006, с изм. от 20.10.2006).

10. Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу от 30 марта 2002 г. Пр-576. Утв. Президентом Российской Федерации В. В. Путиным.

11. Об основах государственного регулирования регионального развития в Российской Федерации : проект федерального закона. 2002.

12. Основные направления политики Российской Федерации в области развития инновационной системы на период до 2010 года. Утв. письмом Правительства РФ от 05 августа 2005 г. № 2473п-П7.

13. Концепция стратегии социально-экономического развития регионов Российской Федерации / Министерство регионального развития Российской Федерации, 2005.

14. Об особых экономических зонах в Российской Федерации : указ Президента Российской Федерации от 22 июля 2005 г. № 116.

15. Стратегия развития науки и инноваций в Российской Федерации на период до 2015 г. Утв. межведомственной комиссией по научно-инновационной политике (протокол от 15 февраля 2006 г. № 1).

16. Основные параметры прогноза социально-экономического развития РФ на период до 2020—2030 годов : приложение к «Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020» : проект. 2008.

17. Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года. Утв. распоряжением Правительства РФ от 17.11. 2008 г. № 1662-р.

18. Основные направления деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2012 года. Утв. распоряжением Правительства РФ от 17.11. 2008 г. № 1663-р.

19. Об основах стратегического планирования в Российской Федерации : указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 536.

20. О государственном стратегическом планировании в Российской Федерации : проект федерального закона. 2009.

21. Об основах организации разработки и реализации государственной региональной политики Российской Федерации : федеральный закон (проект). 2010.

22. Об инновационном центре «Сколково» : федеральный закон № 244-ФЗ ; указ Президента Российской Федерации от 22 июля 2005 г. № 116.

23. Концепция совершенствования региональной политики в Российской Федерации : проект. 2009 — 2010 гг.

24. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года проект / Министерство экономического развития Российской Федерации, 2010.

25. Об утверждении порядка разработки, реализации и оценки эффективности государственных программ Российской Федерации : постановление от 2 августа 2010 г. № 588 (в ред. Постановления Правительства РФ от 21.05.2012 № 499).

26. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года : Распоряжение Правительства РФ 08 декабря 2011 г. № 2227.

27. О государственной поддержке инновационной деятельности в Российской Федерации: проект федерального закона 2012.

28. О долгосрочной государственной экономической политике : указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 596.

29. Об основах государственно-частного партнерства в субъектах Российской Федерации и муниципальных образованиях и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федеральный закон (проект). 2012.

30. Экономическое развитие и инновационная экономика : проект государственной программы Российской Федерации. 2012.

31. О государственном стратегическом планировании : проект федерального закона. 2012.

32. Стратегия-2020: Новая модель роста — новая социальная политика : промежуточный доклад о результатах экспериментальной работы по актуальным проблемама социально-экономической стратегии России на период до 2020 года. 2011.

1. O gosudarstvennom prognozirovanii i programmakh sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya RF : federal'nyy zakon ot 20 iyulya 1995 g. № 115-FZ.

2. Ob osnovnykh polozheniyakh regional'noy politiki v Rossiyskoy Federatsii : ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 3 iyunya 1996 g. № 803.

3. Ob osnovakh gosudarstvennogo regulirovaniya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Severa Rossiyskoy Federatsii : federal'nyy zakon ot 19 iyunya 1996 g. № 78.

4. O sovershenstvovanii mekhanizma gosudarstvennoy podderzhki razvitiya regionov Rossiyskoy Federatsii : postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 7 dekabrya 1996 g. № 1450 (v red. Postanovleniya Pravitel'stva RF ot 21.07.1997 № 914).

5. Ob innovatsionnoy deyatel'nosti i gosudarstvennoy innovatsionnoy politike v RF : federal'nogo zakona proekt. 1999.

6. O polnomochnom predstavitele Prezidenta Rossiyskoy Federatsii v federal'nom okruge : ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 13 maya 2000 g. № 849.

7. Ob osnovakh gosudarstvennoy regional'noy politiki, poryadke ee razrabotki i realizatsii : federal'nogo zakona proekt. 2000.

8. O federal'nykh tselevykh programmakh regional'nogo razvitiya : federal'nogo zakona proekt. 2001.

9. O Federal'noy tselevoy programme «Sokrashchenie razlichiy v sotsial'no-ekonomicheskom razvitii regionov Rossiyskoy Federatsii» (2002—2010 g. i do 2015 g.) : postanovlenie Pravitel'stva RF ot 11.10.2001. № 717 (red. ot 22.06.2006, s izm. ot 20.10.2006).

10. Osnovy politiki Rossiyskoy Federatsii v oblasti razvitiya nauki i tekhnologiy na period do 2010 goda i dal'neyshuyu perspektivu ot 30 marta 2002 g. Pr-576. Utv. Prezidentom Rossiyskoy Federatsii V. V. Putinym.

11. Ob osnovakh gosudarstvennogo regulirovaniya regional'nogo razvitiya v Rossiyskoy Federatsii : federal'nyy zakona proekt. 2002.

12. Osnovnye napravleniya politiki Rossiyskoy Federatsii v oblasti razvitiya innovatsionnoy sistemy na period do 2010 goda. Utv. pis'mom Pravitel'stva RF ot 05 avgusta 2005 g. № 2473p-P7.

13. Kontseptsiya strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regionov Rossiyskoy Federatsii / Ministerstvo regional'nogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii, 2005.

14. Ob osobykh ekonomicheskikh zonakh v Rossiyskoy Federatsii : ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 22 iyulya 2005 g. № 116.

15. Strategiya razvitiya nauki i innovatsiy v Rossiyskoy Federatsii na period do 2015 goda : utv. mezhvedomstvennoy komissiey po nauchno-innovatsionnoy politike (protokol ot 15 fevralya 2006 g. № 1).

16. Osnovnye parametry prognoza sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya RF na period do 2020—2030 godov : prilozhenie k «Kontseptsii dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya RF na period do 2020» : proekt. 2008.

17. Kontseptsiya dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya RF na period do 2020 goda. Utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 17.11. 2008 g. № 1662-r.

18. Osnovnye napravleniya deyatel'nosti Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii na period do 2012 goda. Utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 17.11. 2008 g. № 1663-r.

19. Ob osnovakh strategicheskogo planirovaniya v Rossiyskoy Federatsii : ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 12 maya 2009 g. № 536.

20. O gosudarstvennom strategicheskom planirovanii v Rossiyskoy Federatsii : proekt federal'nogo zakona. 2009.

21. Ob osnovakh organizatsii razrabotki i realizatsii gosudarstvennoy regional'noy politiki Rossiyskoy Federatsii : federal'nyy zakon (proekt). 2010.

22. Ob innovatsionnom tsentre «Skolkovo» : federal'nyy zakon № 244-FZ; ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 22 iyulya 2005 g. № 116.

23. Kontseptsiya sovershenstvovaniya regional'noy politiki v Rossiyskoy Federatsii : proekt. 2009 — 2010 gg.

24. Strategiya innovatsionnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda proekt / Ministerstvo ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii, 2010.

25. Ob utverzhdenii poryadka razrabotki, realizatsii i otsenki effektivnosti gosudarstvennykh programm Rossiyskoy Federatsii : postanovlenie ot 2 avgusta 2010 g. № 588 (v red. Postanovleniya Pravitel'stva RF ot 21.05.2012 № 499).

26. Strategiya innovatsionnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda : rasporyazhenie Pravitel'stva RF 08 dekabrya 2011 g. № 2227.

27. O gosudarstvennoy podderzhke innovatsionnoy deyatel'nosti v Rossiyskoy Federatsii: proekt federal'nogo zakona 2012.

28. O dolgosrochnoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy politike : ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 7 maya 2012 g. № 596.

29. Ob osnovakh gosudarstvenno-chastnogo partnerstva v sub''ektakh Rossiyskoy Federatsii i munitsipal'nykh obrazovaniyakh i o vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii : federal'nyy zakon (proekt). 2012.

30. Ekonomicheskoe razvitie i innovatsionnaya ekonomika : proekt gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii. 2012.

31. O gosudarstvennom strategicheskom planirovanii : proekt federal'nogo zakona. 2012.

32. Strategiya-2020: Novaya model' rosta — novaya sotsial'naya politika : promezhutochnyy doklad o rezul'tatakh eksperimental'noy raboty po aktual'nym problemama sotsial'no-ekonomicheskoy strategii Rossii na period do 2020 goda. 2011.

© Юшкова Н. Г., 2013

Поступила в редакцию
в январе 2013

Ссылка для цитирования:

Юшкова Н. Г. Территориальное планирование и государственная политика развития региона // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 30(49). С. 365—387.

НАШИ АВТОРЫ

Азаров Артем Викторович
Azarov Artem Viktorovich
аспирант кафедры инженерной графики, стандартизации и метрологии, ВолгГАСУ
Postgraduate student of Engineering Graphics, Standardization and Metrology Department, VSUACE

Азаров Валерий Николаевич
Azarov Valeriy Nikolaevich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Professor, the head of Life Safety in Technosphere Department, VSUACE

Абрамян Сусанна Грантовна
Abramyan Susanna Grantovna
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры технологии строительного производства, ВолгГАСУ, susannagrant@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Construction Technology Department, VSUACE

Акбуляков Михаил Алексеевич
Akbulyakov Mikhail Alekseevich
магистр, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, spstf@pstu.ru
Master, Perm National Research Polytechnical University

Акжигитова Эльвира Ринатовна
Akzhigitova Elvira Rinatovna
аспирантка кафедры стандартизации, сертификации и аудита качества, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, marat999192@mail.ru
Postgraduate student of Standardization, Certification and Quality Audit Department, Penza State University of Architecture and Construction

Акчурин Талгать Кадимович
Akchurin Talgat Kadimovich
канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой строительных материалов и специальных технологий, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Professor, the head of Construction Materials and Special Technologies Department, VSUACE

Анопин Владимир Николаевич
Anopin Vladimir Nikolaevich
д-р географ. наук, зав. кафедрой геодезии, ВолгГАСУ
Doctor of Geographic Science, the head of Geodesy Department, VSUACE

Ахмедов Асвар Микдадович
Akhmedov Asvar Mikdadovich
аспирант кафедры технологии строительного производства, ВолгГАСУ, asvar05@mail.ru
Postgraduate student of Construction Technology Department, VSUACE

Бабаханов Борис Станиславович
Babakhanov Boris Stanislavovich
соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Degree-seeking student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Бартоломей Игорь Леонидович
Bartolomey Igor Leonidovich
аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Богомолов Александр Николаевич
Bogomolov Aleksandr Nikolaevich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой гидротехнических и земляных сооружений, проректор по научной работе, ВолгГАСУ; проф. кафедры технологии строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, banzaritcyn@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

Богомолова Оксана Александровна
Bogomolova Oksana Aleksandrovna
канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Docent of Application Mathematics and Computer Science Department, VSUACE

Бондарев Александр Борисович
Bondarev Aleksandr Borisovich
канд. техн. наук, ООО «ЛипецкНИЦСтройпроект», Talex_86@mail.ru
Candidate of Engineering Science, “LipetskNITsStroyproject”, ltd.

Бондарев Борис Александрович
Bondarev Boris Aleksandrovich
д-р техн. наук, проф. кафедры строительных материалов и конструкций, Липецкий государственный технический университет, kaf-st@stu.lipetsk.ru
Doctor of Engineering Science, Professor of Construction Materials and Structures Department, Lipetsk State Technical University

Боровик Виталий Сергеевич
Borovik Vitaliy Sergeevich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой экономики и управления дорожным хозяйством, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Economy and Administration of Public Roads Department, VSUACE

Боровков Дмитрий Павлович
Borovkov Dmitriy Pavlovich
канд. техн. наук, доц. кафедры пожарной безопасности и защиты в чрезвычайных ситуациях, ВолгГАСУ, friggate@yandex.ru
Candidate of Engineering Science, Docent of Fire Safety and Defence in Emergency Department, VSUACE

Булычев Георгий Андрианович
Bulychev Georgiy Andrianovich
канд. техн. наук, проф. кафедры морских нефтегазовых сооружений, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Professor of Sea Oil and Gas Constructions Department, VSUACE

Булычев Феликс Георгиевич
Bulychev Feliks Georgievich
специалист, ООО «Лукойл — РИТЕК»
Specialist, «Lukoil — RITEK», Ltd.

Булычев Георгий Раисович
Bulychev Georgiy Raisovich
студент, ВолгГАСУ
Student, VSUACE

Бурлаченко Олег Васильевич
Burlachenko Oleg Vasilevich
д-р техн. наук, доц., проректор по учебно-воспитательной работе, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Docent, Vice-Rector for Studies and Educational Work, VSUACE

Бурханова Рената Анверовна
Burkhanova Renata Anverovna
аспирантка, ВолгГАСУ
Postgraduate student, VSUACE

Бутузов Григорий Михайлович
Butuzov Grigoriy Mikhaylovich
аспирант кафедры строительных материалов, Липецкий государственный технический университет, 8-905-801-92-41
Postgraduate student of Construction Materials Department, Lipetsk State Technical University

Годин Михаил Александрович
Godin Mikhail Aleksandrovich
ведущий инженер, ООО «Импульс», г. Новочеркасск, godin_m_a@mail.ru
Leading Engineer, “Impuls”, Ltd., Novocherkassk

Годин Павел Александрович
Godin Pavel Aleksandrovich
ведущий инженер, ООО «Импульс», г. Новочеркасск, godin76@mail.ru
Leading Engineer, “Impuls”, Ltd., Novocherkassk

Грачева Юлия Вячеславовна
Gracheva Yuliya Vyacheslavovna
канд. техн. наук, доц. кафедры оснований и фундаментов, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, gracheva_jv@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Docent of Bases and Foundations Department, Penza State University of Architecture and Construction

Гуреева Наталья Анатольевна
Gureeva Natalya Anatolevna
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры высшей математики, Волгоградский государственный аграрный университет (ВолГАУ), natalya-gureeva@yandex.ru
Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Higher Mathematics Department, Volgograd State Agricultural University (VSAU)

Демченко Борис Михайлович
Demchenko Boris Mikhaylovich
канд. техн. наук, доц., проф. кафедры сопротивления материалов, Ростовский государственный строительный университет, sopromat@rgsu.ru
Candidate of Engineering Science, Docent, Professor of Strength of Materials Department, Rostov State University of Civil Engineering

Дергунов Николай Николаевич
Dergunov Nikolay Nikolaevich
аспирант кафедры строительных материалов, Липецкий государственный технический университет, dergunovmail@gmail.com
Postgraduate student of Construction Materials Department, Lipetsk State Technical University

Длугашевский Антон Владимирович
Dlugashevskiy Anton Vladimirovich
инженер, 8-915-555-01-00
Engineer

Душко Олег Викторович
Dushko Oleg Viktorovich
канд. техн. наук, доц., директор Института дистанционного обучения, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Docent, the Director of the Institute of Distance Education, VSUACE

Емельянов Денис Владимирович
Emelyanov Denis Vladimirovich
аспирант кафедры строительных материалов и технологий, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, emelyanoffdv@yandex.ru
Postgraduate student of Constructional Materials and Technologies Department, Mordovian State University named after N.P. Ogarev

Еремин Алексей Владимирович
Eremin Aleksey Vladimirovich
магистрант, младший научный сотрудник, Научно-исследовательская лаборатория физико-химического анализа, Научно-исследовательский институт строительных материалов и технологий
Master's degree student, Junior Research Scientist, R&D Laboratory of Physical and Chemical Analysis, Institute for Scientific Research of Construction Materials and Technology

Ермилов Александр Александрович
Ermilov Aleksandr Aleksandrovich
аспирант кафедры строительства и эксплуатации транспортных сооружений, ВолгГАСУ; ведущий инженер Отдела эксплуатации автомобильных дорог, ОГУП «Волгоградавтодор», alexandr.ermilov22@gmail.com
Postgraduate student of Construction and Operation of Transport Facilities Department, VSUACE; Leading Engineer of Highways Operation Division, SUE «Volgogradavtodor»

Ерофеев Владимир Трофимович
Erofeev Vladimir Trofimovich
д-р техн. наук, член-кор. РААСН, проф., зав. кафедрой строительных материалов и технологий, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, (8342)48-25-64
Doctor of Engineering Science, Corresponding member of RAACS, Professor, the head of Constructional Materials and Technologies Department, Mordovian State University named after N.P. Ogarev

Желтобрюхов Владимир Федорович
Zheltobryukhov Vladimir Fedorovich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), z_vl_f@mail.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Industrial Ecology and Life Safety Department, Volgograd State Technical University (VSTU)

Злобин Владимир Николаевич
Zlobin Vladimir Nikolaevich
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, vlzlobin@yandex.ru
Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE

Иванов Антон Андреевич
Ivanov Anton Andreevich
аспирант кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ВолгГАСУ
Postgraduate student of Application Mathematics and Computer Science Department, VSUACE

Калашников Владимир Иванович
Kalashnikov Vladimir Ivanovich
д-р техн. наук, проф., проф. кафедры технологии бетонов, керамики и вяжущих, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, techbeton@pguas.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Concrete, Ceramics and Binding Materials Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering

Калашников Сергей Юрьевич
Kalashnikov Sergey Yurevich
д-р техн. наук, проф., действительный член Международной академии наук высшей школы, ректор, ВолгГАСУ, rektor@info.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, full member of the International Higher Education Academy of Sciences, rector, VSUACE

Калиновский Сергей Андреевич
Kalinovskiy Sergey Andreevich
аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Качурин Яков Владимирович
Kachurin Yakov Vladimirovich
соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Degree-seeking student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Кашарин Денис Владимирович
Kasharin Denis Vladimirovich
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры водного хозяйства предприятий и населенных мест, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)
Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Water Industry Enterprises and Population Aggregate Department, South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)

Клочков Юрий Васильевич
Klochkov Yuriy Vasilevich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой высшей математики, Волгоградский государственный аграрный университет
Doctor of Engineering Science, Professor, the head of Higher Mathematics Department, Volgograd State Agricultural University (VSAU)

Ковылин Андрей Васильевич
Kovylin Andrey Vasilevich
канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Senior Professor of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE

Корнеев Александр Дмитриевич
Korneev Aleksandr Dmitrievich
д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный технический университет, kad@stu.lipetsk.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, Lipetsk State Technical University

Корниенко Сергей Валерьевич
Kornienko Sergey Valerevich
канд. техн. наук, доц., ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Docent, VSUACE

Корчагин Валерий Александрович
Korchagin Valeriy Aleksandrovich
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры морских нефтегазовых сооружений, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Sea Oil and Gas Constructions Department, VSUACE

Косицына Эльвира Сергеевна
Kositsyna Elvira Sergeevna
канд. техн. наук, проф. кафедры экологического строительства и городского хозяйства, ВолгГАСУ, kositsyna_elvira@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Professor of Environmental Engineering and Urban Economy Department, VSUACE

Крылова Марина Валерьевна
Krylova Marina Valerevna
канд. физ.-мат. наук, зам. директора, ООО «Фугро Геосайенс ГмбХ», Mkrylova.v@gmail.com
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Deputy Director, “Fugro Geosaiens Gmbh”, Ltd

Кузнецова Алла Сергеевна
Kuznetsova Alla Sergeevna
аспирантка кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Postgraduate student of Construction Production and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnical University

Кузнецова Светлана Васильевна
Kuznetsova Svetlana Vasilevna
д-р геол.-минерал. наук, проф., ВолгГАСУ
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, VSUACE

Кузьменко Ирина Юрьевна
Kuzmenko Irina Yurevna
аспирантка кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ, 8-904-404-888-4
Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Курицын Борис Николаевич
Kuritsyn Boris Nikolaevich
д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, osnat75@mail.ru
Doctor of Engineering Science, Professor of Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid and Gas Dynamics, Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin

Лепилов Владимир Ильич
Lepilov Vladimir Ilich
зав. лабораторией кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ
Head of Laboratory of Power Supply and Heat Engineer Department, VSUACE

Логанина Валентина Ивановна
Loganina Valentina Ivanovna
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой стандартизации, сертификации и аудита качества, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, loganin@mail.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, the head of Standardization, Certification and Audit of Quality Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering

Максимов Сергей Александрович
Maksimov Sergey Aleksandrovich
аспирант кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, osnat75@mail. ru
Postgraduate student of Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid and Gas Dynamics, Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin

Маринин Никита Андреевич
Marinin Nikita Andreevich
аспирант, ВолгГАСУ
Postgraduate student, VSUACE

Матуа Вахтанг Парменович
Matua Vakhtang Parmenovich
д-р техн. наук, доц., проф. кафедры автомобильных дорог Дорожно-транспортного института, ФКУ «Росдортехнология» в ЮФО, rdkufo@aaanet.ru
Doctor of Engineering Science, Docent, Professor of Motorways Department, Road and Transport Institute, FTI “Rosdortechnology” in SFD

Матуа Рауль Вахтангович
Matua Raul Vakhtangovich
зам. начальника отдела мониторинга, ФКУ «Росдортехнология» в ЮФО, matua-rv@yandex.ru
Deputy director of Monitoring Department, FTI “Rosdortechnology” in SFD

Маяцкая Ирина Александровна
Mayatskaya Irina Aleksandrovna
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры сопротивления материалов, Ростовский государственный строительный университет, sopromat@rgsu.ru
Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Strength of Materials Department, Rostov State University of Civil Engineering

Миненко Екатерина Юрьевна
Minenko Ekaterina Yurevna
канд. техн. наук, доц., доц. кафедры оптимизации и безопасности движения, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, cat.minenko@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Docent, Docent of Optimization and Traffic Safety Department, Penza State University of Architecture and Civil Engineering

Михайловская Юлия Сергеевна
Mikhaylovskaya Yuliya Sergeevna
советник генерального директора, ОАО «НИИ охраны атмосферного воздуха»
Advisor of the Director General, "Scientific Research Institute for Atmospheric Air Protection", JSC

Муравьева Людмила Викторовна
Muraveva Lyudmila Viktorovna
канд. техн. наук, доц. кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Docent of Building Constructions, Basis and Reliability of Constructions Department, VSUACE

Мышлинская Ирина Хаджимурадовна
Myshlinskaya Irina Khadzhimuradovna
аспирантка кафедры технологии строительного производства, ВолгГАСУ
Postgraduate student of Construction Technology department, VSUACE

Николаев Анатолий Петрович
Nikolaev Anatoliy Petrovich
д-р техн. наук, проф., проф. кафедры водохозяйственного строительства, Волгоградский государственный аграрный университет (ВолГАУ)
Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of Water Engineering Department, Volgograd State Agricultural University (VSAU)

Олянский Юрий Иванович
Olyanskiy Yuriy Ivanovich
д-р геол.-минерал. наук, доц., проф. кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Docent, Professor of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Осипова Наталия Николаевна
Osipova Nataliya Nikolaevna
канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, osnat75@mail. Ru
Candidate of Engineering Science, Docent of Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid and Gas Dynamics, Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin

Офрихтер Вадим Григорьевич
Ofrikhter Vadim Grigorevich
канд. техн. наук, доц., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, ofrikhter@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Docent, Perm National Research Polytechnical University

Павлова Светлана Вячеславовна
Pavlova Svetlana Vyacheslavovna
учебный мастер кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), svet-pavlova@mail.ru
Training Master of Industrial Ecology and Life Safety Department, Volgograd State Technical University

Пащенко Никита Михайлович
Pashchenko Nikita Mikhaylovich
аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ
Postgraduate student of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE

Перехоженцев Анатолий Георгиевич
Perekhozhentsev Anatoliy Georgievich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой архитектуры, ВолгГАСУ, pag@mail.ru
Doctor of Engineering Science, Professor, the Head of Architecture Department, VSUACE

Перфилов
Владимир Александрович
Perfilov Vladimir Aleksandrovich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой морских нефтегазовых сооружений, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Professor, the head of Sea Oil and Gas Constructions Department, VSUACE

Пономарев Андрей Будимирович
Ponomarev Andrey Budimirovich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 8-919-443-0975
Doctor of Engineering Science, Professor, the head of Construction Production and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnical University

Попова Анна Владимировна
Popova Anna Vladimirovna
учебный мастер кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, 8-902-313-4915
Training master of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE

Прозорова Л.А.
Prozorova L.A.

Прокопенко Алексей Васильевич
Prokopenko Aleksey Vasilevich
аспирант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Прокопенко Вячеслав Валентинович
Prokopenko Vyacheslav Valentinovich
аспирант, ВолгГАСУ, v.v.p._24@mail.ru
Postgraduate student, VSUACE

Пушкарская Ольга Юрьевна
Pushkarskaya Olga Yurevna
канд. техн. наук, доц. кафедры технологий обработки и производства материалов, Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Docent of Material Processing and Production Technology Department, Volzhskiy Institute of Construction and Technology (branch), VSUACE

Родин Александр Иванович
Rodin Aleksandr Ivanovich
аспирант кафедры строительных материалов и технологий, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, al_rodin@mail.ru
Postgraduate student of Constructional Materials and Technologies Department, Mordovian State University named after N.P. Ogarev

Рощин Павел Андреевич
Roshchin Pavel Andreevich
аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ
Postgraduate student of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE

Савинов Алексей Валентинович
Savinov Aleksey Valentinovich
д-р техн. наук, доц., проф. кафедры промышленного и гражданского строительства, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, alexey_savinov@mail.ru, geospi@yandex.ru
Doctor of Engineering Science, Docent, Professor of Industrial and Civil Construction, Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin

Семашкин Константин Владимирович
Semashkin Konstantin Vladimirovich
аспирант кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, SKV2208@rambler.ru
Postgraduate student of Engineering Geology, Bases and Foundations Department, Siberian State Automobile Road Academy

Сенченко Владимир Александрович
Senchenko Vladimir Aleksandrovich
ведущий инженер, Центр охраны труда и экологии от А до Я, Vladimir.Senchenko@rambler.ru
Leading Engineer, the Center of Labour Safety and Ecology from “A” to “Я”

Сергеева Надежда Борисовна
Sergeeva Nadezhda Borisovna
аспирантка кафедры экономики и управления дорожным хозяйством, ВолгГАСУ
Postgraduate student of Economy and Administration of Public Roads Department, VSUACE

Сизонец Сергей Владимирович
Sizonets Sergey Vladimirovich
младший научный сотрудник, Ростовский государственный строительный университет, sizonez@rambler.ru
Junior Researcher, Rostov State Construction University

Синяков Владимир Николаевич
Sinyakov Vladimir Nikolaevich
д-р геол.-минерал. наук, проф., зав. кафедрой инженерной геологии и геоэкологии, ВолгГАСУ
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, the head of Engineering Geology and Geoecology Department, VSUACE

Скориков Дмитрий Александрович
Skorikov Dmitriy Aleksandrovich
инженер, ПТБ ПСО «Волгоградгражданстрой», wolfbiker@list.ru
Engineer, SR PCU «Volgogradgrazhdanstroy»

Соловьев Александр Владимирович
Solovev Aleksandr Vladimirovich
канд. техн. наук, соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Degree-seeking student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Соловьева Татьяна Александровна
Soloveva Tatyana Aleksandrovna
канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой строительных материалов и специальных технологий, ВолгГАСУ
Candidate of Engineering Science, Professor, the head of Construction Materials and Special Technologies Department, VSUACE

Сычкина Евгения Николаевна
Sychkina Evgeniya Nikolaevna
ассистент кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, aspirant123@maik.ru
Assistant of Construction Production and Geotechnics Department, Perm National Research Polytechnical University

Тонкой Игорь Васильевич
Tonkoy Igor Vasilevich
канд. арх., проф. кафедры градостроительства, Московский архитектурный институт (МАРХИ), ivton@mail.ru
Candidate of Architecture, Professor of Urban Planning Department, Moscow Architectural Institute

Усадский Денис Геннадиевич
Usadskiy Denis Gennadievich
аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, obmol@bk.ru
Postgraduate student of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE

Учаев Владимир Николаевич
Uchaev Vladimir Nikolaevich
канд. техн. наук, доц. кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, ВолгГАСУ, kaf_bgdvt@mail.ru
Candidate of Engineering Science, Docent of Life Safety in Technosphere Department, VSUACE

Ушаков Андрей Николаевич
Ushakov Andrey Nikolaevich
докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Postdoctoral student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Фельдштейн Евгений Григорьевич
Feldshteyn Evgeniy Grigorevich
исполнительный директор, ООО НИЦ «Потенциал-2», Санкт-Петербург, 8-812-342-67-16
Chief Executive, “Potentsial-2” Ltd., R&D, Saint-Petersburg

Филиппова Светлана Владимировна
Filippova Svetlana Vladimirovna
магистрант, ВолгГАСУ, lana89-27@mail.ru
master, VSUACE

Фокин Владимир Михайлович
Fokin Vladimir Mikhaylovich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ
Doctor of Engineering Science, Professor, the head of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE

Фомичев Валерий Тарасович
Fomichev Valeriy Tarasovich
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой общей и прикладной химии, ВолгГАСУ, (8442)96-98-14
Doctor of Engineering Science, Professor, the head of General and Applied Chemistry Department, VSUACE

Цветков Роман Валерьевич
Tsvetkov Roman Valerevich
канд. техн. наук, научный сотрудник, Институт механики сплошных сред Уро РАН, flower@icmm.ru
Candidate of Engineering Science, Researcher, Institute of Mechanics of Continua, Ural Department of RAS

Чарыкова Светлана Анатольевна
Charykova Svetlana Anatolevna
аспирантка кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Postgraduate student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Черепанов Александр Юрьевич
Cherepanov Aleksandr Yurevich
директор по подготовке строительства, ОАО «Пермский завод силикатных панелей», spstf@pstu.ru
Director for Construction Preparations, “Perm Factory of Silicate Panels” JSC

Черешнев Игорь Владимирович
Chereshnev Igor Vladimirovich
канд. арх., доц., доц. кафедры дизайна и монументально-декоративного искусства, ВолгГАСУ, tchereshnev@rambler.ru
Candidate of Architecture, Docent, Docent of Design and Monumental and Decorative Art Department, VSUACE

Черешнева Нурия Варисовна
Chereshneva Nuriya Varisovna
старший преподаватель кафедры градостроительства, ВолгГАСУ
Senior Lecturer of Urban Planning Department, VSUACE

Чернышкова Татьяна Вячеславовна
Chernyshkova Tatyana Vyacheslavovna
старший преподаватель кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ, 8-906-402-52-25
Senior Lecturer of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE

Шардаков Игорь Николаевич
Shardakov Igor Nikolaevich
д-р физ.-мат. наук, проф., зав. лабораторией интеллектуального мониторинга, Институт механики сплошных сред Уро РАН, shardakov@icmm.ru
Doctor of Physics and Mathematics, Professor, the head of the Laboratory of Intellectual Monitoring, Institute of Mechanics of Continua, Ural Department of RAS

Шестаков Алексей Петрович — аспирант, Институт механики сплошных сред Уро РАН, shap@icmm.ru
Shestakov Aleksey Petrovich — Postgraduate student, Institute of Mechanics of Continua, Ural Department of RAS

Шило Максим Александрович — аспирант кафедры энергоснабжения и теплотехники, ВолгГАСУ
Shilo Maksim Aleksandrovich — Postgraduate student of Power Supply and Heat Engineering Department, VSUACE

Шиян Станислав Иванович — канд. техн. наук, докторант кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Shiyan Stanislav Ivanovich — Candidate of Engineering Science, Postdoctoral student of Hydraulic and Earthwork Structures Department, VSUACE

Юшкова Наталия Геннадиевна — канд. арх., доц. кафедры архитектуры жилых и общественных зданий, ВолгГАСУ, (8442)96-98-59
Yushkova Nataliya Gennadievna — Candidate of Architecture, Docent of Apartment and Public Buildings Architecture Department, VSUACE

Якименко Игорь Владимирович — соискатель кафедры гидротехнических и земляных сооружений, ВолгГАСУ
Yakimenko Igor Vladimirovich — Degree-seeking student of Hydraulic and Earthwork Structures 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/preparation-requirements/), *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 оригинале.

В *отдельном файле помещаются сведения об авторах* на русском и английском языках, а также кириллицей и латиницей в полном соответствии с данными в заполненном бланке *анкеты* (см. выше): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы; наименование и код научной специальности (по Номенклатуре), по которой автор проводит диссертационное исследование; почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты.

В статье приводятся: *индекс УДК;* на русском и английском языках: *фамилия и инициалы автора, заглавие, аннотация* (на русском языке до 500 знаков, на английском — от 500 знаков до целой страницы), *ключевые слова*. Текст статьи заверяется личной подписью автора (соавторов).

Объем статьи — от 7 с. установленного формата «Вестника» (см. ниже), включая название, аннотации, ключевые слова, текст, таблицы, рисунки, библиографический список. Последняя страница считается полной независимо от фактического заполнения.

Оригинал статьи должен быть набран с помощью пакета программ *Microsoft Office* (*Word 2003*); шрифт *основного текста* — Times New Roman (Cyr) № 11 (11 пунктов). Параметры страницы — поля, см: верхнее — 3,7; нижнее — 4,5; левое — 2,0; правое — 6,0; переплет — 0, поля зеркальные. Расстояние от края до верхнего колонтитула, см — 3,0, от края до нижнего колонтитула — 3,7. Абзацный отступ равен 0,75 см. Межстрочный интервал одинарный. Автоматически устанавливаются переносы (не более 4 подряд в одном абзаце). Автоматически устанавливается запрет висячих строк.

Для *набора формул* используется редактор формул *Microsoft MathType 5*; по умолчанию устанавливаются размеры шрифта для одно- и двухстрочных формул: обычного — 11 пт, крупного и мелкого индекса — соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа — соответственно 16 и 11 пунктов. Греческие и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские — курсивом. Если написание в формулах отличает-

ся от традиционного, автор должен сделать соответствующие пометки на полях распечатанной статьи, при этом греческие буквы обводятся красным карандашом, готические — синим. Формулы выключаются в левый край с абзацным отступом. Запись формулы выполняется автором с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

Векторные рисунки, сохраненные в формате WMF, *растровые* — в TIF или BMP; *графики и диаграммы*, построенные в *Microsoft Excel*, а также *рисунки*, созданные в *Corel Draw 12* или *AutoCAD 2006* и сохраненные в оригинальном формате, дополнительно помещаются на электронный носитель отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи. Кроме того, *иллюстрации* обязательно присылаются распечатанными на отдельных листах формата А4 в масштабе 1:1, в пригодном для сканирования виде. Размер шрифта текста в рисунках — 9-10 пт. *Подписи к рисункам* выполняются непосредственно в тексте статьи шрифтом Times № 10 (10 пт), экспликация в подрисуночной подписи — Times № 9 (9 пт). Для сжатия больших файлов использовать архиваторы *Arj* и *WinZip*, *WinRAR*.

Цветные и черно-белые фотографии присылать в оригинальном виде с подписями на обороте. Цифровые фотографии выполнять с разрешением не менее 300…600 dpi, присылать в электронном виде в любом графическом формате, кроме .jpg.

Текст *таблиц* набирается шрифтом Times New Roman (Cyr) № 10 (10 пунктов).

Пристатейные *баблиографические списки* размещаются после основного текста статьи.

В библиографическом списке приводится только цитируемая в статье литература. Источники группируются в списке в порядке упоминания в тексте. Ссылки на источники приводятся в тексте в 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 (Cyr) № 9 (9 пунктов). Язык библиографических записей соответствует языку описываемых источников.

Библиографический список приводится *дважды*. Во втором варианте все русскоязычные библиографические записи приводятся *на латинице*, записи на других языках просто повторяются.

Авторы статей несут всю полноту ответственности за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция журнала не несет никакой ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, нанесенный публикацией статьи. Редакция исходит из того, что, *в соответствии с законодательством в части авторского права, автор, направляя статью в редакцию, полностью соглашается с условиями редакции и, следовательно, только сам лично несет ответственность за использование в тексте статьи материалов третьих лиц и соблюдение их авторских прав.* Все права автора и вся полнота его ответственности сохраняются и после публикации статьи в журнале.

Порядок рецензирования. Статьи обсуждаются редколлегией, рецензии, поступившие в сопроводительных материалах, учитываются. Статьи могут быть направлены редакцией на дополнительную внутреннюю или внешнюю экспертизу (рецензирование) и опубликованы только при положительном заключении. Имена авторов и рецензентов друг другу не сообщаются. Копия заключения предоставляется автору.

Статьи, не отвечающие изложенным требованиям, редколлегией не принимаются. Материалы, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста. 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 строительном производстве, интенсификация, энергосбережение и энергоэффективность. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. Градостроительство. Теория развития города. Управление инвестиционно-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 **www.vgasu.ru**, в разделе ***Издательская деятельность / Научные журналы / Вестник Волгоградского государственного архитектурно-***

строительного университета (сразу после подписания выпуска в печать на сайте публикуются титул и содержание; через месяц со дня выхода очередного номера из печати на сайте размещается его полнотекстовый файл).

Статьи направлять по адресу: **400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. Б-314а. Редакция «Вестника ВолгГАСУ». Тел. (8442)-96-98-46. E-mail: info@vgasu.ru (для В.И. Воробьева).**

Уточнить ***условия публикации статей и приобретения*** очередного номера журнала можно по тел. **(8442)-96-98-46** у ответственного секретаря редсовета журнала **Владимира Ивановича Воробьева.**

За консультацией по вопросам подготовки авторского оригинала статьи к печати обращаться по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, ком. В-210, редакционно-издательский отдел ВолгГАСУ. Тел. (8442)-96-98-28. E-mail: 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,
на Интернет-сайте агентства «Книга-Сервис» — Е85343
(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 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.