

ISSN 1995-2511

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

1

2018



ISSN 1995-2511



ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Периодическое научное издание

№ 1

Март 2018

Нижний Новгород

ББК 95; я5

П 75

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ, № 1 (45)

Периодическое научное издание. Н. Новгород, ННГАСУ, 2018. 169 с., 12 л. цв. вклеек.

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ). Зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия 20.12.2006 г. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77 – 47479 от 25.11.2011 г. Территория распространения – Российская Федерация, зарубежные страны. Языки – русский, английский.

Статьи рецензируются. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

«Приволжский научный журнал» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по группе научных специальностей 05.23.00 – «Строительство и архитектура». Новая редакция Перечня утверждена Минобрнауки России 01.12.2015 г.

Главный редактор д-р техн. наук, проф. С. В. СОБОЛЬ
Ответственный секретарь канд. техн. наук, проф. Д. В. МОНИЧ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

чл.-кор. РААСН, д-р арх., проф. Е. А. АХМЕДОВА; чл.-кор. РААСН, проф. В. Н. БОБЫЛЕВ; засл. деят. науки РФ, д-р техн. наук, проф. В. И. БОДРОВ; д-р техн. наук, проф. А. Л. ВАСИЛЬЕВ; д-р биол. наук, проф. Д. Б. ГЕЛАШВИЛИ; чл.-кор. РААСН, д-р арх., проф. А. Л. ГЕЛЬФОНД; д-р наук, проф. Р. ГРЭФЕ; засл. деят. науки РФ, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. Л. Н. ГУБАНОВ; д-р техн. наук, проф. А. И. ЕРЕМКИН; акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. Т. ЕРОФЕЕВ; д-р наук, проф. М. ИВЕТИЧ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. Н. И. КАРПЕНКО; д-р физ.-мат. наук, проф. М. М. КОГАН; д-р техн. наук, проф. Д. В. КОЗЛОВ; чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. Н. КУПРИЯНОВ; д-р наук, проф. Ф. НЕСТМАНН; д-р техн. наук, проф. С. И. РОТКОВ; д-р техн. наук, проф. С. В. СТЕПАНОВ; засл. деят. науки РФ, д-р физ.-мат. наук, проф. Р. Г. СТРОНГИН; д-р физ.-мат. наук, проф. А. Н. СУПРУН; д-р техн. наук, проф. В. П. СУЧКОВ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. И. ТЕЛИЧЕНКО; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. В. И. ТРАВУШ; засл. деят. науки РФ, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. С. В. ФЕДОСОВ; д-р физ.-мат. наук, проф. Е. В. ЧУПРУНОВ; засл. деят. науки РФ, д-р хим. наук, проф. В. А. ЯБЛОКОВ

Зав. ред.-изд. отделом В. В. Втюрина,
техн. редактор М. А. Коссэ, компьютерная верстка И. К. Красавина,
переводчик Л. Ю. Воронцов, работа со списками литературы Л. Б. Вержиковская

Подписано в печать 20.03.2018 г. Формат 70×108/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,9 + вкл. 2,1. Тираж 1200 экз. Заказ № 58

Адрес издателя и редакции: Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел./факс: (831) 433-04-36 (редакция), (831) 430-19-46 (отв. секретарь);

эл. почта: md@nngasu.ru (отв. секретарь), red@nngasu.ru (редакция),

интернет-сайт: www.pnj.nngasu.ru; пнж.nngasu.ru

Индекс журнала в каталоге Агентства «Роспечать»: 80382. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ООО «Новые решения»

Адрес: Россия, 603098, г. Нижний Новгород, ул. Артельная, д. 35а, оф. 1.

ISSN 1995-2511

© ННГАСУ, 2018

ISSN 1995-2511



THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL

Scientific periodical

№ 1

March 2018

Nizhny Novgorod

Scientific periodical. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2018. 169 p., 12 p. of colour illustrations.

Founder & Publisher: The Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU). Registered by the Federal service for the supervision of law observance in the sphere of mass media and preservation of cultural heritage of 20.12.2006. Registration certificate ПИ № ФЦ77 – 47479 dt. 25.11.2011. Circulation – the Russian Federation, foreign countries. Languages – Russian, English.

This is a peer viewed publication. Copying is not allowed without prior permission of the editors, references to the journal during citing are obligatory.

The Privolzhsky Scientific Journal is included into the list of leading peer viewed journals and publications where basic scientific results of doctoral and candidate dissertations are to be published of scientific specialities 05.23.00 – «Construction and architecture». A new version of the list is approved by decision of the Ministry of Education and Science of Russia on 01.12.2015.

Editor-in-chief doctor of technical sciences, professor S. V. SOBOL
Executive secretary cand. of tech. sciences, professor D. V. MONICH

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

corresponding member of RAACS, doctor of architecture, professor E. A. AKHMEDOVA; corresponding member of RAACS, professor V. N. BOBYLYOV; honoured worker of science of RF, doctor of technical sciences, professor V. I. BODROV; doctor of technical sciences, professor A. L. VASILIEV; doctor of biological sciences, professor D. B. GELASHVILI; corresponding member of RAACS, doctor of architecture, professor A. L. GELFOND; Ph.D., professor R. GRAEFE; honoured worker of science of RF, corresponding member of RAACS, doctor of technical sciences, professor L. N. GUBANOV; doctor of technical sciences, professor A. I. EREMKIN; academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. T. EROFEEV; doctor of science, professor M. IVETICH; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor N. I. KARPENKO; doctor of physical-mathematical sciences, professor M. M. KOGAN; doctor of technical sciences, professor D. V. KOZLOV; corresponding member of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. N. KUPRIANOV; Prof. Dr.-Ing. F. NESTMANN; doctor of technical sciences, professor S. I. ROTKOV; doctor of technical sciences, professor S. V. STEPANOV; honoured worker of science of RF, doctor of physical-mathematical sciences, professor R. G. STRONGIN; doctor of physical-mathematical sciences, professor A. N. SUPRUN; doctor of technical sciences, professor V. P. SUCHKOV; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. I. TELICHENKO; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor V. I. TRAVUSH; honoured worker of science of RF, academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor S. V. FEDOSOV; doctor of physical-mathematical sciences, professor E. V. CHUPRUNOV; honoured worker of science of RF, doctor of chemical sciences, professor V. A. YABLOKOV

Head of the editing and publishing department V. V. Vtyurina,
technical editor M. A. Kosse, computer makeup I. K. Krasavina,
translator L. Yu. Vorontsov, literature references L. B. Verzhikovskaya

Signed for publishing on 20.03.2018. Format 70×108/16. Offset paper.
Offset printing. Ref. publ. p. 14.9 + illust. 2.1. Copies 1200. Order № 58

Publisher's address: 65 Iljinskaya St., 603950, Nizhny Novgorod, Russia.
Tel./fax: +7 (831) 433-04-36 (editors), +7 (831) 430-19-46 (executive secretary);
e-mail: md@nngasu.ru (executive secretary), red@nngasu.ru (editors),

web-site: www.pnj.nngasu.ru; пнж.ннгасу.рф

Index of the journal in the catalogue of the «Rospechat» agency: **80382**. Price is unfixed.

Printed in JSC «Novye reshenia» publishing house
Address: 35a, Artelnaya St., office 1, 603098, Nizhny Novgorod, Russia.

8 ФЕВРАЛЯ – ДЕНЬ РОССИЙСКОЙ НАУКИ



*Уважаемые коллеги, друзья, авторы и читатели
«Приволжского научного журнала»!*

День российской науки утвержден указом Президента России в 1999 г.

В России любая позитивная деятельность почетна, но научная деятельность – на особом счету. Она вносит важнейший вклад в развитие общества и человека, благодаря ей создаются новые знания, открываются возможности для инновационного развития национальной экономики, задаются высокие стандарты образования. Надежда отечественной науки – молодые ученые, сегодняшние аспиранты и студенты – творцы будущего нашей страны.

Пользуясь случаем, заверяю вас в готовности «Приволжского научного журнала» к публикации ваших научных открытий, новых научных результатов, их приложений в строительной отрасли.

От всей души желаю вам крепкого здоровья, счастья, благополучия, успехов в творческой научной деятельности!

Ректор ННГАСУ, профессор

А. А. Лапшин



СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Никитина Е. А., Хазов П. А., Бриккель Д. М. Определение остаточного ресурса подкраново-подстропильной фермы с учетом накопления повреждений в реальных условиях эксплуатации.....	9
Трянина Н. Ю., Самохвалов И. А. Исследование вопроса живучести сетчатого купола	15
Бобылев В. Н., Дымченко В. В., Монич Д. В., Хазов П. А. Численное моделирование звукоизолирующих каркасно-обшивных перегородок с различными типами стоечных профилей	20
Леденев В. И., Макаров А. М., Матвеева И. В., Соломатин Е. О. Эквивалентные коэффициенты затухания звуковой энергии в помещениях и их использование при расчетах шума в производственных зданиях.....	25
Куприянов В. Н., Иванцов А. И. Анализ расчетных методов по оценке сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций.....	33
Урявина Л. В., Прахова Т. Н. Анализ правовых нормативных актов по контролю и надзору в строительстве.....	43

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Казаков Г. М., Козлов Е. С. Метод расчета энергосбережения при теплопередаче через ограждающие конструкции зданий.....	48
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Степанов С. В., Панфилова О. Н. Доочистка сточных вод от ионов меди на различных типах сорбентов	55
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Зубков А. Ф., Андрианов К. А., Пилецкий М. Э. Расчет контактных напряжений при укладке и уплотнении битумоминеральных смесей при ремонте дорожных покрытий	64
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Саинов М. П. Влияние зонирования камня в теле плотины на напряженно-деформированное состояние железобетонного экрана.....	72
Бухарцев В. Н., Фам Н. Т. Определение заглубления фундамента для исключения выпора грунта основания под действием вертикальной нагрузки	78
Бухарцев В. Н., Фам Н. Т. Влияние формы поверхности выпора на несущую способность нескального основания при действии вертикальной нагрузки.....	87
Волосухин В. А., Белоконов Е. Н., Вольнов М. А. К вопросу повышения надежности верхнего бьефа Загорской ГАЭС-2.....	95
Горохов Е. Н. Математическая модель процессов образования и длительного накопления сублимационного льда в порах наброски каменных плотин.....	103
Коган Л. П., Штенберг В. Б., Подчищаева О. В. О возможных эксплуатационных мероприятиях по уменьшению сейсмических воздействий на гидротехнические сооружения.....	110



ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Кайдалова Е. В., Лисина О. А. Приоритет размещения рекреационных объектов на прибрежных территориях.....	117
Данилова Э. В. Город в архитектурных трактатах итальянского Возрождения...	122
Шумилкин А. С. Реставрация в начале XXI века и проблема взаимодействия исторической и современной застройки (на примере здания ремесленной управы)	127
Ширчков Е. В. Городской амфитеатр в общественном пространстве современных российских городов.....	131
Кисельникова Д. Ю. Постмодернизм в архитектуре Новосибирска 1990–2010-х годов....	139

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Генералова Е. М. Обслуживающие зоны в высотных жилых комплексах.....	145
Прохожев Н. О., Прохожев О. А. Перспективы развития индустриального строительства жилых зданий из легких стальных тонкостенных конструкций.....	150

ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

Памяти Петра Алексеевича Богословского.....	155
Новые издания.....	157
Рецензии на новые издания.....	158
Перечень требований и условий, предоставляемых для публикации в периодическом научном издании «Приволжский научный журнал».....	163

НА ОБЛОЖКЕ: Главный корпус ФГБУЗ «Санаторий Решма» Федерального медико-биологического агентства России на берегу Горьковского водохранилища в Ивановской области. 2018 г. Фото О. А. Соболев



C O N T E N T S

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES

Nikitina E. A., Khazov P. A., Brikkel D. M. Determination of the residual life of crane-secondary trusses adjusted for damages accumulated in real operating conditions.....	9
Tryanina N. Yu., Samokhvalov I. A. The investigation of an issue of robustness of a mesh dome.....	15
Bobylyov V. N., Dymchenko V. V., Monich D. V., Hazov P. A. Numerical simulation of sound-insulating framed partitions with various types of frame profiles.....	20
Ledenyov V. I., Makarov A. M., Matveeva I. V., Solomatin E. O. Equivalent coefficients of sound energy attenuation in rooms and their use in calculation of noise in industrial buildings.....	25
Kupriyanov V. N., Ivantsov A. I. Analysis of calculating methods for estimation of resistance of light-transparent constructions to heat transfer	33
Uryavina L. V., Prakhova T. N. Analysis of the legal regulations on control and supervision in construction.....	43

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

Kazakov G. M., Kozlov E. S. Method of calculating energy saving during heat transfer through enclosing structures of buildings.....	48
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

WATER SUPPLY, SEWAGE, CONSTRUCTION SYSTEMS OF WATER RESOURCES PROTECTION

Stepanov S. V., Panfilova O. N. Aftertreatment of wastewater from copper ions by various types of sorbents	55
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Zubkov A. F., Andrianov K. A., Piletskiy M. E. Calculation of contact stresses during laying and compaction of bitumomineral mixtures at repair of road pavements.....	64
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTION

Sainov M. P. Effect of stone zoning in the dam body on the stress-strain state of reinforced concrete face.....	72
Bukhartsev V. N., Pham N. T. The determination of foundation depth to eliminate heaving of the foundation soil under the action of vertical load	78
Bukhartsev V. N., Pham N. T. The influence of a slip surface shape on the bearing capacity of soil under the effect of the vertical load.....	87
Volosukhin V. A., Belokonev E. N., Volynov M. A. To the issue of increasing reliability of the upper pond of the Zagorsk PSHPP-2.....	95
Gorokhov E. N. Mathematical model of the processes of formation and long-term accumulation of sublimation ice in pores of rock-fill dams	103
Kogan L. P., Shtenberg V. B., Podchischaeva O. V. Possible operational activities for reducing seismic impacts on hydraulic structures	110

THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF HISTORIC-ARCHITECTURAL HERITAGE

Kaydalova E. V., Lisina O. A. The priority of recreational objects placing on the coastal areas.	117
Danilova E. V. A city in the architectural treatises of the Italian Renaissance.....	122



Shumilkin A. S. Restoration in the beginning of the XXI century and the problem of interaction of historical and modern buildings (by the example of the craft council building)..... 127

Shirchikov E. V. Urban amphitheatre in contemporary Russian cities' public spaces 131

Kiselnikova D. Y. Postmodernism in the architecture of Novosibirsk in 1990–2010 139

ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY

Generalova E. M. Service zones in high-rise residential complexes 145

Prokhozhev N. O., Prokhozhev O. A. Prospects of development of industrial construction of residential buildings of light steel thin-walled structures..... 150

INFORMATION SECTION

To the memory of Pyotr Alekseevich Bogoslovskiy..... 155

New publications..... 157

Reviews of new publications..... 158

List of requirements for publication in the scientific periodical "Privolzhsky Scientific Journal" 163

COVER PAGE: The main building of the Reshma sanatorium of the Federal medico-biological agency of Russia at the Gorky water reservoir in the Ivanovo region. 2018. Photo by O. A. Sobol

УДК 539.3:624.014

Е. А. НИКИТИНА, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.¹, доц. кафедры теории сооружений и технической механики²; П. А. ХАЗОВ², ст. преп. кафедры теории сооружений и технической механики; Д. М. БРИККЕЛЬ, аспирант³, асс. кафедры теории сооружений и технической механики², инженер 2-й категории⁴

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПОДКРАНОВО-ПОДСТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ С УЧЕТОМ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

¹ФГБУН «Институт проблем машиностроения Российской академии наук»

Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85. Тел.: (831) 432-05-76.

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;

эл. почта: tstm@nngasu.ru

³ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского»

Россия, 603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, д. 23. Тел.: (831) 462-30-03;

факс: (831) 462-30-85; эл. почта: unnp@unnp.ru

⁴ООО «ПроектСтройЭксперт»

Россия, 113534, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, д. 176а, оф. 504, 507. Тел.: (831) 211-81-72;

эл. почта: pse-nnov@yandex.ru

Ключевые слова: подкраново-подстропильная ферма, напряженно-деформируемое состояние, усталостная долговечность, мера поврежденности, срок эксплуатации.

Приводится методика расчета остаточного ресурса подкраново-подстропильной фермы с помощью модели накопления повреждений, позволяющая определить срок эксплуатации конструкции до ее разрушения. Предлагается теоретическая методика, опирающаяся на существующие экспериментальные данные.

Изучению процессов накопления повреждений в конструкционных материалах на стадии изготовления и эксплуатации уделяется особое внимание как в России, так и за рубежом. Численная оценка существующего количества повреждений, рассеянных в микрообъеме материала, является одной из основных задач современной науки и техники.

Подкраново-подстропильные фермы (ППФ) – это пространственные конструкции, совмещающие в себе функции по восприятию крановых нагрузок и нагрузок от покрытия здания. Данные проведенных натуральных обследований ППФ в эксплуатируемых производственных зданиях свидетельствуют о возникновении в них усталостных трещин. Ремонт и замена ППФ в условиях непрерывного производственного процесса трудновыполнимы и требуют значительных затрат по времени и капиталовложениям.

Разрушение в процессе эксплуатации даже отдельного узла подкраново-подстропильной фермы может вызвать прогрессирующее разрушение как самой ППФ, так и всего промышленного здания [1].

Объектом настоящего исследования является подкраново-подстропильная ферма пролетом 36 метров с неразрезным многопролетным нижним поясом коробчатого сечения (рис. 1).

Конструкция расположена в здании производственного назначения – литейном цехе металлургического предприятия.

При расчете задается нагрузка от двухбалочного мостового крана «кран литейный 180+63/20–33,5–36–3–220» [2], выполняющего функцию заливки и разлива жидкой стали в изложницы. Данному крану соответствует тяжелый режим работы – 7К [3].

Для изучения напряженно-деформированного состояния была создана конечно-элементная модель ППФ (рис. 1).

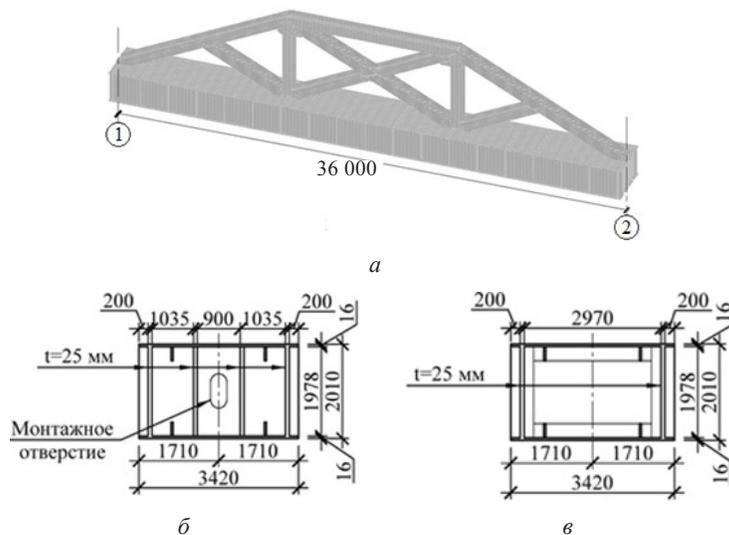


Рис. 1. Общий вид расчетной схемы подкраново-подстропильной фермы: *а* – объемная конечно-элементная модель; *б* – поперечное сечение нижнего пояса на опоре; *в* – поперечное сечение нижнего пояса в пролете

По результатам статического расчета конструкции анализируется ее напряженно-деформированное состояние и определяется расположение опасных зон концентрации напряжений. Установлена наиболее опасная область – узел сопряжения решетки с нижним поясом фермы (рис. 1 цв. вклейки).

Цикл работы крана, представленный на рис. 2, состоит из следующих рабочих этапов (в пределах одной фермы):

1. Загрузка – ход крана в максимально нагруженном состоянии $P_{\max} = 725,04$ кН.
2. Частичная разгрузка по середине пролета фермы и ход до конца $P_{\text{ч.р.}} = 580,03$ кН.
3. Возвращение крана с максимальной нагрузкой $P_{\max} = 725,04$ кН.
4. Полная разгрузка крана по середине пролета фермы и возвращение в начальное положение $P_p = 435,03$ кН.

К СТАТЬЕ Е. А. НИКИТИНОЙ, П. А. ХАЗОВА, Д. М. БРИККЕЛЯ
 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПОДКРАНОВО-
 ПОДСТРОПИЛЬНОЙ ФЕРМЫ С УЧЕТОМ НАКОПЛЕНИЯ
 ПОВРЕЖДЕНИЙ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ»

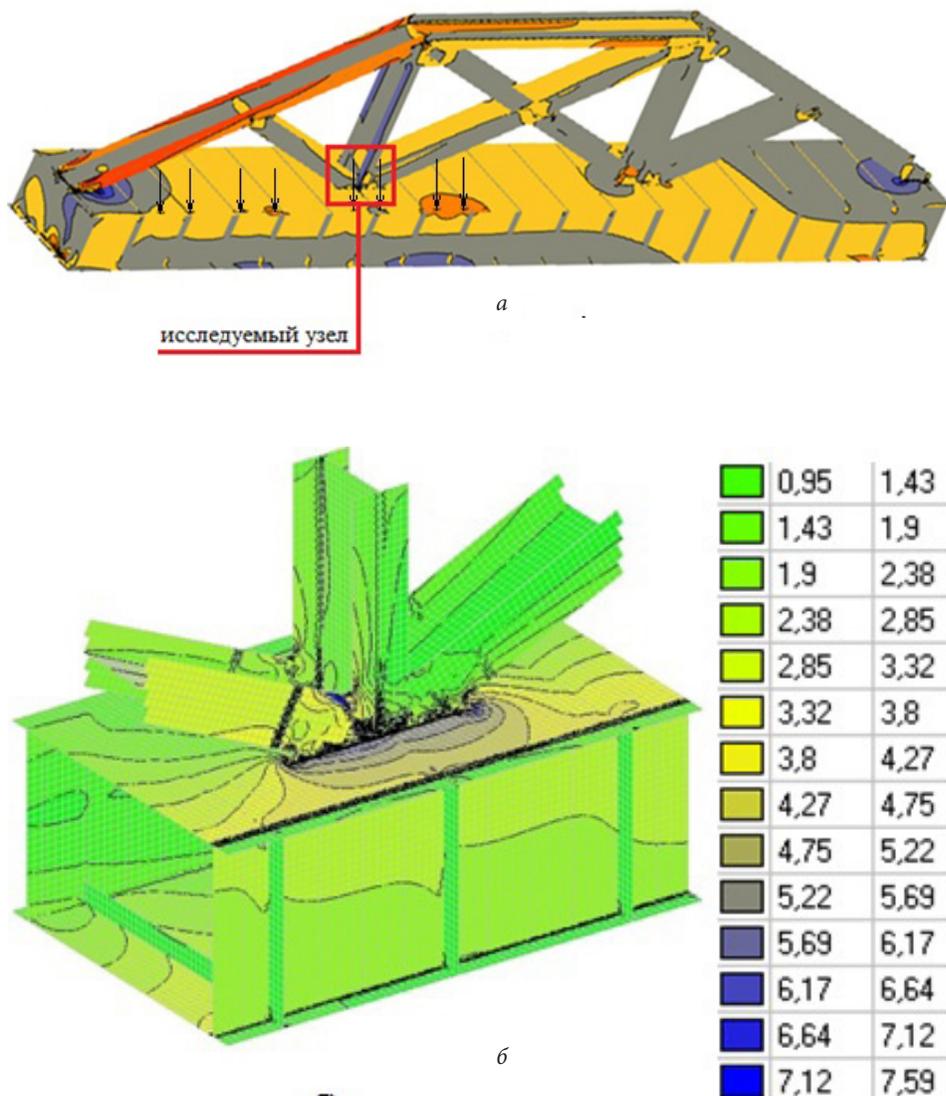


Рис. 1. Изополя эквивалентных нормальных напряжений [кН/см²]: *a* – в конструкции; *b* – в изучаемом узле при некотором положении крана

График зависимости эквивалентных напряжений от времени

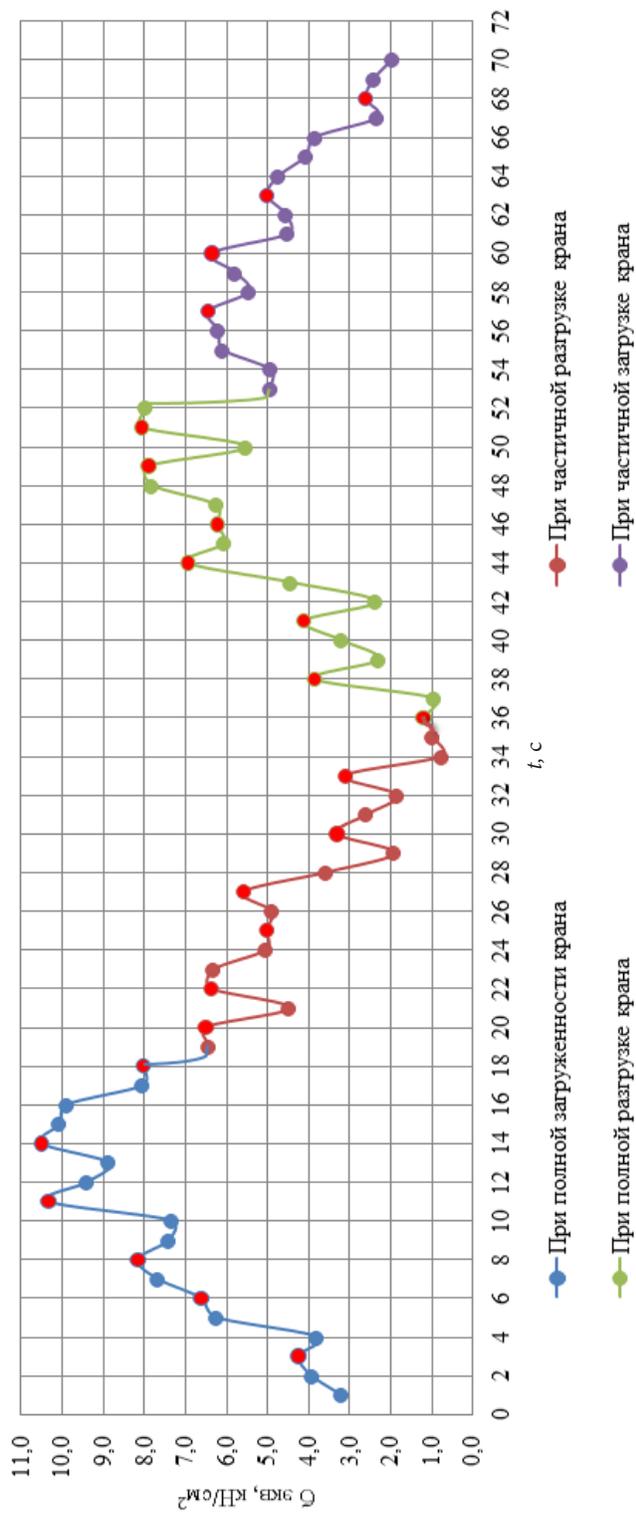


Рис. 2. История напряжений в процессе работы литейного крана 180+63/20-33,5-36-3-220

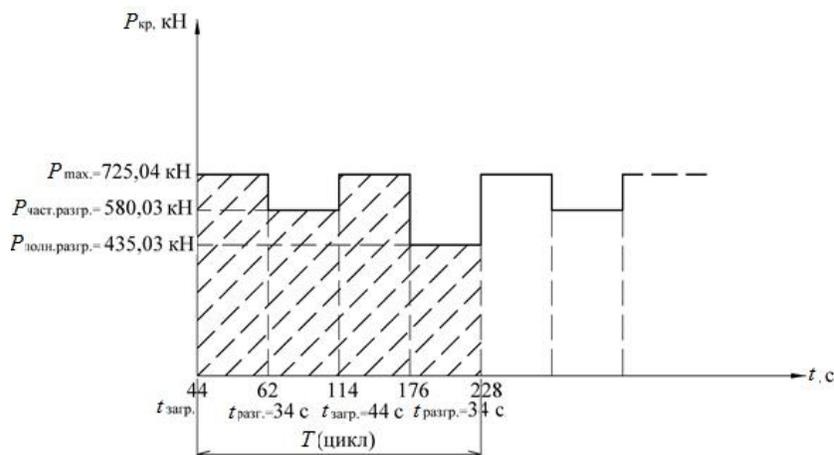


Рис. 2. График работы литейного крана 180+63/20–33,5–36–3–220

Для оценки поврежденности конструкционного материала на стадии возникновения и развития усталостных трещин был введен скалярный параметр, характеризующий их развитие.

За меру поврежденности в процессе развития деформации принимается скалярный параметр $\Psi(x, y, z, t)$, характеризующий относительную плотность равномерно рассеянных в единице объема микродефектов. Этот параметр равен нулю, когда повреждения отсутствуют, и близок к единице в момент образования макродефектов, способствующих разрушению конструкции [4]. При этом конкретный физический смысл этого параметра не всегда указывается. Под поврежденностью Ψ при данном подходе понимается сокращение упругого отклика тела вследствие сокращения эффективной площади, которое обусловливается появлением и развитием распределенных по объему материала микродефектов [5–13].

Эволюция поврежденности описывается кинетическим уравнением вида [6, 14, 15]:

$$\frac{d\Psi}{dt} \leq f(\sigma, \Psi),$$

где σ – внешнее действующее напряжение.

Функция $f(\sigma, \Psi)$ чаще всего аппроксимируется линейной зависимостью, иногда – полиномиальной зависимостью [6, 14, 15].

Известно, что количество циклов до разрушения N_r соответствует значению $\Psi = 1$, т. е. в момент образования усталостной трещины. Тогда при $N = 1 \rightarrow \Psi = 1/N$.

Зафиксированные изменения значений $\sigma_{экв}$ и история напряжений представлены на рис. 2 цв. вклейки.

Для определения количества циклов до разрушения используется кривая усталости Веллера для данной стали 09Г2С (рис. 3) [16], полученная экспериментально.

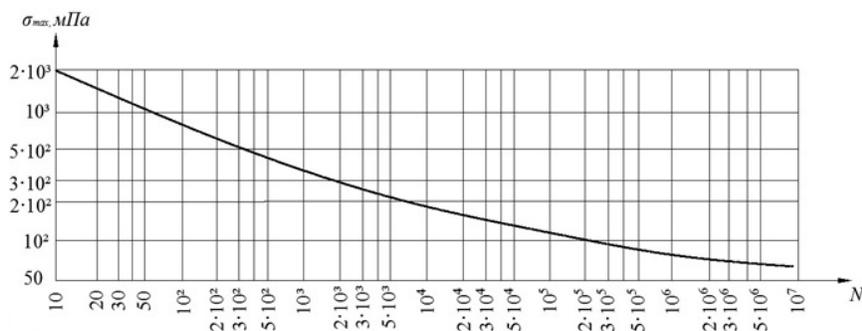


Рис. 3. Диаграмма Веллера для низколегированной конструкционной стали 09Г2С

По результатам расчета установлены параметры поврежденности конструкции за определенные периоды времени:

- 1) $\delta\psi_{ц} = 1,71744 \cdot 10^{-5}$ – повреждения, накапливаемые за 1 цикл;
- 2) $\delta\psi_{д} = 0,000515$ – повреждения, накапливаемые за 1 рабочий день;
- 3) $\delta\psi_{разр} = 0,999$ – повреждения, соответствующие разрушению конструкции.

Согласно технологии, за 1 день (2 смены) кран совершает 30 рабочих циклов. Количество рабочих дней в году – 244, откуда следует:

$$\Psi_{д} \cdot K_{ц/д} \cdot K_{д} \leq \Psi_{разр} = 1,$$

где $\Psi_{д}$ – значение поврежденности, накапливаемой в материале конструкции за 1 цикл работы крана; $K_{ц/д}$ – количество циклов работы крана в день; $K_{д}$ – количество рабочих дней, $\Psi_{разр}$ – значение поврежденности, соответствующее разрушению, откуда:

$$K_{д} = \frac{\Psi_{разр}}{\Psi_{д} \cdot K_{ц/д}} = \frac{1}{1,71744 \cdot 10^{-5} \cdot 30} = 1944.$$

Количество дней безаварийной работы крана составляет $K_{д} = 1\,944$ дня, или 7 лет и 236 дня. При приближении этого момента времени необходимо предпринять меры по остановке технологического процесса, выведению конструкции из рабочего состояния, а также разработать проект усиления, после чего произвести дополнительный расчет остаточного ресурса усиленной конструкции.

Работа выполнялась при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-19-01637).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шульга, С. Н. Остаточный ресурс подкраново-подстропильных ферм с неразрезным нижним поясом на стадии роста усталостной трещины : дис. ... канд. техн. наук / С. Н. Шульга ; Нац. исслед. Моск. гос. строит. ун-т. – Москва, 2015. – 133 с.
2. ГОСТ 20278-90. Краны металлургические литейные. Параметры и размеры. – Введ. 01.01.1991. – Москва : Изд-во стандартов, 1990. – 16 с.
3. ГОСТ 25546-82. Краны грузоподъемные. Режимы работы. – Введ. 01.01.1986. – Москва : Изд-во стандартов, 1982. – 6 с.
4. Ерофеев, В. И. Самосогласованная динамическая задача оценки поврежденности акустическим методом / В. И. Ерофеев, Е. А. Никитина // Акустический журнал. – 2010. – Т. 56, № 4. – С. 554–557.
5. Голуб, В. П. Определяющие уравнения в нелинейной механике поврежденности / В. П. Голуб // Прикладная механика. – 1993. – Т. 29, № 10. – С. 37–49.



6. Ерофеев, В. И. Дисперсия и затухание акустической волны, распространяющейся в поврежденном материале / В. И. Ерофеев, Е. А. Никитина, П. А. Хазов // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2014. – № 4. – С. 22–28.

7. Хорошун, Л. П. Основы микромеханики повреждаемости материала. Длительная повреждаемость / Л. П. Хорошун // Прикладная механика. – 2007. – Т. 43, № 2. – С. 1–2.

8. Khoroshun, L. P. Micromechanics of Short-Term Thermal Microdamageability / L. P. Khoroshun // Int. Appl. Mech. – 2001. – 37, № 9. – P. 1158–1165.

9. Качанов, Л. М. Основы механики разрушения / Л. М. Качанов. – Москва : Наука, 1974. – 311 с.

10. Коллинз, Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение / Дж. Коллинз. – Москва : Мир, 1994. – 624 с.

11. Khoroshun, L. P. Short-Term Microdamageability of Laminated Materials under Thermal Actions / L. P. Khoroshun, E. N. Shikula // Int. Appl. Mech. – 2002 – 38, № 4. – P. 432–439.

12. Maugin, G. A. The Thermomechanics of Plasticity and Fracture / G. A. Maugin. – Cambridge (UK) : Cambridge University Press, 1992. – 350 с.

13. Ерофеев, В. И. Влияние поврежденности материала на эволюцию акустической волны / В. И. Ерофеев, Е. А. Никитина, П. А. Хазов // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2015. – № 2. – С. 32–42.

14. Волков, И. А. Уравнения состояния вязкоупругопластических сред с повреждениями / И. А. Волков, Ю. Г. Коротких. – Москва : Физматлит, 2008. – 242 с.

15. Волков, И. А. Численное моделирование накопления повреждений при сложном пластическом деформировании / И. А. Волков, Ю. Г. Коротких, И. С. Тарасов // Вычислительная механика сплошных сред. – 2009. – Т. 2, № 1. – С. 5–18.

16. ГОСТ 25859–83. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках. – Введ. 01.07.1984. – Москва : Изд-во стандартов, 1984. – 10 с.

NIKITINA Elena Aleksandrovna, candidate of technical sciences, senior researcher¹, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics²; KHAZOV Pavel Alekseevich², senior teacher of the chair of theory of structures and technical mechanics; BRIKKEL Dmitry Maksimovich, postgraduate student³, assistant of the chair of theory of structures and technical mechanics², engineer of the 2nd category⁴

DETERMINATION OF THE RESIDUAL LIFE OF CRANE-SECONDARY TRUSSES ADJUSTED FOR DAMAGES ACCUMULATED IN REAL OPERATING CONDITIONS

¹Mechanical Engineering Research Institute, Russian Academy of Sciences
85, Belinsky St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia. Tel.: +7 (831) 432-05-76

²Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;
e-mail: tstm@nngasu.ru

³National Research Lobachevsky Nizhny Novgorod State University
23, Gagarin St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 462-30-03;
fax: +7 (831) 462-30-85; e-mail: unn@unn.ru

⁴JSC ProektStroyEkspert
176a, Gagarin St., off. 504, 507, Nizhny Novgorod, 603009, Russia.
Tel.: +7 (831) 211-81-72, e-mail: pse-nnov@yandex.ru

Key words: crane-secondary trusses, stressedly-deformed state, fatigue life; damage measure, life time.

The article describes the technique of calculating the residual life of crane-secondary trusses using a damage accumulation model to determine the life of the structure until its destruction. Theoretical methodology based on existing experimental data is offered.



REFERENCES

1. Shulga S. N. Ostatochny resurs podkranovo-podstropilnykh ferm s nerazreznym nizhnim poyasom na stadii rosta ustalostnoy treschiny [Residual life of crane-secondary trusses with a continuous underside belt at the stage of fatigue crack growth]. Dis. ... kand. tekhn. nauk. Nats. issled. Mosk. gos. stroit. un-t. Moscow, 2015, 5–6 p.
2. GOST 20278-90. Krany metallurgicheskie liteynye. Parametry i razmery [Cranes, iron foundry. Parameters and dimensions]. Vved. 1991-01-01. Moscow, Izd-vo standartov, 1990, 16 p.
3. GOST 25546-82. Krany gruzopodyomnye. Rezhimy raboty [Load-lifting cranes. Modes of operation]. Vved. 1986-01-01. Moscow, Izd-vo standartov, 1982, 6 p.
4. Erofeev, V. I., Nikitina E. A. Samosoglasovannaya dinamicheskaya zadacha otsenki povrezhdyonnosti akusticheskim metodom [Self-consistent dynamic problem of damage evaluation by an acoustic method]. Akusticheskiy zhurnal [Acoustic Journal]. 2010, Vol. 56. № 4. P. 554–557.
5. Golub V. P. Opredelyayushie uravneniya v nelineynoy mekhanike povrezhdyonnosti [Defining equations in nonlinear damage mechanics]. Prikladnaya mekhanika [Applied mechanics]. 1993. Vol. 29, № 10. P. 37–49.
6. Erofeev V. I., Nikitina E. A., Khazov P. A. Dispersiya i zatukhanie akusticheskoy volny, rasprostranyayusheysya v povrezhdyennom materiale [Dispersion and attenuation of acoustic waves propagating in the damaged material]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal], 2014, № 4. P. 22–28.
7. Khoroshun L. P. Osnovy mikromekhaniki povrezhdaemosti materiala. Dlitelnaya povrezhdaemost [Fundamentals of micromechanics of material damage. Long-term damage]. Prikladnaya mekhanika [Applied mechanics], 2007, Vol. 43, № 2, P. 1–2.
8. Khoroshun L. P. Micromechanics of Short-Term Thermal Microdamageability. Int. Appl. Mech., 2001, № 9. P. 1158–1165.
9. Kachanov L. M. Osnovy mekhaniki razrusheniya [Fundamentals of destruction mechanics]. Moscow, Nauka, 1974, 311 p.
10. Collins J. Povrezhdenie materialov v konstruktsiyakh. Analiz, predskazanie, predotvrashchenie [The material damage in constructions. Analysis, prediction, prevention]. Moscow, Mir, 1994, 624 p.
11. Khoroshun L. P., Shikula E. N. Short-Term Microdamageability of Laminated Materials under Thermal Actions. Int. Appl. Mech., 2002, № 4. P. 432–439.
12. Maugin G. A. The Thermomechanics of Plasticity and Fracture. Cambridge (UK), Cambridge University Press, 1992, 350 p.
13. Erofeev V. I., Nikitina E. A., Khazov P. A. Vliyanie povrezhdyonnosti materiala na evolyutsiyu akusticheskoy volny [Influence of material damage on evolution of acoustic wave]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal], 2015, № 2. P. 32–42.
14. Volkov I. A., Korotkikh Yu. G. Uravneniya sostoyaniya vyazkouprugoplasticheskikh sred s povrezhdeniyami [Equations of the state of viscoelastoplastic media with damages]. Moscow, Fizmatlit, 2008, 242 p.
15. Volkov I. A., Korotkikh Yu. G., Tarasov I. S. Chislennoe modelirovanie nakopleniya povrezhdeniy pri slozhnom plasticheskom deformirovanii [Numerical simulation of damage accumulation in complex plastic deformation]. Vychislitel'naya mekhanika sploshnykh sred [Computational mechanics of continuous media], 2009, Vol. № 1. P. 5–18.
16. GOST 25859-83. Sosudy i apparaty stalnye. Normy i metody raschyota na prochnost pri malotsiklovnykh nagruzkakh [Steel vessels and apparatuses. Norms and methods of fatigue strength calculation under low-cyclic loads]. Vved. 1984-07-01. Moscow, Izd-vo standartov, 1984, 10 p.

© Е. А. Никитина, П. А. Хазов, Д. М. Бриккель, 2018

Получено: 19.12.2017 г.



УДК 624.074.2

Н. Ю. ТРЯНИНА¹, канд. техн. наук, проф. кафедры теории сооружений и технической механики; **И. А. САМОХВАЛОВ**, аспирант кафедры теоретической, компьютерной и экспериментальной механики², асс. кафедры строительных конструкций¹

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА ЖИВУЧЕСТИ СЕТЧАТОГО КУПОЛА

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-49; эл. почта: tstm@nngasu.ru

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» Россия, 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23. Тел. (831) 462-30-04; эл. почта: vkazan@unn.ru

Ключевые слова: живучесть конструкций, динамический расчет, сетчатый купол.

Представлены результаты исследования вопросов живучести стального сетчатого купола в статической и динамической постановке. Дана оценка уровня живучести купола с помощью индекса живучести.

Одним из методов повышения безопасности эксплуатации объекта может быть обеспечение последнего таким качеством как живучесть. Свойство живучести конструкции проявляется только в результате аварийного воздействия, которое приводит к выходу из строя какого-либо элемента конструкции. Живучесть позволяет системе сохраняться как целому в экстремальных для нее условиях.

Живучесть (англ. *toughness*) – способность поврежденной системы адаптироваться к новым, изменившимся и, как правило, непредвиденным ситуациям, противостоять вредным воздействиям, выполняя при этом полностью или частично свою целевую функцию за счет соответствующего изменения структуры и поведения системы [1]. При этом «под живучестью» понимают свойство объекта, состоящее в его способности противостоять развитию критических отказов из-за дефектов и повреждений или свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов. В работе [1] поведение конструкции в поврежденном состоянии предлагается рассматривать в рамках 3-го предельного состояния [1].

В настоящее время широко не применяется прогнозирование аварийных ситуаций (теракты, дефекты конструкций, аварии, вызванные тяжелым режимом работы конструкций и др.), в результате которых происходит разрушение отдельных элементов конструкции.

Актуальность данной работы заключается в том, что в настоящее время проблема оценки живучести конструкций, в том числе и купольных, а также их способности «противостоять» прогрессирующему обрушению далека от их эффективного решения.

Целью работы является численное исследование работы сетчатого купола в статической и динамической постановке в условиях отказа отдельных несущих элементов системы в результате аварийного воздействия. Такой расчет как раз оценивает свойства живучести конструкции. Если при отказе отдельных несущих

элементов конструкция обладает способностью перераспределения усилий на соседние элементы, то можно считать, что она обладает потенциальной живучестью [2].

Для достижения поставленной цели в данной работе были решены следующие задачи:

1. Рассмотрены несколько вариантов обрушения несущих элементов в разных областях сетчатого купола в статической постановке и выявлены наиболее опасные зоны разрушения с точки зрения живучести конструкции.

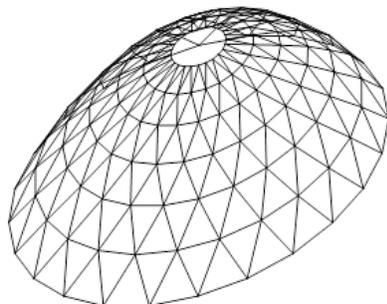
2. Выполнен модальный анализ конструкции и выявлены наиболее неблагоприятные частоты и формы собственных колебаний.

3. Проведена оценка влияния времени действия импульсной нагрузки, необходимой для моделирования динамического эффекта при удалении части покрытия.

4. Проведен численный эксперимент по расчету сетчатого купола на живучесть в динамической постановке.

5. Сделана оценка уровня живучести купола с помощью индекса живучести.

Объектом исследования является сетчатый звездчатый купол диаметром 48 метров и стрелой подъема 16 метров. Был произведен статический расчет данного объекта по действующим нормам для IV снегового района, выполнен подбор сечений элементов по первому и второму предельным состояниям. Расчет выполнялся методом конечных элементов, с применением пакета прикладных программ «SCAD Office». В качестве модели покрытия принята пространственная КЭ-модель, учитывающая геометрические параметры и характер распределения нагрузок: собственный вес, вес покрытия, 3 вида снеговой нагрузки (см. рисунок).

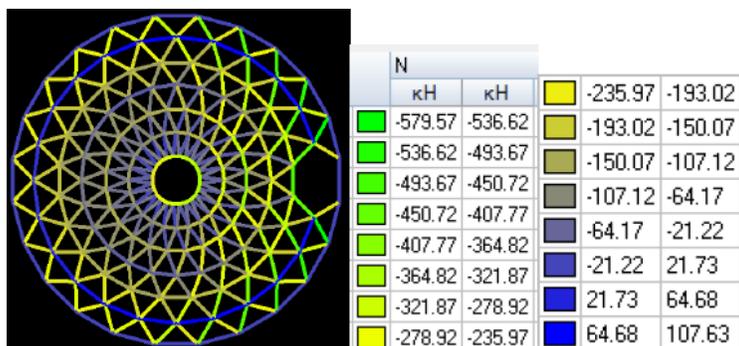


Конечно-элементная модель сетчатого купола

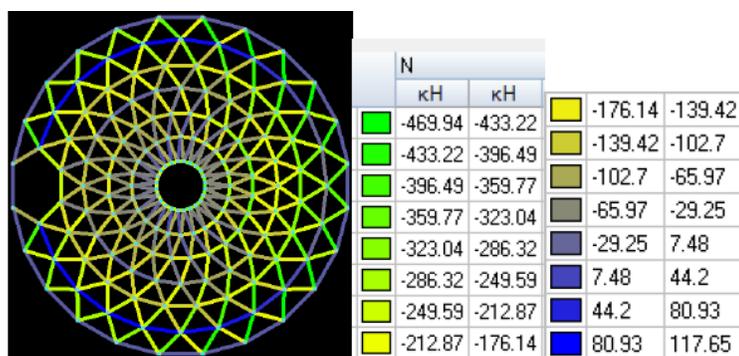
Для исследования вопроса живучести в статической постановке из модели поочередно удалялись различные узлы с примыкающими к ним 6 несущими элементами покрытия, якобы вышедшими из строя в результате аварийного воздействия, и оценивалась способность системы воспринимать те же нагрузки. Были проанализированы изменения внутренних усилий и перемещений узловых точек купола. Выявлены наиболее опасные зоны с точки зрения живучести конструкций.

В результате статического расчета купольного покрытия с удаленными элементами было получено, что в каждом из 8 вариантов разрушения внутренние усилия перераспределяются на стержни 1-го нижнего яруса, и они становятся наиболее загруженными. Усилия в кольцевых элементах данного яруса возрастают на 72 %, а в меридиональных – на 21 %, независимо от расположения удаленных элементов [3] (рис. 1 цв. вклейки). Наиболее опасным изо всех вариантов разрушения является выход из строя элемента нижнего опорного кольца. Это приводит к увеличению усилий в соседних раскосах в 2 раза (рис. 2 цв. вклейки). Максимальные перемещения, которые были выше допустимых, появлялись только в одном случае

**К СТАТЬЕ Н. Ю. ТРЯНИНОЙ, И. А. САМОХВАЛОВА
«ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА ЖИВУЧЕСТИ СЕТЧАТОГО КУПОЛА»**



a



b

Рис. 1. Расчет в статической постановке. Удаление элементов в зоне опорного кольца: *a* – на загруженной снегом стороне; *b* – на незагруженной снегом стороне

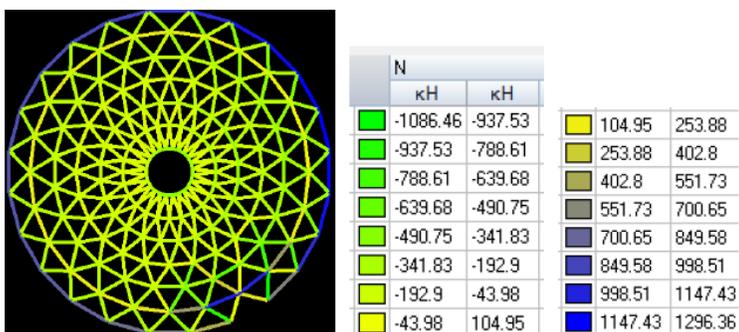


Рис. 2. Расчет в статической постановке. Удаление элемента нижнего опорного кольца

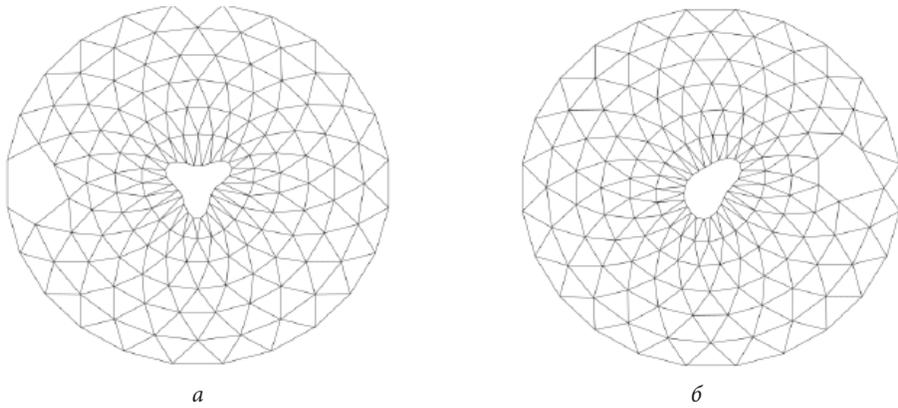


Рис. 3. Модальный анализ: *a* – третья форма, собственная частота 0,88 Гц, удаленный элемент на незагруженной стороне; *б* – третья форма, собственная частота 0,54 Гц, удаленный элемент на загруженной стороне

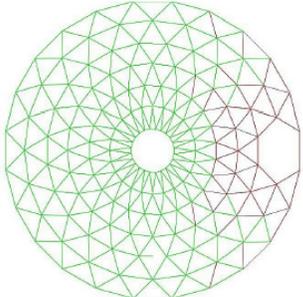
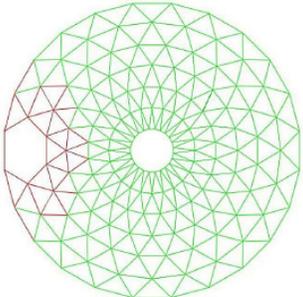
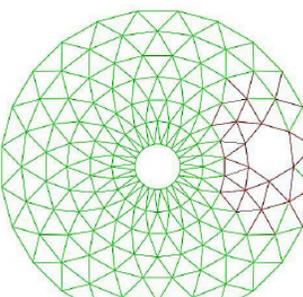
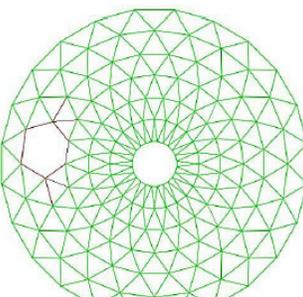
Удаление части сетчатого покрытия со стороны, загруженной снеговой нагрузкой (при несимметричном нагружении)	Удаление части сетчатого покрытия со стороны, не загруженной снеговой нагрузкой (при несимметричном нагружении)
<p style="text-align: center;">$T_{\text{имп}} = 0,466 \text{ с}$</p> 	<p style="text-align: center;">$T_{\text{имп}} = 0,551 \text{ с}$</p> 
<p style="text-align: center;">$T_{\text{имп}} = 0,515 \text{ с}$</p> 	<p style="text-align: center;">$T_{\text{имп}} = 0,664 \text{ с}$</p> 

Рис. 4. Расчет сетчатого купола на живучесть в динамической постановке при отказе отдельных узлов покрытия



отказа элементов – элементов верхнего яруса купола.

Важнейшими динамическими характеристиками конструкции являются частоты и формы собственных колебаний. Для их оценки был проведен модальный анализ конструкции с преобразованием статических нагрузок в массы (при равномерном распределении снега). Определение собственных форм и частот производилось методом Ланцоша в частотном диапазоне от 0 до 33 Гц (309 форм собственных колебаний). Другими словами, модальный анализ конструкции проводился с целью определения – как удаление тех или иных узлов влияет на формы и частоты собственных колебаний. В результате проведенных исследований были получены величины отклонений собственных частот колебаний при различных вариантах разрушения элементов от частот неповрежденной конструкции. Было выявлено, что по величине существенно изменились только собственные частоты третьей и четвертой формы. При одном случае разрушения изменилась пятая частота. Были определены собственные частоты колебаний, которые получили наибольшие отклонения, что дало возможность использовать их в дальнейших динамических расчетах [4] (рис. 3 цв. вклейки).

При обрушении группы элементов на оставшуюся конструкцию действуют внезапно возникающие от этого падения нагрузки. Приходятся эти нагрузки в те узлы, из которых происходит падение элемента. При задании динамического нагружения необходимо преобразовать статические нагрузки в массы, а именно: собственный вес, вес покрытия и снега по всей поверхности (так как операция производится при варианте равномерно распределенной снеговой нагрузки). Но если элемент удален, с него автоматически нагрузка не собирается, то есть необходимо собрать ее вручную и распределить в соседние узлы.

Методика расчета конструкции на живучесть с помощью импульсных однократных нагрузок представлена в работе [2] и имеет следующую последовательность:

- 1) удаление группы элементов (обрушившихся);
- 2) добавление вместо выбывших элементов их внутренних усилий с обратным знаком, действующих в соседние узлы;
- 3) добавление в соседние узлы нагрузок от собственного веса обрушившихся конструкций с учетом коэффициента перегрузки kg ;
- 4) добавление в те же узлы динамического нагружения в виде однократного импульса, продолжительность действия которого принимается $1/20$ от периода той формы колебаний, которая является наиболее неблагоприятной по результатам модального анализа (так, в данной работе использовались периоды первой, третьей и пятой форм колебаний). Форма воздействия импульсной нагрузки принималась линейно-убывающей;
- 5) расчет конструкции, перерасчет ее в постпроцессоре «проверка металлопроката» по критическому фактору k_{max} (расчет по первому и второму предельным состояниям);
- 6) анализ результатов (неработающие элементы обозначаются красным цветом, работающие элементы – зеленым цветом).

В данной работе рассматривались несколько вариантов удаления узлов сетчатого купола при несимметричном нагружении снеговой нагрузкой как со стороны, нагруженной снеговой нагрузкой, так и с незагруженной стороны (рис. 4 цв. вклейки).

Поскольку живучесть той или иной конструктивной формы обеспечивается за счет перераспределения усилий между элементами конструкции и зависит от ее связности, то общая закономерность при выборе конструктивной формы заключа-



ется в предпочтении многосвязных конструктивных систем. Уровень живучести конструкции после повреждения n -го уровня или этапа предлагается оценивать индексом или коэффициентом живучести I_{rob}^n [1]:

$$I_{rob}^n = \frac{N_{\text{вс.элемен.}} - N_{\text{выбыв.}}}{N_{\text{вс.элемен.}}} \cdot 100 \%,$$

где: $N_{\text{вс.элемен.}}$ – общее число элементов конструкции, $N_{\text{выбыв.}}$ – число элементов, вышедших из строя.

В работе определен индекс живучести при разрушении узлов сетки в разных зонах купола, и результаты сведены в таблицу.

Значение индекса живучести

Вариант разрушения	Разрушение части сетчатого покрытия со стороны, нагруженной снеговой нагрузкой (при несимметричном нагружении)		Разрушение части сетчатого покрытия со стороны, не нагруженной снеговой нагрузкой (при несимметричном нагружении)	
	количество разрушенных элементов	коэффициент живучести, %	количество разрушенных элементов	коэффициент живучести, %
зона купола с удаленным элементом				
нижний ярус	66	84,2	39	91,3
средний ярус	45	90	25	94,4
верхний ярус	34	92,4	11	97,5
средний индекс		88,86		94,40

Основные выводы:

1. Конструкция сетчатого купольного покрытия обладает высокой живучестью, так как при выключении отдельных узлов сетки обрушения не происходит.
2. Опасная зона, с точки зрения живучести, находится возле опорного кольца. Удаление одного отдельного элемента в ней приводит к наибольшему проценту разрушения конструкции, индекс живучести здесь составляет 84,2 %.
3. Значительное увеличение зоны разрушения происходит, когда время действия импульса лежит в интервале от 0,2 до 0,6 с, дальнейшее увеличение времени действия импульса приводит лишь к незначительным изменениям.
4. Средний индекс живучести конструкции возрастает при разрушении элементов, расположенных дальше от опорного кольца и ближе к внутреннему кольцу, и изменяется от 87,7 до 94,9 %.
5. Индекс живучести при разрушении части сетчатого покрытия со стороны, не нагруженной снеговой нагрузкой (при несимметричном нагружении), на 4–7 % выше, чем со стороны, нагруженной снегом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудишин, Ю. И. Методика расчета строительных конструкций на единичную живучесть / Ю. И. Кудишин, Д. Ю. Дробот // Современные металлические и деревянные конструкции (нормирование, проектирование и строительство) : сб. науч. тр. Междунар. симп. – Брест, 2009. – С. 132–141.
2. Трянина, Н. Ю. Исследование вопроса живучести стальных сетчатых покрытий / Н. Ю. Трянина, П. С. Тестоедов // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2015. – № 1(33). – С. 9–15.



3. Самохвалов, И. А. Статический анализ купольного сетчатого покрытия при разрушении отдельных его несущих элементов / И. А. Самохвалов, Н. Ю. Трянина // Труды научного конгресса 14-го Российского архитектурно-строительного форума / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2016. – С. 80–84.

4. Самохвалов, И. А. Модальный анализ купольного сетчатого покрытия при потере несущей способности отдельных его узлов / И. А. Самохвалов, Н. Ю. Трянина // Труды научного конгресса 14-го Российского архитектурно-строительного форума / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2016. – С. 84–87.

TRYANINA Nadezhda Yurevna¹, candidate of technical sciences, professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; SAMOKHVALOV Ivan Aleksandrovich, postgraduate student of the chair of theoretical, computer and experimental mechanics², assistant of the chair of building structures¹

THE INVESTIGATION OF AN ISSUE OF ROBUSTNESS OF A MESH DOME

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-49;
e-mail: tstm@nngasu.ru

²National Research Lobachevsky Nizhny Novgorod State University
23, Gagarin St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 462-30-03;
e-mail: unn@unn.ru

Key words: robustness of constructions, dynamic calculation, mesh dome.

The article presents the results of the study of the vitality of steel mesh domes in static and dynamic setting. Evaluation of the level of dome survivability with the help of the survivability coefficient is given.

REFERENCES

1. Kudishin Yu. I., Drobot D. Yu. Metodika raschyota stroitelnykh konstruktsiy na ednichnuyu zhivuchest [Procedure of constructions single robustness calculation]. Sovremennye metallicheskie i derevyannye konstruktsii (normirovanie, proektirovanie istroitelstvo) [Modern metal and wooden structures (standardization, design and construction)]. Sb. nauch. tr. Mezhdunar. simp. Brest, 2009. P. 132–141.

2. Tryanina N. Yu., Testoedov P. S. Issledovanie voprosa zhivuchesti stalnykh setchatykh pokrytiy [The investigation of the survivability problems of steel mesh covering]. Provolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal], № 1 (33), 2015. P. 9–15.

3. Samokhvalov. A., Tryanina N. Yu. Sticheskiy analiz kupolnogo setchatogo pokrytiya pri razrushenii otdelnykh ego nesyschikh elementov [Static analysis of the dome mesh covering with the destruction of its individual supporting elements]. Trudy nauchnogo kongressa 14-go Rossiyskogo arkhitekturno-stroitel'nogo foruma. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. [Proceedings of the scientific congress of the 14th Russian Architectural and Construction Forum]. 2016. P. 80–84.

4. Samokhvalov I. A., Tryanina N. Yu. Modalny analiz kupolnogo setchatogo pokrytiya pri potere nesuschey sposobnosti otdelnykh ego uzlov [Modal analysis of the dome mesh cover with a loss of the bearing capacity of its individual nodes]. Trudy nauchnogo kongressa 14-go Rossiyskogo arkhitekturno-stroitel'nogo foruma. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. [Proceedings of the scientific congress of the 14th Russian Architectural and Construction Forum]. 2016. P. 84–87.

© Н. Ю. Трянина, И. А. Самохвалов, 2018

Получено: 09.12.2017 г.



УДК 699.844

В. Н. БОБЫЛЕВ, чл.-кор. РААСН, проф., зав. кафедрой архитектуры;
В. В. ДЫМЧЕНКО, ст. преп. кафедры архитектуры; **Д. В. МОНИЧ**, канд.
техн. наук, проф. кафедры архитектуры; **П. А. ХАЗОВ**, ст. преп. кафедры тео-
рии сооружений и технической механики

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ КАРКАСНО-ОБШИВНЫХ ПЕРЕГОРОДОК С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СТОЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-46;
эл. почта: k-arhi@yandex.ru

Ключевые слова: звукоизоляция, каркасно-обшивная перегородка, стоечный профиль.

Рассмотрены вопросы повышения звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок путем изменения жесткостных параметров стоечных профилей при малоизменяемой массе. Представлены результаты численного моделирования перемещений стоечных профилей различной жесткости, а также перегородок с их использованием. Приведены экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции перегородок с исследуемыми стоечными профилями. Результаты исследований показывают, что ограждение, имеющее большую податливость в направлении, перпендикулярном плоскости обшивок, обладает более высокими значениями звукоизоляции в широком диапазоне частот.

В настоящее время каркасно-обшивные перегородки получили большое распространение в практике гражданского и промышленного строительства. Их отличает небольшая масса, технологичность возведения. Звукоизолирующие свойства данного типа перегородок исследовались различными авторами [1–5]. В данных работах отмечено влияние различных параметров на прохождение звука через ограждение типа каркаса, способа крепления листов обшивок к каркасу, наличия упругих прокладок между листами обшивок и каркасом, заполнения воздушного промежутка звукопоглощающим материалом и др.

Одним из факторов, оказывающих влияние на звукоизолирующие свойства перегородок, является наличие стоечных профилей каркаса, к которым с обеих сторон крепятся листы обшивок. Влияние данных элементов на прохождение звука через ограждение можно условно разделить на две составляющие: 1) непосредственная передача звуковых колебаний от одной обшивки к другой – «звуковой мостик»; 2) изменение жесткостных параметров ограждения в целом (является предметом рассмотрения в данной статье).

В рамках проведенных исследований были рассмотрены три типа стоечных профилей, имеющих одинаковую высоту поперечного сечения (см. рис. 1). Жесткостные параметры данных профилей приведены в таблице.

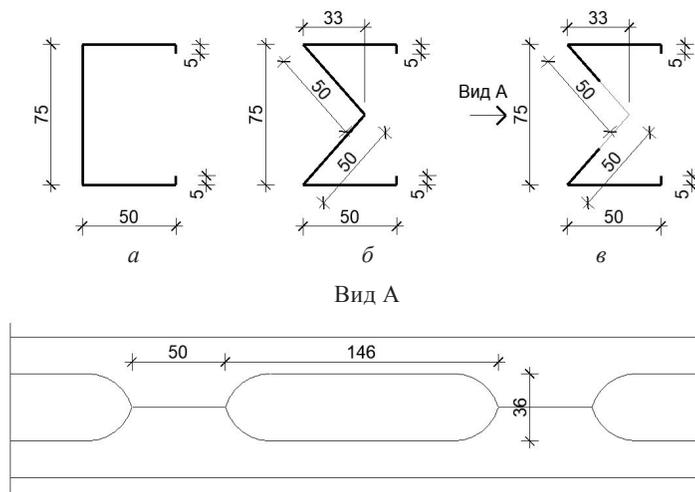


Рис. 1. Типы исследованных стоечных профилей: *a* – стандартный профиль (швеллер); *б* – сигма-образный профиль; *в* – сигма-образный перфорированный профиль [6]

В расчетно-вычислительном комплексе «Structure CAD» было проведено численное моделирование перемещений для трех типов стоечных профилей. Перемещения оценивались для двух вариантов нагрузки: от приложения изгибающего момента и от закручивающего момента 0,1 кНм. Результаты численного моделирования представлены на рис. 1–3 цв. вклейки.

Жесткостные параметры исследуемых стоечных профилей

Тип профиля	Схема поперечного сечения профиля	Изгибная жесткость профиля, EJ , кНм ²	Крутильная жесткость профиля, GJ_p , кНм ²
стандартный (швеллер)		6,793	0,919
сигма-образный		7,102	0,943
сигма-образный перфорированный		6,944	0,916

После этого было проведено численное моделирование перемещений для трех типов каркасно-обшивных перегородок (с применением стоечных профилей вышеуказанных типов) при действии одинаковой статической равномерно распределенной нагрузки 0,1 кН/м². Результаты численного моделирования представлены на рис. 4 цв. вклейки.

Анализируя полученные данные, можно видеть, что геометрические характеристики стоечных профилей оказывают влияние не только на их собственные

жесткостные параметры, но и на жесткость каркасно-обшивной перегородки в целом. На рис. 4 цв. вклейки можно видеть, что применение сигма-образных перфорированных стоечных профилей позволяет обеспечить наибольшие перемещения обшивки перегородки в направлении, перпендикулярном ее поверхности (наибольшая податливость). Сравнительный анализ данных перемещений представлен на рис. 2.

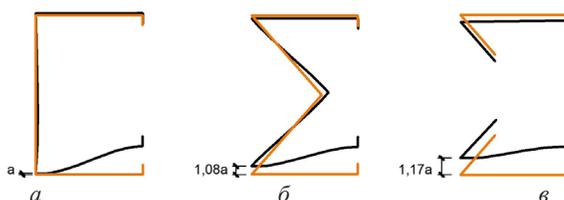


Рис. 2. Величины относительных перемещений листовых обшивок для трех типов перегородок (см. рис. 4 цв. вклейки): *a* – с использованием стандартных стоечных профилей (швеллер); *b* – с использованием сигма-образных стоечных профилей; *v* – с использованием сигма-образных перфорированных стоечных профилей

Известно, что жесткостные параметры многослойных ограждающих конструкций оказывают значительное влияние на их звукоизолирующие свойства в широком диапазоне частот. Для исследования данного вопроса в больших реверберационных камерах лаборатории акустики ННГАСУ были проведены экспериментальные исследования звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с тремя типами стоечных профилей. Результаты приведены на рис. 3.

Для проведения сравнительного анализа на рис. 3 также представлена частотная характеристика звукоизоляции двойного ограждения без стоечных профилей – два гипсоволокнистых листа, установленных с воздушным промежутком 75 мм. Данный тип ограждения можно условно рассматривать как предельный случай, когда влияние стоечных профилей отсутствует.

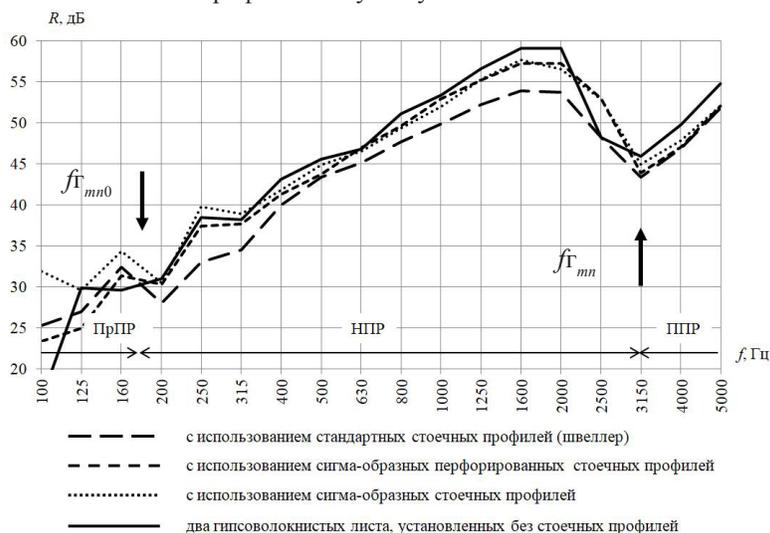


Рис. 3. Экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с различными типами стоечных профилей (размеры образцов 2,0 м × 1,2 м; обшивки из гипсоволокнистых листов толщиной по 12,5 мм каждая; воздушный промежуток 75 мм, без заполнения звукопоглощающим материалом)

**К СТАТЬЕ В. Н. БОБЫЛЕВА, В. В. ДЫМЧЕНКО, Д. В. МОНИЧА,
П. А. ХАЗОВА «ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ КАРКАСНО-ОБШИВНЫХ ПЕРЕГОРОДОК
С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СТОЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ»**

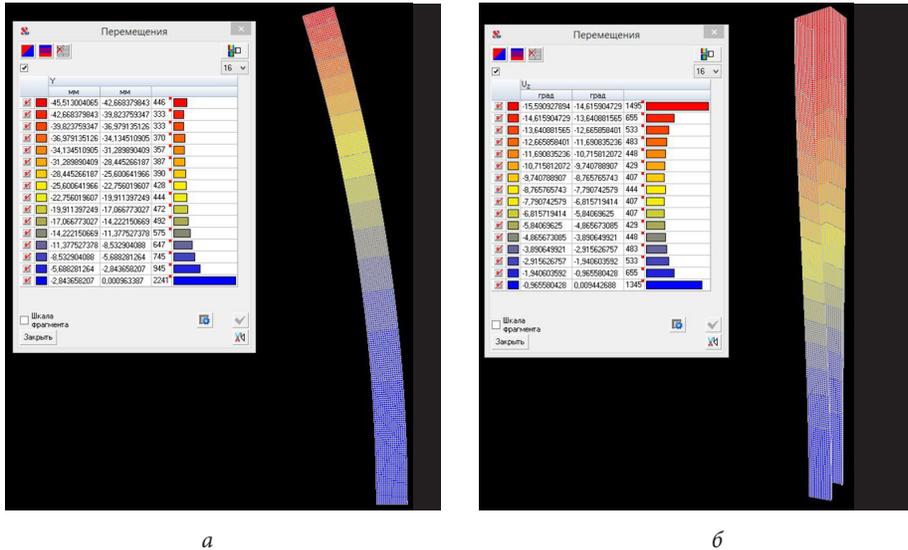


Рис. 1. Результаты численного моделирования перемещений стандартного стоечного профиля (швеллер): *а* – от изгиба (в мм); *б* – от закручивания (в градусах)

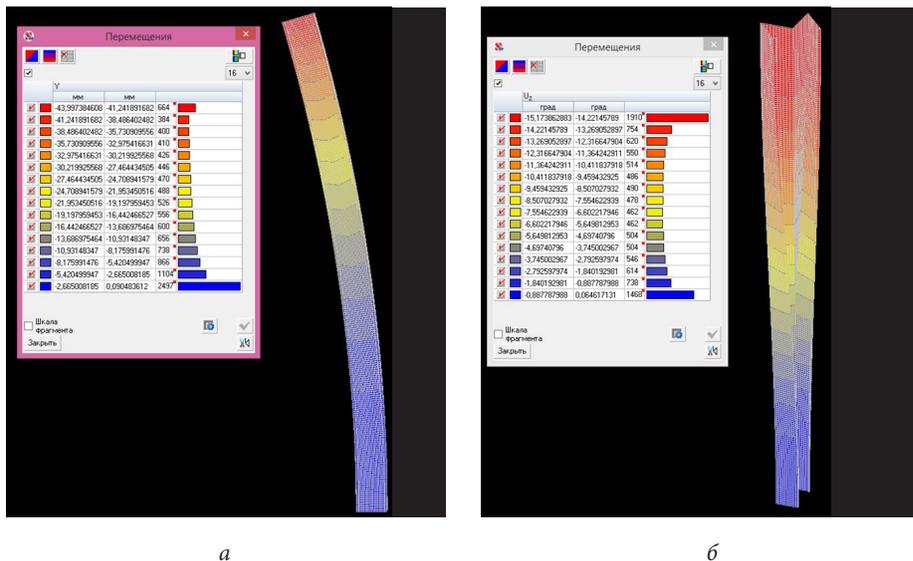
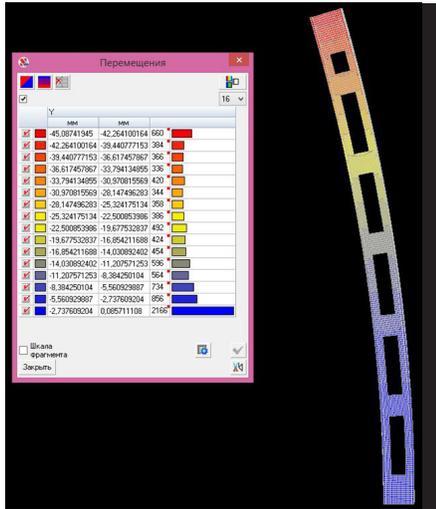
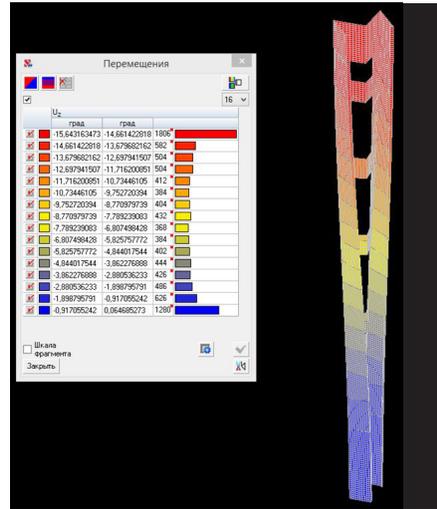


Рис. 2. Результаты численного моделирования перемещений сигма-образного стоечного профиля: *а* – от изгиба (в мм); *б* – от закручивания (в градусах)

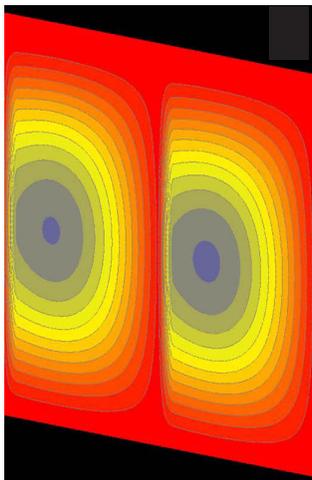


a

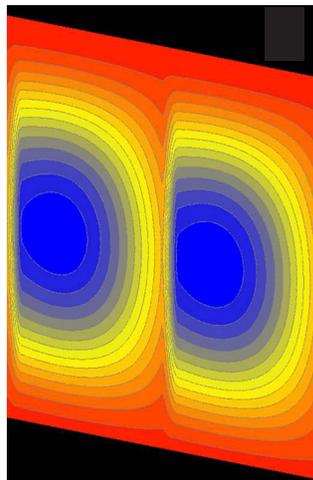


б

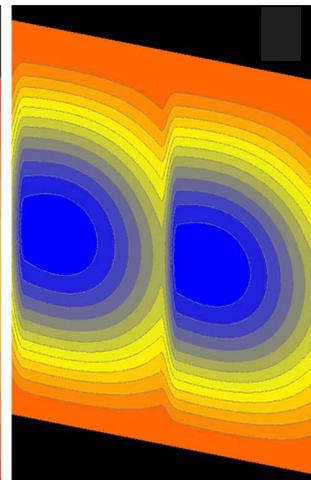
Рис. 3. Результаты численного моделирования перемещений сигма-образного перфорированного стоечного профиля: *a* – от изгиба (в мм); *б* – от закручивания (в градусах)



a



б



в

Рис. 4. Результаты численного моделирования перемещений каркасно-обшивной перегородки (показан фрагмент размером $1,2 \times 1,2$ м; обшивки из гипсоволокнистых листов толщиной по 12,5 мм каждая; высота сечения профиля 75 мм; шаг стоечных профилей 600 мм): *a* – с использованием стандартных стоечных профилей (швеллер); *б* – с использованием сигма-образных стоечных профилей; *в* – с использованием сигма-образных перфорированных стоечных профилей



Можно видеть, что применение стоечных профилей исследуемых трех типов оказывает влияние на звукоизоляцию перегородки в широком диапазоне частот. Наибольший интерес представляет диапазон неполных пространственных резонансов (НПР) [7]. Здесь повышение звукоизоляции перегородки с сигма-образным перфорированным стоечным профилем составило от 1 до 5 дБ по сравнению с перегородкой со стандартными профилями.

Также представляет интерес сравнение частотных характеристик звукоизоляции перегородок с использованием сигма-образных профилей с предельным случаем, без использования стоечных профилей каркаса. Здесь можно видеть, что сигма-образные стоечные профили позволяют обеспечить наилучший результат – минимизировать негативное влияние элементов каркаса на звукоизоляцию каркасно-обшивных перегородок.

Ниже приведены значения индексов изоляции воздушного шума для трех типов исследуемых перегородок в сравнении с конструкцией без стоечных профилей каркаса:

- $R_{w1} = 44$ дБ (перегородка с использованием стандартных стоечных профилей (швеллер));
- $R_{w2} = 47$ дБ (перегородка с использованием сигма-образных стоечных профилей);
- $R_{w3} = 45$ дБ (перегородка с использованием сигма-образных перфорированных стоечных профилей);
- $R_{w4} = 46$ дБ (два гипсоволокнистых листа, установленных без стоечных профилей каркаса).

Сравнение экспериментальных результатов с результатами численного моделирования перемещений (см. рис. 2, рис. 4 цв. вклейки) показывает, что ограждение, имеющее большую податливость в направлении, перпендикулярном плоскости обшивки, обладает более высокими значениями звукоизоляции в диапазонах НПР и ППР. Результаты проведенных исследований позволяют разрабатывать новые типы звукоизолирующих каркасно-обшивных перегородок с рациональными конструктивными решениями.

Исследование выполнено за счет средств Государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы в рамках Плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН, раздел тематики научных исследований №7.6, название темы: «Исследование резонансного и инерционного механизма прохождения звука через новые типы многослойных изотропных и ортотропных ограждающих конструкций для уникальных зданий и разработка теоретических методов расчета их звукоизоляции».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Craik, R. J. M. Sound transmission through double leaf lightweight partitions. Part I : Airborne sound / R. J. M. Craik, R. S. Smith // Appl. Acoust. – 2000. – V. 61. – P. 223–245.
2. Wang, J. Sound transmission through lightweight double-leaf partitions: theoretical modelling / J. Wang, T. J. Lu, J. Woodhouse, R. S. Langley, J. Evans // J. Sound Vib. – 2005. – V. 286. – P. 817–847.
3. Fahy, F. Mechanical stiffening and coupling of double partition leaves. In Sound and structural vibration – Radiation, transmission and response / F. Fahy, P. Gardonio // Academic Press. – London : United Kingdom, 2006. – P. 323–330.
4. Кочкин, А. А. Исследование звукового давления в воздушном промежутке двойной ограждающей конструкции из слоистых вибродемпфированных элементов / А. А. Кочкин, Л. А. Борисов // Жилищное строительство. – 2015. – № 7. – С. 52–54.
5. Боголепов, И. И. Увеличение звукоизоляции двустенных конструкций за счет применения звукоизолирующих мостиков // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 2. – С. 46–53.



6. Звукоизолирующая каркасно-обшивная перегородка с перфорированными стоечными профилями изогнутой формы : пат. № 2566547 Рос. Федерации / В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко, Д. В. Мониц, В. А. Тишков, В. А. Жданов; заявл. 05.06.2014; опубл. 29.09.2015.
7. Седов, М. С. Звукоизоляция / М. С. Седов // Техническая акустика транспортных машин : справочник / под ред. Н. И. Иванова. – Санкт-Петербург, 1992. – Гл. 4. – С. 68–106.

BOBYLYOV Vladimir Nikolaevich, corresponding member of the Russian academy of architecture and construction sciences, professor, holder of the chair of architecture; DYMCHENKO Vladimir Viktorovich, senior teacher of the chair of architecture; MONICH Dmitriy Viktorovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of architecture; HAZOV Pavel Alekseevich, senior teacher of the chair of structural theory and technical mechanics

NUMERICAL SIMULATION OF SOUND-INSULATING FRAMED PARTITIONS WITH VARIOUS TYPES OF FRAME PROFILES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia.
Tel.: +7 (831) 430-19-46; e-mail: dmitriy.monich@mail.ru
Key words: sound insulation, framed partition, frame profiles.

The article considers problems of increasing sound insulation of framed partitions by changing stiffness parameters of frame profiles with an unchanged mass. The results of the numerical modeling of frame profiles of different rigidity, as well as partitions made of them are presented. The experimental frequency characteristics of sound insulation of partitions with investigated frame profiles are given. The results of the studies show that a wall having higher compliance in the direction perpendicular to the plane of the frames has higher values of sound insulation over a wide range of frequencies.

REFERENCES

1. Craik R. J. M., Smith R. S. Sound transmission through double leaf lightweight partitions. Part I: Airborne sound // *Appl. Acoust.*, 61. 2000. P. 223–245.
2. Wang J., Lu T. J., Woodhouse J., Langley R. S., Evans J. Sound transmission through lightweight double-leaf partitions: theoretical modelling // *J. Sound Vib.*, Vol. 286. 2005. P. 817–847.
3. Fahy F., Gardonio P. Mechanical stiffening and coupling of double partition leaves. In sound and structural vibration – Radiation, transmission and response. Academic Press, London, United Kingdom. 2006. P. 323–330.
4. Kochkin A. A., Borisov L. A. Issledovanie zvukovogo davleniya v vozdushnom promezhutke dvoynoy ograzhdayushey konstruktsii iz sloistykh vibrodempirovannykh elementov [Investigation of sound pressure in the air gap of a double enclosing structure made of layered vibrodamped elements]. *Zhilyshnoe stroitelstvo* [Housing construction]. 2015, № 7. P. 52–54.
5. Bogolepov I. I. Uvelichenie zvukoizolyatsii dvustennykh konstruktsiy za schyot primeneniya zvukoizoliruyuschikh mostikov [Increase of sound insulation of double-walled structures due to application of sound-insulating bridges]. *Inzhenerno-stroitelny zhurnal* [Engineering and Construction Journal]. 2009, № 2. P. 46–53.
6. Boblyov V. N., Dymchenko V. V., Monich D. V., Tishkov V. A., Zhdanov V. A. Zvukoizoliruyushaya karkasno-obshivnaya peregorodka s perforirovannymi stoechnymi profilyami izognutoy formy [Sound insulating framed partition with perforated frame profiles of curved shape]. Patent na izobreteniye № 2566547 ot 29.09.2015. Prioritet ot 05.06.2014 [Patent for invention № 2566547 of 29.09.2015. Priority of 05.06.2014].
7. Sedov M. S. Zvukoizolyatsiya [Sound insulation]. *Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin* [Technical acoustics of vehicles]: spravochnik pod redaktsiyey N. I. Ivanova. Saint-Petersburg, Politekhnik, 1992. Ch. 4. P. 68–106.

© В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко, Д. В. Мониц, П. А. Хазов, 2018

Получено: 10.01.2018 г.



УДК 534.2

В. И. ЛЕДЕНЕВ, д-р техн. наук, проф. кафедры городского строительства и автомобильных дорог; **А. М. МАКАРОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог; **И. В. МАТВЕЕВА**, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог; **Е. О. СОЛОМАТИН**, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗАТУХАНИЯ ЗВУКОВОЙ ЭНЕРГИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ РАСЧЕТАХ ШУМА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Россия, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Е. Тел.: (4752) 63-09-20, (4752) 63-03-72; эл. почта: gsiad@mail.tambov.ru

Ключевые слова: производственные помещения, шум, расчет шума, уровень звукового давления, затухание звука.

Приведены формулы для определения коэффициентов затухания отраженной звуковой энергии в помещениях и показана возможность их использования при расчетах шума в производственных зданиях. Установлено, что при оценке шума в помещениях правильной геометрической формы можно использовать метод изображений, в котором дискретное поглощение звуковой энергии на ограждениях помещения и технологическом оборудовании заменяется эквивалентным ему пространственным затуханием отраженной звуковой энергии в воздушном объеме помещения.

Процессы возникновения, распространения и затухания отраженной звуковой энергии в производственных помещениях зависят от звукопоглощения ограждений и от характера отражения звуковых волн от них. Сведения о затухании энергии необходимы при выборе математических моделей отраженных шумовых полей помещений и разработке методов их реализации.

На распределение звуковой энергии в помещениях оказывают влияние звукопоглощение ограждений и характер отражения звуковых волн от их поверхностей [1, 2]. Звукопоглощение и отражение звука совместно влияют на процесс затухания отраженной звуковой энергии в помещениях. Сведения о затухании энергии необходимы при выборе расчетных моделей шумовых полей и разработке методов их реализации [3].

Известно, что в производственных помещениях формируются отраженные квазидиффузные шумовые поля, в которых обеспечивается изотропность угловой направленности элементарных потоков звуковой энергии [4]. Подобное возможно в случае рассеянного отражения звуковых волн от поверхностей ограждения. Получающееся при этом стохастическое пространственное распределение отраженных волн соответствует распространению волн в реверберационных камерах. Следовательно, в этом случае при расчетах шума правомерно использовать диффузные коэффициенты звукопоглощения. Этого достаточно при решении задач методами, учитывающими в граничных условиях конкретные величины звукопоглощения каждого участка поверхностей ограждений, например численными методами, реализующими статистическую модель отраженных шумовых полей [5]. В случаях, когда при решении задачи используются осредненные граничные ус-



ловия или звукопоглощение на границах заменяется эквивалентным звукопоглощением в среде, приходится использовать при расчетах осредненные по всему помещению коэффициенты звукопоглощения. При этом становится принципиально важным вопрос об усреднении коэффициентов звукопоглощения при неодинаковых поглощающих свойствах ограждений.

Как правило, используется арифметическое усреднение коэффициентов звукопоглощения ограждающих поверхностей [6]

$$\bar{\alpha} = \left(\sum_i \alpha_i S_i \right) / S, \quad (1)$$

где α_i – диффузный коэффициент звукопоглощения i -го элемента ограждающей поверхности площадью S_i ; S – общая площадь всех ограждений.

При таком усреднении предполагается равномерное распределение звуковой энергии в помещении и ее непрерывное поглощение на границах [7]. Данные условия не всегда выполняются в реальных производственных помещениях, и при расчетах средних коэффициентов звукопоглощения следует использовать гипотезу Эйринга-Миллингтона о дискретном убывании энергии волн в моменты их падения на ограждения. При этом предполагается, что на длине свободного пробега между отражениями волны распространяются без затухания. Проследивая пути распространения звуковых волн на протяжении многих отражений и полагая, что в среднем каждая волна встречает какую-либо поверхность такое число раз, которое пропорционально ее площади, можно перейти к геометрическому усреднению коэффициентов звукопоглощения.

При большом числе отражений звуковой волны от поверхностей начальная энергия волны уменьшится пропорционально произведению коэффициентов отражения i -х поверхностей в степенях, определяемых соответствующими вероятностями падения, умноженными на общее число отражений N . Следовательно, с учетом молекулярного затухания звука в воздухе в случае K отражающих поверхностей можно записать

$$E_i = E \cdot e^{-m_b N \bar{l}} \prod_{i=1}^K (1 - \alpha_i)^{\xi_i N}, \quad (2)$$

где E – начальная энергия волны; E_i – энергия волны после N отражений; $\xi_i = S_i / S$ – вероятность падения звуковой волны на i -ю поверхность; α_i – коэффициент звукопоглощения i -й поверхности; m_b – коэффициент затухания звука в воздухе; \bar{l} – средняя длина свободного пробега отраженных звуковых волн в помещении.

Для определения среднего геометрического коэффициента звукопоглощения помещения можно записать равенство

$$E_i = E \cdot e^{-m_b N \bar{l}} \prod_{i=1}^K (1 - \alpha_i)^{\xi_i N} = E(1 - \bar{\alpha})^N = E \cdot e^{-m_s N \bar{l}} \quad (3)$$

и из последнего получить

$$m_s = -\frac{\ln(1 - \bar{\alpha})}{\bar{l}} = -\frac{\sum_{i=1}^K S_i \ln(1 - \alpha_i)}{S \cdot \bar{l}} + m_b. \quad (4)$$

Тогда средний коэффициент звукопоглощения определится как



$$\tilde{\alpha} = 1 - \exp(-m_3 \bar{l}) = 1 - \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^K S_i \ln(1 - \alpha_i)}{S} - m_3 \bar{l}\right). \quad (5)$$

Коэффициент $\tilde{\alpha}$ – эквивалентный коэффициент звукопоглощения, заменяющий неоднородное звукопоглощение поверхностей и затухание звука в воздухе идентичными условиями однородного распределения поглощения на ограждениях.

Переход от (2) к (3) и (4) приводит к замене дискретного процесса поглощения энергии волны экспоненциальным процессом ее затухания. Так как энергетические параметры шумового поля в каждой точке помещения определяются суперпозицией большого количества статистически независимых волн, такая замена не вносит существенной погрешности в конечный результат.

При таком подходе к осреднению коэффициентов звукопоглощения имеется недостаток, связанный с тем, что в случае наличия даже одной какой-либо малой i -й поверхности, обладающей полным звукопоглощением ($\alpha_i = 1$), преобразование выражения (2) становится невозможным. Учет любого маловероятного события полного поглощения приводит к нулю произведение сомножителей в выражении (2), то есть к полному исчезновению отраженного поля, что не соответствует действительной физической картине. Так как в стенах и перекрытиях производственных помещений может иметься большое количество открытых технологических проемов и отверстий с коэффициентом $\alpha_i = 1$, данное несоответствие следует исключить. Это возможно сделать, если полностью поглощающему участку поверхности приписать только пассивную роль стока энергии. Падающая на такие участки энергия не участвует в дальнейшем формировании поля, но при этом не нарушаются условия изотропности.

При наличии полного поглощения на поверхности S_0 в формировании поля участвует только часть энергии, равная $(1 - \xi_0)E$, где $\xi_0 = S_0/S$ – вероятность падения звуковой волны на полностью поглощающую поверхность. Зависимость спада энергии в этом случае можно представить как

$$E(1 - \tilde{\alpha})(1 - \xi_0) = E \exp(-m_3 \bar{l}) \quad (6)$$

и, соответственно, с учетом звукопоглощения в воздухе получить

$$m_3 = - \frac{\ln(1 - \tilde{\alpha}) + \ln(1 - \xi_0)}{\bar{l}} + m_e = - \frac{S \ln(1 - \xi_0) + \sum_{i=1}^K S_i \ln(1 - \alpha_i)}{S \cdot \bar{l}} + m_e. \quad (7)$$

Величину m_3 можно считать эквивалентным пространственным коэффициентом затухания звуковой энергии в объеме, заменяющим поглощение звуковой энергии на ограждениях и молекулярное поглощение в воздушной среде. Данное представление удобно для осредненного описания процесса поглощения звука в помещении и использовано нами при разработке приближенного расчетного метода, реализующего статистическую энергетическую модель [8].

В производственных помещениях всегда имеется определенное количество предметов (строительные конструкции, оборудование и др.), на которых также поглощается часть звуковой энергии [9]. Это поглощение возможно учесть в виде пространственного коэффициента затухания $m_{об}$, определяемого по формуле



$$m'_{об} = -\frac{S_{об} \ln(1 - \bar{\alpha}_{об})}{S \cdot \bar{l}}, \quad (8)$$

где $\bar{\alpha}_{об}$ – средний коэффициент звукопоглощения предметов, определяемый по методике, приведенной в [10]; $S_{об}$ – общая площадь поверхностей предметов; S – суммарная площадь поверхностей помещения.

Таким образом, при наличии в помещении предметов эквивалентный пространственный коэффициент затухания звуковой энергии будет определяться четырьмя слагаемыми

$$m'_{об} = m'_в + m'_{об} - \frac{\ln(1 - \xi_0)}{\bar{l}} - \frac{\sum_{i=1}^K S_i \ln(1 - \alpha_i)}{S \cdot \bar{l}}, \quad (9)$$

а средний коэффициент звукопоглощения $\bar{\alpha}$ вычисляться как

$$\bar{\alpha} = 1 - \exp(-m'_в \bar{l}) = 1 - \exp\left[\frac{S \ln(1 - \xi_0) + \sum_{i=1}^K S_i \ln(1 - \alpha_i) + S_{об} \ln(1 - \bar{\alpha}_{об})}{S} - m'_в \bar{l} \right]. \quad (10)$$

В случаях, когда в расчетных методах используются граничные условия, учитывающие конкретное звукопоглощение на ограждениях, эквивалентный коэффициент затухания звуковой энергии в объеме определяется первыми двумя членами выражения (9).

При необходимости это затухание можно также учесть в граничных условиях путем прибавления к коэффициентам звукопоглощения равную для всех поверхностей добавку, определяемую как

$$\Delta \bar{\alpha} = 1 - \exp(-m'_в \bar{l}) = 1 - \exp\left(\frac{S_{об} \ln(1 - \bar{\alpha}_{об})}{S} - m'_в \bar{l} \right). \quad (11)$$

Возможность замены поглощения звука на ограждениях и предметах эквивалентным поглощением звука в воздушном объеме помещения дает возможность упрощения граничных условий в статистической энергетической модели, описывающей распределение плотности отраженной звуковой энергии в квазидиффузных шумовых полях производственных помещений [11]. В случаях переноса звукопоглощения с границ в объем распределение отраженной звуковой энергии при стационарном шумовом режиме описывается дифференциальным уравнением

$$\nabla^2 \varepsilon - \gamma^2 \varepsilon = 0 \quad (12)$$

с граничными условиями

$$\left. \frac{\partial \varepsilon}{\partial n} \right|_S = 0. \quad (13)$$

Здесь ∇^2 – оператор Лапласа; $\gamma^2 = cm'_в / \eta$; $\eta = 0,5c\bar{l}$ – коэффициент связи плотности потока и градиента плотности в квазидиффузном звуковом поле; c – скорость звука в воздухе; $m'_в$ – эквивалентный пространственный коэффициент затухания звуковой энергии в помещении, в общем случае определяемый по формуле (9).

Для реализации расчетной модели (12)–(13) предложен метод изображений [11], в соответствии с которым суммарная плотность отраженной энергии в любой i -й точке прямоугольного помещения определяется как



$$\varepsilon_{\text{отр},i} = \frac{W(1-\tilde{\alpha})}{\Omega\eta} G_i, \quad (14)$$

где G_i – функция влияния объемно-планировочных и акустических параметров помещения на величину энергии в i -й точке; $\tilde{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения, определяемый по формуле (10); W – акустическая мощность источника. Функция G_i для помещения, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда, определяется как

$$G_i = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{q=-\infty}^{\infty} \frac{\exp(-\gamma r_{mnq})}{r_{mnq}}, \quad (15)$$

где $\gamma = \sqrt{cm'_3/\eta}$; r_{mnq} – расстояния от расчетной точки до изображения; m, n, q – комбинации целых чисел, кроме $m = n = q = 0$.

Величины r_{mnq} находятся по формуле

$$r_{mnq} = \sqrt{(x_m - x)^2 + (y_n - y)^2 + (z_q - z)^2}, \quad (16)$$

где x_m, y_n, z_q – координаты изображений, вычисляемые при четных m, n, q как

$$x_m = ml_x + x_0, \quad y_n = nl_y + y_0, \quad z_q = ql_z + z_0, \quad (17)$$

при нечетных m, n, q – по формулам

$$x_m = (m + 1)l_x - x_0, \quad y_n = (n + 1)l_y - y_0, \quad z_q = (q + 1)l_z - z_0, \quad (18)$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты источника шума; l_x, l_y, l_z – размеры помещения.

Суммарная плотность звуковой энергии прямых и отраженных волн в i -й точке находится как

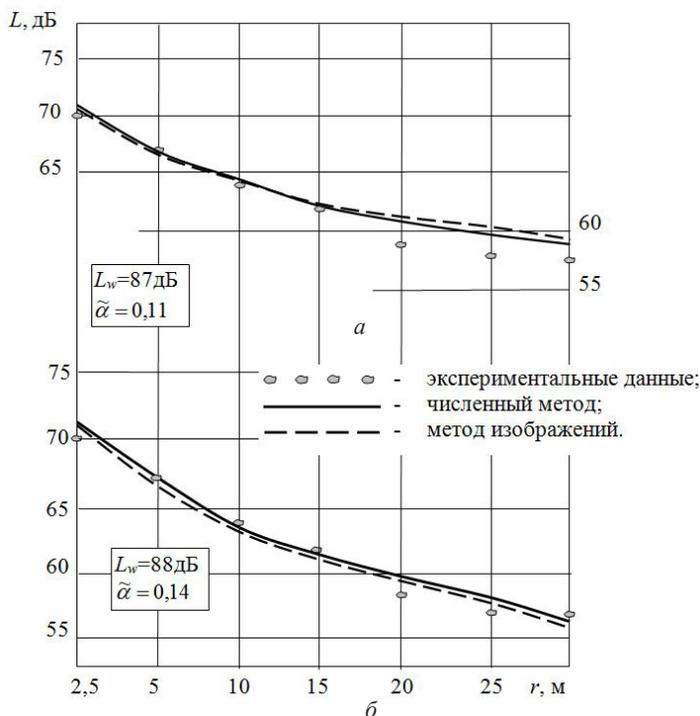
$$\varepsilon_i = \varepsilon_{\text{при}} + \varepsilon_{\text{отр}} = W \left(\frac{\Phi e^{-m_{\text{в}} \eta}}{\Omega c r_i^2} + \frac{2(1-\tilde{\alpha})}{\Omega \bar{c}} G_i \right), \quad (19)$$

а уровни звукового давления определяются по формуле

$$L_i = L_W + \lg \left[\frac{\Phi e^{-m_{\text{в}} \eta}}{\Omega r_i^2} + \frac{2(1-\tilde{\alpha})}{\Omega \bar{c}} G_i \right], \quad (20)$$

где r_i – расстояние от источника до i -й расчетной точки; L_W – уровень звуковой мощности источника шума; Φ, Ω – фактор направленности и пространственный угол излучения звуковой энергии источником.

Для оценки точности и границ применения расчетного метода произведены экспериментальные исследования в группе прямоугольных плоских и длинных зданий. Характерный пример расчета шума в производственном помещении приведен на рисунке. Видно, что расчетные данные, полученные с использованием формулы (20), хорошо согласуются с экспериментальными данными и данными расчета точным численным методом. Следовательно, предложенное осреднение процессов звукопоглощения достаточно достоверно согласуется с реальными процессами затухания звуковой энергии.



Экспериментальные и расчетные уровни звукового давления в помещении размерами $82,5 \times 60 \times 6$ м на частотах: а – 1 000 Гц; б – 4 000 Гц

Таким образом, выполненные исследования процесса затухания отраженной звуковой энергии в помещениях показывают, что при его оценке можно использовать предложенный в статье эквивалентный коэффициент затухания звуковой энергии в воздушном объеме помещения, заменяющий поглощение энергии на ограждениях и на находящихся в помещении предметах. Его применение позволяет получить достаточно простой расчетный метод, обеспечивающий необходимую точность расчетов уровней звукового давления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонов, А. И. Условия, определяющие процессы формирования шумового режима в замкнутых объемах, и их учет при оценке распределения звуковой энергии в помещениях / А. И. Антонов, А. В. Бацунова, И. Л. Шубин // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2015. – № 3. – С. 89–96.
2. Антонов, А. И. Влияние характера отражения звука от ограждений на выбор метода расчета воздушного шума в гражданских и промышленных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, О. О. Федорова // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, – 2017. – № 2. – С. 16–23.
3. Антонов, А. И. Математическое моделирование процессов распространения звуковой энергии в зданиях / А. И. Антонов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – Тамбов, 2014. – № 3 (53). – С. 17–23.
4. Леденев, В. И. Статистические энергетические методы расчета шумовых полей при проектировании производственных зданий / В. И. Леденев. – Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т, 2000. – 156 с.



5. Леденев, В. И. Расчет шумовых полей в системах акустически связанных помещений / В. И. Леденев, А. И. Антонов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 1996. – Т. 2, № 1–2. – С. 149–157.
6. Осипов, Г. Л. Распространение воздушного шума в цехах промышленных предприятий / Г. Л. Осипов, М. В. Сергеев // Снижение шума в зданиях и жилых районах / под ред. Г. Л. Осипова, Е. Я. Юдина. – Москва, 1987. – С. 226–262.
7. Лифшиц, С. Я. Курс архитектурной акустики / С. Я. Лифшиц. – Москва ; Ленинград : ОНТИ, 1937. – 236 с.
8. Леденев, В. И. Статистические энергетические методы расчета отраженных шумовых полей помещений / В. И. Леденев, А. И. Антонов, А. Е. Жданов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9, № 4. – С. 713–717.
9. Леденев, В. И. Расчет энергетических параметров шумовых полей в производственных помещениях сложной формы с технологическим оборудованием / В. И. Леденев, А. М. Макаров // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2008. – № 2 (10). – С. 94–101.
10. Леденев, В. И. Методика оценки звукопоглощающих характеристик технологического оборудования, размещаемого в производственных помещениях / В. И. Леденев, И. В. Матвеева, А. М. Макаров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2004. – Т. 10, № 4–2. – С. 1103–1108.
11. Леденев, В. И. Статистическая энергетическая модель отраженных шумовых полей помещений и методы ее реализации / В. И. Леденев, А. И. Антонов // Архитектурная акустика. Шумы и вибрации : сб. тр. X сессии Рос. акуст. о-ва. – Москва, 2000. – Т. 3. – С. 67–70.
12. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский – Москва : Наука, 1977. – 736 с.

LEDENYOV Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of town planning and roads; MAKAROV Aleksandr Mikhaylovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of town planning and roads; MATVEEVA Irina Vladimirovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of town planning and roads; SOLOMATIN Evgeny Olegovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of town planning and roads

EQUIVALENT COEFFICIENTS OF SOUND ENERGY ATTENUATION IN ROOMS AND THEIR USE IN CALCULATION OF NOISE IN INDUSTRIAL BUILDINGS

Tambov State Technical University

112, Michurinskaya St., bld. E, Tambov, 392032, Russia. Tel.: +7 (4752) 63-09-20, +7 (4752) 63-03-72; e-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Key words: production rooms, noise, noise calculation, level of sound pressure, sound attenuation.

The article presents formulas for determining the attenuation coefficients of reflected sound energy in rooms and shows the way how they can be used to calculate noise in production buildings. It is proved that when estimating noise in rooms of correct geometric form, it is possible to use an image method in which discrete absorption of sound energy by the room walls and technological equipment is replaced by an equivalent spatial damping of the reflected sound energy in the air volume of the room.

REFERENCES

1. Antonov A. I., Batsunova A. V., Shubin I. L. Usloviya, opredelyayuschie protsessy formirovaniya shumovogo rezhima v zamknutykh obemakh, i ikh uchyot pri otsenke raspredeleniya



zvukovoy energii v pomeshcheniyakh [The conditions defining processes of noise mode formation in closed spaces and their consideration at the assessment of sound energy distribution in room]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2015. № 3. P. 89–96.

2. Antonov A. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V., Fyodorova O. O. Vliyaniye kharaktera otrazheniya zvuka ot ograzhdeniy na vybor metoda raschyota vozdušnogo shuma v grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniyakh [Influence of the mode of sound reflection from walls on selection of the method of air noise calculation in civil and industrial buildings]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2017. № 2. P. 16–23.

3. Antonov A. I. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov rasprostraneniya zvukovoy energii v zdaniyakh [Mathematical modeling the processes of propagation of sound energy in buildings]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo [Problems of contemporary science and practice. Vernadsky University]*. Tambov. 2014. № 3(53). P. 17–23.

4. Ledenyov V. I. Statisticheskiye energeticheskiye metody raschyota shumovykh poley pri proektirovaniy proizvodstvennykh zdaniy [Statistical energy calculation methods of noise fields at designing production buildings]. Tambov. Tambov. gos. tekhn. un-t. 2000. 156 p.

5. Ledenyov V. I., Antonov A. I. Raschyot shumovykh poley v sistemakh akusticheskikh svyazannykh pomeshcheniy [Calculation of noise fields in systems of acoustically related rooms]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. [Transactions of the Tambov State Technical University]*. Tambov. 1996. Vol. 2, № 1–2. P. 149–157.

6. Osipov G. L., Sergeev M. V. Rasprostraneniye vozdušnogo shuma v tsekhakh promyshlennykh predpriyatiy [The spread of air noise in the shops of industrial enterprises]. *Snizheniye shuma v zdaniyakh i zhilykh rayonakh [Noise reduction in buildings and residential areas]*. Pod. red. Osipova G.L., Yudina E.Ya. Moscow. Stroyizdat. 1987. P. 226–262.

7. Lifschits S. Ya. Kurs arkhitekturnoy akustiki [Course of architectural acoustics]. Moscow – Leningrad: ONTI. 1937. 236 p.

8. Ledenyov V. I., Antonov A. I., Zhdanov A. E. Statisticheskiye energeticheskiye metody raschyota otrazhyonnykh shumovykh poley pomeshcheniy [Statistical energy calculation methods of reflected noise fields of rooms] *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Transactions of the Tambov State Technical University]*. Tambov. 2003. Vol. 9, № 4. P. 713–717.

9. Ledenyov V. I., Makarov A. M. Raschyot energeticheskikh parametrov shumovykh poley v proizvodstvennykh pomeshcheniyakh slozhnoy formy s tekhnologicheskimi oborudovaniyami [Calculation of energy parameters of noise fields in production rooms of the intricate shape with processing equipment]. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Scientific Herald of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering]*. Voronezh. 2008. № 2(10). P. 94–101.

10. Ledenyov V. I., Matveeva I. V., Makarov A. M. Metodika otsenki zvukopogloschayushchikh kharakteristik tekhnologicheskogo oborudovaniya, razmeschaemogo v proizvodstvennykh pomeshcheniyakh [Technique of estimation of sound absorbing characteristics of process equipment placed in industrial rooms]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Transactions of the Tambov State Technical University]*. Tambov. 2004. Vol. 10, № 4–2. P. 1103–1108.

11. Ledenyov V. I., Antonov A. I. Statisticheskaya energeticheskaya model otrazhyonnykh shumovykh poley pomeshcheniy i metody eyo realizatsii [Statistical energy model of reflected noise fields of premises and methods of its realization] *Arkhitekturnaya akustika. Shumy i vibratsii [Architectural acoustics. Noises and vibrations]: sb. tr. X ses. Ros. akust. ob-va [Proceedings of the X Session of the Russian Acoustical Society]*. Moscow. 2000. Vol. 3. P. 67–70.

12. Tikhonov A. N., Samarskiy A. A. Uravneniya matematicheskoy fiziki [Equations of mathematical physics]. Moscow. Nauka. 1977. 736 p.

© В. И. Леденев, А. М. Макаров, И. В. Матвеева, Е. О. Соломатин, 2018

Получено: 10.01.2018 г.



УДК 692.299: 536.24.08

В. Н. КУПРИЯНОВ, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой проектирования зданий; **А. И. ИВАНЦОВ**, канд. техн. наук, ст. преп. кафедры проектирования зданий

АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ПО ОЦЕНКЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1. Тел.: (843) 526-93-42; эл. почта: kuprivan@kgasu.ru
Ключевые слова: теплопередача, температуры, тепловые потоки, термическое сопротивление, сопротивление теплопередаче.

Приведен анализ методов ГОСТ 26602.1-99 и СП 50.13330.2012 по оценке сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций. Установлены сложности выбора исходных данных при расчете температурных полей с использованием пакетов прикладных программ. Предложен метод расчета без использования температурных полей, который значительно упрощает расчет без снижения точности.

Светопрозрачные ограждающие конструкции получили в последние годы широкое развитие. Это традиционные оконные блоки, балконные ограждения, витражи, стеклянные крыши атриумов, фасадные системы, которые занимают большие площади фасадного остекления [1, 2]. Это стало возможным благодаря успехам в производстве специальных стекол и стеклопакетов на их основе [3, 4].

Сопротивление теплопередаче современных стеклопакетов приближается к $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, что соответствует теплозащите кирпичной стены толщиной 64 см (2,5 кирпича). При этом теплопотери через светопрозрачные ограждающие конструкции остаются высокими. Для традиционных окон теплопотери составляют от 30 до 40 % всех теплопотерь через ограждающие конструкции здания [5].

Если методы определения сопротивления теплопередаче каменных ограждающих конструкций разработаны достаточно подробно, то методы расчета светопрозрачных ограждающих конструкций требуют исследования, совершенствования и уточнения. Эти методы сформулированы в двух нормативных документах: ГОСТ 26602.1-99 Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче и СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.

В ГОСТ 26602.1-99 расчетный метод представлен в справочном Приложении В, а в СП 50.13330.2012 – в рекомендуемом Приложении К с использованием обязательного Приложения Е, которое является обязательным приложением для каменных ограждающих конструкций. Таким образом, в настоящее время в нормативной литературе отсутствует обязательный метод расчета сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций.

В настоящей статье представлен анализ методов расчета по ГОСТ и СП и даются предложения по усовершенствованию методов расчета сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций.

Методы расчета ГОСТ и СП предполагают использование пакетов прикладных программ, которые позволяют оценивать температуры на внутренней и внешней сторонах оконного блока в различных теплотехнически однородных зонах ($\tau_{\text{вн}}$, $\tau_{\text{ст}}$, $\tau_{\text{вн}}$, $\tau_{\text{ст}}$), а также тепловые потоки в этих же зонах (q_p , q_j). Светопрозрачная

конструкция или оконный блок, разделенные на теплотехнически однородные зоны, представляют собой расчетные модели.

Следует отметить, что принципы построения расчетных моделей (выделение расчетных зон) в методах ГОСТ и СП различаются. В методе ГОСТ выделяются пять зон (см. рис. 1): центральная зона стеклопакета (1); краевая зона стеклопакета (примыкающая к створке или коробке) (2); разделительная деталь (импост) (3); краевая зона стеклопакета у разделительной детали (импоста) (4); коробка (рама) и створка (5). В методе СП выделяются две зоны: плоский элемент – стеклопакет, который формально заполняет всю площадь оконного блока и линейные элементы – узлы стыка стеклопакета с рамой, включая раму.

В качестве примера на рис. 1 представлена расчетная схема оконного блока по методу ГОСТ 26601.1-99.

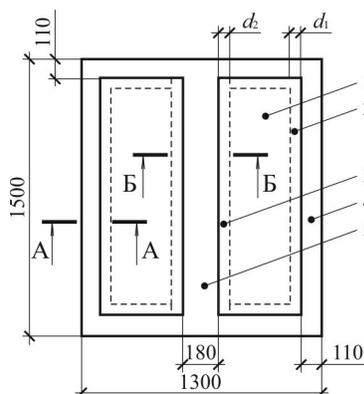


Рис. 1. Расчетная схема оконного блока по методу ГОСТ 26602.1-99

Для определения размеров краевых зон стеклопакетов d_1 – у коробки (створки) и d_2 – у импоста (створки) следует построить температурные поля по компьютерным программам в сечениях А-А и Б-Б. Расчет температурных полей по указанным сечениям позволяет установить размер зоны искривлений изотерм в стеклопакетах вблизи ПВХ профилей. Этот размер искривлений изотерм и является шириной краевых зон d_1 и d_2 .

Полученные значения d_1 и d_2 позволяют определить расчетные площади стеклопакета A_i для центральных и краевых зон. Другие расчетные площади оконного блока определяются по геометрическим размерам оконного блока, по размерам коробок, створок и импостов, которые определяются по плоскости параллельной стеклопакету.

Термическое сопротивление в разных зонах стеклопакета оконного блока R_{ki} и R_{kj} и его приведенное сопротивление теплопередаче $R_{то}^{np}$ определяются по формулам (1) и (2).

Термическое сопротивление в каждой термически однородной зоне:

– в светопрозрачной части окна

$$R_{ki} = (\tau_{vi} - \tau_{ni}) / q_i, \quad (1)$$

– в непрозрачной части окна

$$R_{kj} = (\tau_{vj} - \tau_{nj}) / q_j, \quad (2)$$

К СТАТЬЕ В. Н. КУПРИЯНОВА, А. И. ИВАНЦОВА
«АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ
ПО ОЦЕНКЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ
СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ»

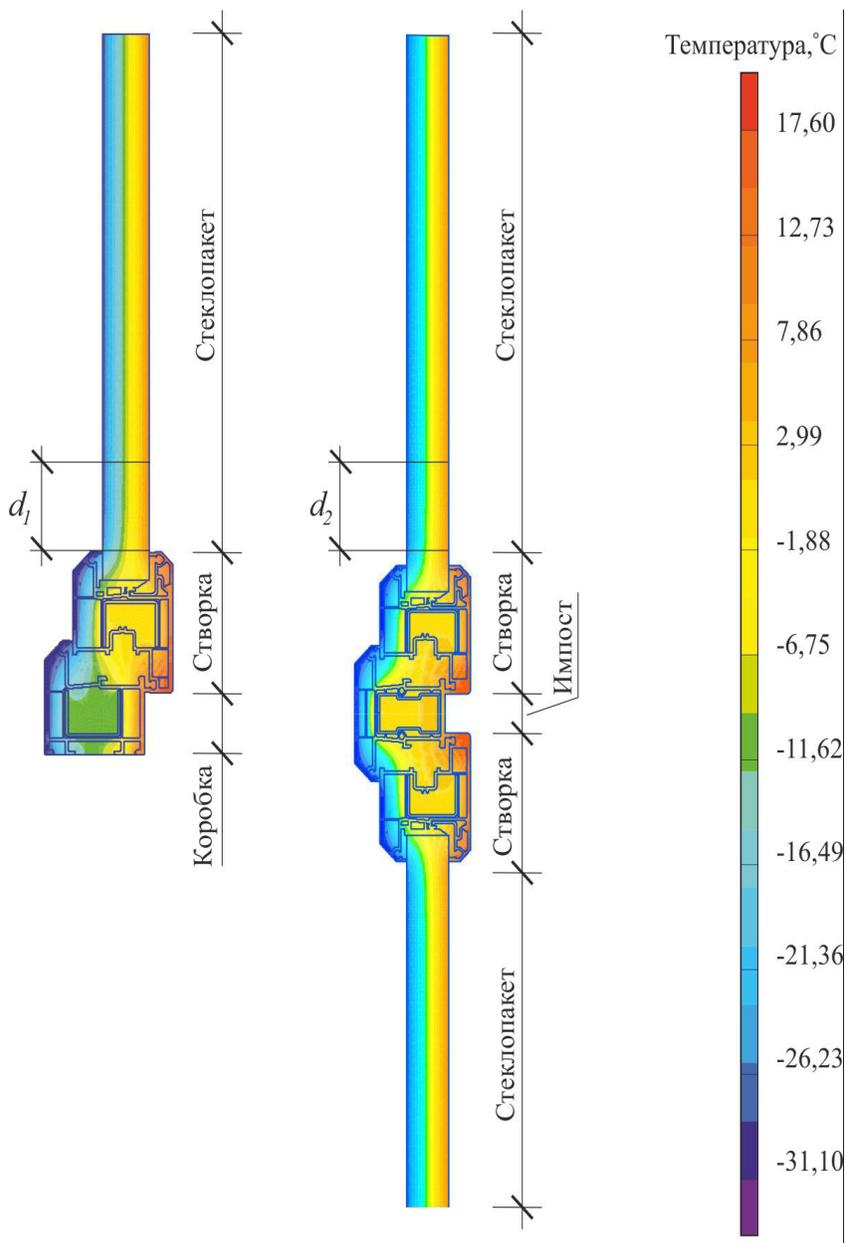


Рис. 1. Температурное поле в сечении А-А (створка-коробка)

Рис. 2. Температурное поле в сечении Б-Б (створка-импост-створка)

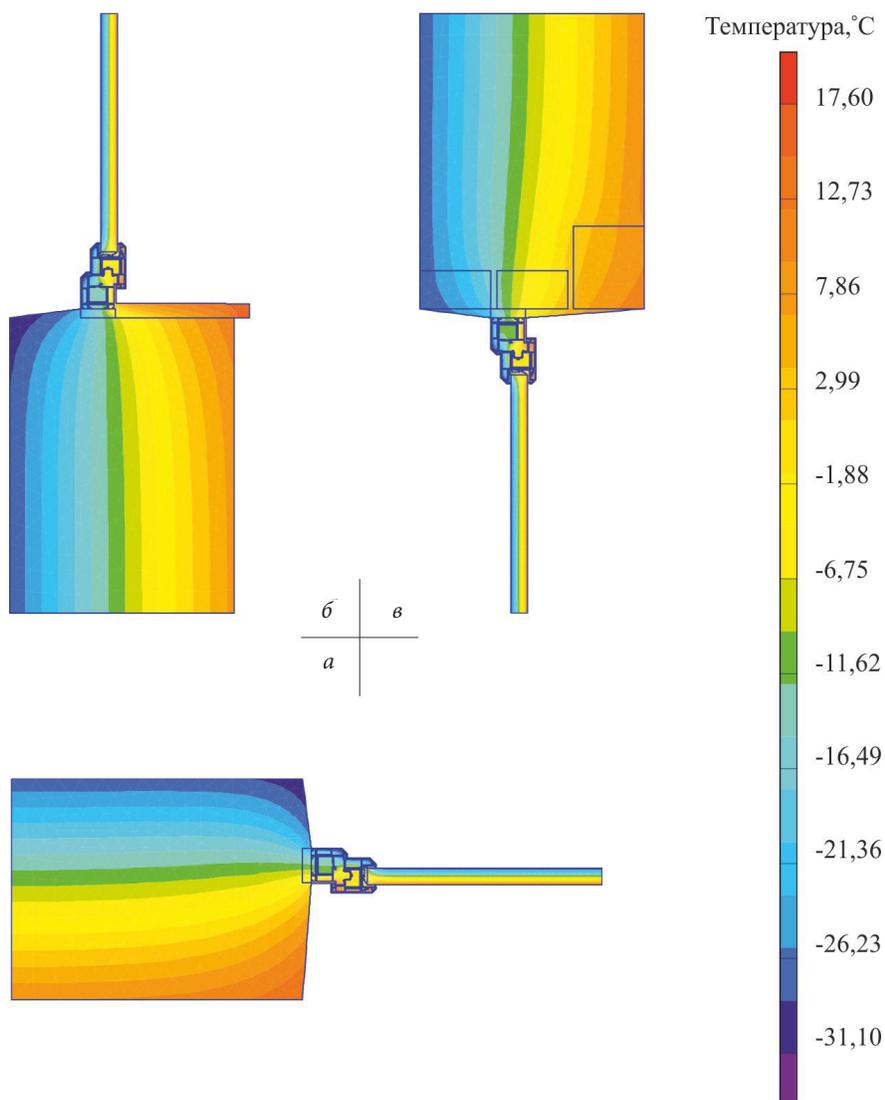


Рис. 3. Температурное поле в сечении: *а* – стык стеклопакета со створкой, рамой, включая раму, стык оконного блока со стеной; *б* – стык стеклопакета со створкой, рамой, включая раму, стык оконного блока со стеной, включая отлив и подоконную доску; *в* – стык стеклопакета со створкой, рамой, включая раму, стык оконного блока с перемычкой



где $\tau_{вп}$, $\tau_{нп}$, q_i – соответственно температуры внутренней и внешней поверхности, а также тепловой поток в светопрозрачной i -й части оконного блока; $\tau_{вп}$, $\tau_{нп}$, q_j – соответственно температуры внутренней и внешней поверхности, а также тепловой поток в непрозрачной j -й части оконного блока.

По значениям R_{ki} и R_{kj} определяется приведенное термическое сопротивление (усредненное по площадям) светопрозрачной $R_k^{ст}$ и непрозрачной $R_k^п$ частей оконного блока:

$$R_k^{ст} = \frac{\sum_{i=1}^m A_i}{\sum_{i=1}^m (A_i / R_{ki})}, \quad (3)$$

$$R_k^п = \frac{\sum_{j=1}^n A_j}{\sum_{j=1}^n (A_j / R_{kj})}, \quad (4)$$

где m и n – число однородных зон соответственно в светопрозрачной и непрозрачной частях оконного блока; A_i и A_j – расчетные площади соответственно светопрозрачной (i -й) и непрозрачной (j -й) частей оконного блока.

Приведенное термическое сопротивление оконного блока в целом $R_k^{мп}$ определяется по значениям $R_k^{ст}$ и $R_k^п$ с учетом суммарных площадей светопрозрачной $A_{ст}$ и непрозрачной A_p частей оконного блока:

$$R_k^{мп} = (A_{ст} + A_p) / [(A_{ст} / R_k^{ст}) + (A_p / R_k^п)]. \quad (5)$$

С учетом коэффициентов теплообмена $\alpha_{в}$ (внутренней) и $\alpha_{н}$ (наружной) поверхностей приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока $R_{то}^{мп}$ определится по известной формуле:

$$R_{то}^{мп} = 1/\alpha_{в} + R_k^{мп} + 1/\alpha_{н}. \quad (6)$$

Следует отметить, что величина $R_{то}^{мп}$ является сопротивлением теплопередаче оконного блока как строительного изделия. Сопротивление теплопередаче этого оконного блока, установленного в световом проеме здания, будет иным за счет дополнительных теплопотерь в стыке со стеной. Величина этих теплопотерь будет зависеть от конструкции стены и характера заделки оконного блока в светопроеме.

Пример 1. *Определить приведенное сопротивление теплопередаче двухстворчатого оконного блока по методу ГОСТ 26602.1-99, расчетная схема которого представлена на рис. 1. Оконный блок выполнен из ПВХ профилей «Форвард» фирмы «Десеипинск» с двухкамерным стеклопакетом, заполненным воздухом, из стекла без покрытия (М6), расстояние между стеклами – по 10 мм, $R_{то}^{ст.п.} = 0,46 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.*

В соответствии с расчетной схемой выделено пять теплотехнически однородных зон:

- 1) площадь центральной зоны стеклопакета – $a_{1п}$;
- 2) площадь краевой зоны стеклопакета у створки-коробки – $a_{2п}$;
- 3) площадь краевой зоны стеклопакета у створки-импоста – $a_{3п}$;
- 4) площадь коробок и створок по периметру оконного блока – $a_{1п}$;
- 5) площадь разделительной части блока (створка – импост – створка) – $a_{2п}$.

Площади непрозрачной части оконного блока $A_{1п}$ и $A_{2п}$ определяются по геометрическим размерам оконного блока, створок, коробки, импоста. Площади светопрозрачных зон $A_{1п}$, $A_{2п}$ и $A_{3п}$ не могут быть определены по геометрическим размерам, поскольку не определена ширина краевых зон стеклопакета d_1 и d_2 .

Ширина краевых зон стеклопакета d_1 и d_2 определяется по результатам расчета температурных полей по сечениям А-А и Б-Б. Результат этого расчета представлен на рис. 1 и 2 цв. вклейки.

По искривлениям изотерм в стеклопакетах определены размеры краевых зон стеклопакета $d_1 = 30$ мм и $d_2 = 30$ мм. По температурным полям определены температуры τ_v и τ_n тепловых потоков в каждой расчетной зоне. Таким образом, получены все параметры, необходимые для расчета. Результаты расчета по формулам (1) – (6) приведены в табл. 1, $R_{то}^{ст.п.} = 0,747$ м²·°С/Вт.

Подход к оценке приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций по методу СП 50.13330.2012 имеет ряд отличий от метода ГОСТ 26602.1-99. В методе СП расчет основан на представлении светопрозрачной конструкции (или выделенного фрагмента) в виде набора плоских и линейных элементов. Плоские элементы – это стеклопакеты, а линейные – это узлы стыка стеклопакета с рамой, включая раму. Метод СП более универсальный, он позволяет оценить сопротивление теплопередаче светопрозрачной конструкции как строительного изделия, так и конструкции, установленной в световом проеме стены, то есть с учетом теплопотерь в стыке оконной конструкции со стеной. В связи с этим метод СП предполагает наличие двух расчетных схем рис. 2а,б. В отличие от метода ГОСТ метод СП не рассматривает площади створок и коробок как плоские элементы, они рассматриваются как линейные элементы.

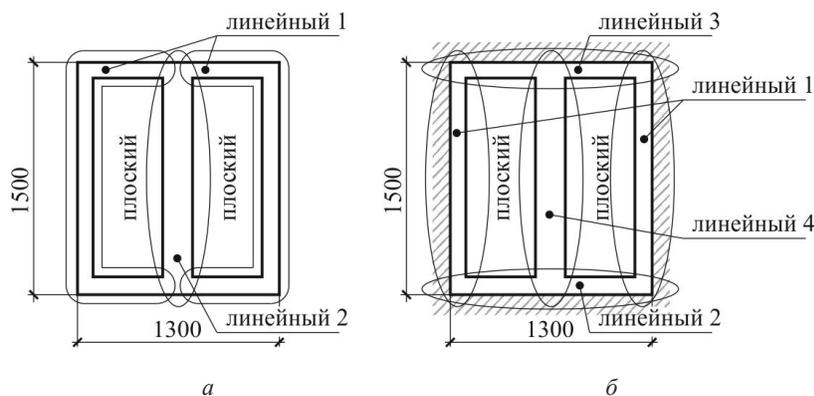


Рис. 2. Расчетные схемы при определении сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции: а – как строительного изделия; б – той же конструкции, установленной в оконном проеме стены

В расчетной схеме (рис. 2а) плоскими элементами являются стеклопакеты, а линейными – узлы стыка стеклопакета с рамой (линейный 1) и стеклопакета с импостом (линейный 2). В расчетной схеме (рис. 2б) плоские элементы остаются те же, а количество линейных элементов возрастает до четырех в силу различий в конструктивных решениях стены по периметру оконного блока.



Таблица 1

Результаты расчета $R_{то}^{ст.п.}$ оконного блока по методу ГОСТ 26602.1-99

Часть оконного блока	Тепло-технически однородная зона	Площадь зоны, m^2	Средняя температура на поверхности зоны		Средний тепловой поток в зоне, q , Вт/ m^2	Термическое сопротивление зоны, R_k , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$	Суммарная площадь светопрозрачной и непрозрачной части A_p , m^2	Приведенное термическое сопротивление, $R_k^{пр}$, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{то}^{ст.п.}$, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$
			$\tau_{в}$, $^\circ C$	$\tau_{п}$, $^\circ C$					
Светопрозрачная часть оконного блока	1	$A_{1i} = 0,826$	9,69	-28,38	82,54	0,461	$A_{ст} = 1,152$	0,582	0,747
	2	$A_{2i} = 0,198$	9,51	-27,78	85,84	0,434			
	3	$A_{3i} = 0,128$	9,78	-28,14	83,36	0,455			
Непрозрачная часть оконного блока	4	$A_{1j} = 0,568$	14,28	-30,03	44,56	0,994	$A_p = 0,798$	$R_k^{пр} = 0,971$	
	5	$A_{2j} = 0,230$	13,84	-29,92	47,84	0,915			



Основу метода СП составляет расчет удельных тепловых потерь через каждый плоский и линейный элементы, отнесенные к единице площади оконной конструкции. Метод СП разработан для расчетов приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с любыми теплотехническими неоднородностями (плоскими, линейными и точечными). Для расчетов светопрозрачных конструкций метод СП может быть адаптирован с сохранением заложенных в него принципов. Таким образом, формула для расчета приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной ограждающей конструкции примет вид:

$$R_{то}^{сп} = \frac{1}{1/R_{ст} + \sum l_j \psi_j} = \frac{1}{U_{ст} + \sum l_j \psi_j}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}, \quad (7)$$

где $R_{ст}$ – сопротивление теплопередаче стеклопакета, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$; $U_{ст}$ – коэффициент сопротивления теплопередаче стеклопакета (удельные теплотери через стеклопакет), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; l_j – протяженность линейной неоднородности j -го вида, приходящаяся на 1 м^2 светопрозрачной конструкции или ее фрагмента (удельный геометрический показатель), $\text{м}/\text{м}^2$; ψ_j – удельные тепловые потери через линейную неоднородность j -го вида, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

Сопротивление теплопередаче стеклопакета принимается по результатам испытания в аккредитованной лаборатории. При отсутствии таких данных допускается принимать значение $R_{ст}$ по табл. К.1 Приложения К СП 50.13330.2012, в которой приведены оценочные значения $R_{ст}$ для однокамерных и двухкамерных стеклопакетов.

Удельный геометрический показатель l_j определяется по формуле:

$$l_j = L_j/A_0, \text{ м}/\text{м}^2, \quad (8)$$

где L_j – протяженность теплотехнической неоднородности j -го вида, м ; A_0 – общая площадь светопрозрачной конструкции или ее фрагмента, м^2 .

Удельные тепловые потери через линейную теплотехническую неоднородность j -го вида ψ_j определяются по формуле:

$$\psi_j = \frac{\Delta Q_j^t}{t_b - t_n}, \quad (9)$$

где t_b и t_n – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, °C ; ΔQ_j^t – дополнительные тепловые потери через линейную теплотехническую неоднородность j -го вида, приходящиеся на 1 п. м , $\text{Вт}/\text{м}$, определяемые по формуле:

$$\Delta Q_j^t = Q_j^t - \sum Q_j, \quad (10)$$

где Q_j^t – тепловые потери через расчетную область с линейной теплотехнической неоднородностью j -го вида, приходящиеся на 1 п. м стыка, определяются по результатам расчета двумерного температурного поля, $\text{Вт}/\text{м}$; Q_j – тепловые потери через участки однородных частей фрагмента, вошедших в расчетную область при расчете температурного поля области с линейной теплотехнической неоднородностью j -го вида, $\text{Вт}/\text{м}$, определяемые по формуле:

$$Q_j = \frac{t_b - t_n}{R_j \cdot 1\text{М}} \cdot S_j, \quad (11)$$

где S_j – площади однородных частей конструкции, вошедших в расчетную область



при расчете температурного поля, m^2 ; при этом ΣS_j равна площади расчетной области при расчете температурного поля; R_j – сопротивление теплопередаче однородных частей фрагмента, вошедших в расчетную область при расчете температурных полей области с линейной теплотехнической неоднородностью j -го вида.

Пример 2. Определить $R_{то}^{np}$ оконного блока, представленного на рис. 1, по методу СП 50.13330.2012 по расчетной схеме рис. 2а (оконный блок как изделие). $R_{то}^{ст.п.} = 0,46 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Оконный блок разделен на элементы:

1) плоский элемент – стеклопакет, который по рекомендации СП формально занимает всю площадь оконного блока, $A_0 = 1,95 \text{ м}^2$;

2) линейный элемент 1 – стык стеклопакета со створкой и рамой, включая раму; $L_1 = 5,6 \text{ м}$, $l_1 = 5,6/1,95 = 2,87 \text{ м}/\text{м}^2$;

3) линейный элемент 2 – стык стеклопакета со створкой и импостом, включая импост; $L_2 = 1,5 \text{ м}$, $l_2 = 1,5/1,95 = 0,77 \text{ м}/\text{м}^2$.

По расчету двухмерных температурных полей (рис. 3 и 4 цв. вклейки) определены:

$Q_1^L = 29,83 \text{ Вт}/\text{м}$, $Q_{1,стекл} = 32,79 \text{ Вт}/\text{м}$, $\Delta Q_1^L = -2,96 \text{ Вт}/\text{м}$, $Q_2^L = 85,48 \text{ Вт}/\text{м}$, $Q_{2,стекл} = 89,18 \text{ Вт}/\text{м}$, $\Delta Q_2^L = -3,70 \text{ Вт}/\text{м}$. Расчет $R_{то}^{np}$ приведен в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета $R_{то}^{np}$ оконного блока по методу СП 50.13330.2012 (оконный блок как изделие)

Элемент оконного блока	Удельный геометрический показатель	Удельные теплотери, U [Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)] ψ [Вт/м $\cdot \text{°C}$]	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)	Доля теплоты через элемент окна, %
плоский	$a = 1$	$U = 1,592$	$aU = 1,592$	115,9
линейный 1	$l_1 = 2,87$	$\psi_1 = -0,057$	$l_1 \psi_1 = -0,1636$	-11,9
линейный 2	$l_2 = 0,77$	$\psi_2 = -0,071$	$l_2 \psi_2 = -0,055$	-4,0
Всего			$1/R_{то}^{np} = 1,374$	100

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{то}^{np} = 0,728 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Пример 3. Определить $R_{то}^{np}$ по методу СП 50.13330.2012 того же оконного блока, встроенного в световой проем однослойной кирпичной стены с железобетонными перемычками над оконным проемом. Расчетная схема представлена на рис. 2б.

По этой расчетной схеме оконный блок имеет:

1) плоский элемент – стеклопакет, который по рекомендации СП формально занимает всю площадь оконного блока; $A_0 = 1,95 \text{ м}^2$;

2) линейный элемент 1 – стык стеклопакета со створкой, рамой, включая раму, стык оконного блока со стеной; $L_1 = 3,0 \text{ м}$, $l_1 = 3,0/1,95 = 1,54 \text{ м}/\text{м}^2$;

3) линейный элемент 2 – стык стеклопакета со створкой, рамой, включая раму, стык оконного блока со стеной, включая отлив и подоконную доску; $L_2 = 1,3 \text{ м}$, $l_2 = 1,3/1,95 = 0,67 \text{ м}/\text{м}^2$;

4) Линейный элемент 3 – стык стеклопакета со створкой, рамой, включая раму, стык оконного блока с перемычкой; $L_3 = 1,3 \text{ м}$, $l_3 = 1,3/1,95 = 0,67 \text{ м}/\text{м}^2$;

5) Линейный элемент 4 – стык стеклопакета со створкой, импостом, включая

импост; $L_4 = 1,5$ м, $l_4 = 1,5/1,95 = 0,77$ м/м².

Расчеты температурных полей по необходимым сечениям представлены на рис. 3 цв. вклейки. По ним определены $Q_1^L = 38,79$ Вт/м, $Q_{1,стекл} = 41,40$ Вт/м, $\Delta Q_1^L = -2,61$ Вт/м, $Q_2^L = 38,26$ Вт/м, $Q_{2,стекл} = 41,40$ Вт/м, $\Delta Q_2^L = -3,14$ Вт/м, $Q_3^L = 38,87$ Вт/м, $Q_{3,стекл} = 41,40$ Вт/м, $\Delta Q_3^L = -2,53$ Вт/м.

Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты расчета оконного блока по методу СП 50.13330.2012
(оконный блок как часть конструкции ограждения здания)**

Элемент оконного блока	Удельный геометрический показатель	Удельные теплопотери, U [Вт/(м ² ·°C)] ψ [Вт/м·°C]	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м ² ·°C)	Доля теплоты через элемент окна, %
плоский	$a = 1$	$U = 1,592$	$aU = 1,592$	114,8
линейный 1	$l_1 = 1,54$	$\psi_1 = -0,050$	$l_1 \psi_1 = -0,077$	-5,6
линейный 2	$l_2 = 0,67$	$\psi_2 = -0,060$	$l_2 \psi_2 = -0,040$	-2,9
линейный 3	$l_3 = 0,67$	$\psi_3 = -0,049$	$l_3 \psi_3 = -0,033$	-2,4
линейный 4	$l_4 = 0,77$	$\psi_4 = -0,071$	$l_4 \psi_4 = -0,055$	-3,9
Всего			$1/R_{то}^{np} = 1,387$	100

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{то}^{np} = 0,721$ м²·°C/Вт.

При расчетах по методу СП (табл. 2 и 3) установлено, что удельные потоки теплоты оказались со знаком минус, с математической точки зрения плюсы и минусы компенсируются, но с физической точки зрения это означает приток тепла от внешней (холодной) поверхности образца к внутренней (теплой), что противоречит принципам теплопередачи. По-видимому, предложения СП о том, что стеклопакет занимает всю площадь оконного блока, нельзя признать корректным.

Расчет оконного блока тремя методами показал, что расхождение в оценке $R_{то}^{np}$ не превышает 5 % (0,747; 0,728; 0,721 м²·°C/Вт), следовательно, может быть использован любой метод. Однако построение температурных полей в соответствующих программных комплексах сопряжено с рядом неопределенностей. Геометрия ПВХ профилей с различным количеством внутренних камер задается без труда путем переноса сечения профиля, в то время как назначение свойств материалов и граничных условий вызывает затруднение в связи с отсутствием достоверных данных о теплопереносе через замкнутые воздушные камеры ПВХ профилей. В итоге распределение температур по поверхности ПВХ профилей и стеклопакетов, а также плотностей теплового потока оказывается достаточно условным, несмотря на использование современных программ построения температурных полей.

В связи с вышеизложенным предлагается упрощенный метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций $R_{то}^{np}$ без расчета температурных полей. Отказ от расчета температурных полей становится обоснованным в настоящее время в связи с появлением большого количества экспериментальных данных по сопротивлениям теплопередаче различных типов стеклопакетов и ПВХ профилей.

В основу предлагаемого метода расчета положены представления о том, что светопрозрачная конструкция (оконный блок) представляет собой набор плоских



элементов, сопротивление теплопередаче которых (стеклопакетов, створок, коробок и импостов) известны. В этом случае расчетная формула примет вид:

$$R_{\text{то}}^{\text{np}} = \frac{1}{\sum a_i U_i}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}. \quad (12)$$

Удельные геометрические показатели плоских элементов a_i определяются по конструктивным размерам оконной конструкции, а удельные теплопотери U_i – по базам данных, полученных экспериментальным путем.

Так, сопротивление теплопередаче стеклопакетов приведено в СП 50.13330.2012, табл. К.1 и во множестве других источников (например, ГОСТ 24866-99). Сопротивление теплопередаче ПВХ профилей, обобщенное по различным источникам [2, 6] приведено в табл. 4.

Таблица 4

**Сопротивление теплопередаче ПВХ профилей
(коробка и створка, включая армирование)**

Тип профиля в зависимости от количества камер	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$
двухкамерные	0,45–0,52
трехкамерные	0,59–0,68
четырекамерные	0,69–0,72
пятикамерные	0,75–0,77
шестикамерные	0,87–1,05

Пример 4. Определить $R_{\text{то}}^{\text{np}}$ того же оконного блока (схема геометрии на рис. 1) предложенным методом. При расчете приняты следующие сопротивления теплопередаче: двухкамерный стеклопакет – 0,46 (по табл. К.1, приложения К, СП), трехкамерные профили створки и коробки – 0,65, трехкамерные профили створки и импоста – 0,68 $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ (по табл. 4).

Площади элементов оконного блока приняты по табл. 1: общая площадь блока $A_0 = 1,95 \text{ м}^2$; площадь стеклопакета $A_{\text{ст}} = 1,152 \text{ м}^2$; площадь створок и коробок $A_{\text{л}} = 0,568 \text{ м}^2$; площадь створок и импоста $A_{\text{л}} = 0,230 \text{ м}^2$.

Удельные геометрические показатели элементов: $a_{\text{ст}} = 1,152/1,95 = 0,291 \text{ м}^2 / \text{м}^2$; $a_{\text{л}} = 0,568/1,95 = 0,291 \text{ м}^2 / \text{м}^2$; $a_{\text{л}} = 0,230/1,95 = 0,118 \text{ м}^2 / \text{м}^2$.

Удельные теплопотери составят:

$$U_{\text{ст}} = 1/(1/8+0,46+1/23) = 1,600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}),$$

$$U_{\text{л}} = 1/(1/8+0,65+1/23) = 1,227 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}),$$

$$U_{\text{л}} = 1/(1/8+0,68+1/23) = 1,183 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Сопротивление теплопередаче оконного блока:

$$R_{\text{то}}^{\text{np}} = \frac{1}{0,591 \cdot 1,600 + 0,291 \cdot 1,227 + 0,118 \cdot 1,183} = 0,693 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Расхождение в величине $R_{\text{то}}^{\text{np}}$, полученной предлагаемым методом, от расчетных методов ГОСТ и СП находится в пределах 4–7 %, что для инженерных расчетов вполне допустимо. Причем это различие будет снижаться с увеличением размеров светопрозрачных конструкций.

Таким образом, предлагаемый метод расчета значительно упрощает расчет сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций без снижения точности расчетов.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борискина, И. В. Современные светопрозрачные конструкции гражданских зданий: Справочник проектировщика / И. В. Борискина, Н. В. Шведов, А. А. Плотников ; Межрегион. ин-т окна. – Санкт-Петербург : МИО, 2005. – 250 с.
2. Борискина, И. В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий : учеб. пособие / И. В. Борискина, А. А. Плотников, Захаров А. В. – Москва : АСВ, 2003. – 320 с.
3. Клиндрт, Л. Стекло в строительстве / Л. Клиндрт, В. Клейн. – Москва : Стройиздат, 1981. – 287 с.
4. Коркина, Е. В. Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам / Е. В. Коркина // Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 60–62.
5. Блази, В. Справочник проектировщика. Строительная физика : пер. с нем. / В. Блази. – Москва : Техносфера, 2004. – 480 с.
6. Руководство по монтажу оконных и балконных дверных блоков ООО «Декенинк РУС» [Электронный ресурс] : техн. рекомендации (извлечение). – Режим доступа : Техэксперт.

KUPRIYANOV Valerij Nikolaevich, corresponding member of RAACS, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of building design, IVANTSOV Aleksey Igorevich, candidate of technical sciences, senior teacher of the chair of building design

ANALYSIS OF CALCULATING METHODS FOR ESTIMATION OF RESISTANCE OF LIGHT-TRANSPARENT CONSTRUCTIONS TO HEAT TRANSFER

Kazan State University of Architecture and Engineering

1, Zelyonaya St., Kazan, 420043, Russia. Tel.: +7 (843) 526-93-42; e-mail: kuprivan@kgasu.ru

Key words: heat transfer, temperature, heat fluxes, thermal resistance, resistance to heat transfer.

The article gives an analysis of the methods of GOST 26602.1-99 and SP 50.13330.2012 on the evaluation of the resistance to heat transfer of translucent enclosing structures. The difficulties of choosing initial data to calculate temperature fields using application software packages are described. A calculation method that does not require the use of temperature fields making calculations much easy without reducing the accuracy is proposed.

REFERENCES

1. Boriskina, I. V., Shvedov N. V., Plotnikov A. A. Sovremennye svetoprozrachnye konstruksii grazhdanskikh zdaniy: Spravochnik proektirovschika [Modern translucent structures of civil buildings: Designer's reference book]. Mezhhregion. in-t okna. Saint-Petersburg: MIO, 2005. 250 p.
2. Boriskina, I. V., Plotnikov A. A., Zakharov A. V. Proektirovanie sovremennykh okonnykh sistem grazhdanskikh zdaniy: Uchebnoe posobie [Designing modern window systems of civil building: manual]. Moscow, ASV, 2003. 320 p.
3. Klindt, L., Kleyn V. Steklo v stroitelstve [Glass in construction]. Moscow, Stroyizdat, 1981.
4. Korkina, E. V. Kompleksnoe sravnenie okonnykh blokov po svetotekhnicheskim i teplotekhnicheskim parametram [Complex comparison of window blocks by lighting and heat parameters]. Zhilishchnoye stroitelstvo [Housing construction], 2015, № 6. P. 60–62.
5. Blazi, V. Spravochnik proektirovschika. Stroitel'naya fizika [Designer's reference book. Building physics]. Per. s nem. Moscow, Tekhnosfera, 2004. 480 p.
6. Rukovodstvo po montazhu okonnykh i balkonnnykh dvernykh blokov [Guide on mounting window and balcony door blocks]. ООО "Dekenink RUS", [Elektronnyy resurs] : tekhn. rekomendatsii (izvlechenie). Rezhim dostupa : Tekhekspert. 2015. 175 p.

© В. Н. Куприянов, А. И. Иванцов, 2018

Получено: 09.12.2017 г.



УДК 69.059.14

Л. В. УРЯВИНА, инж. отдела лицензирования и аккредитации;
Т. Н. ПРАХОВА, канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой стандартизации и инженерной графики

АНАЛИЗ ПРАВОВЫХ НОРМАТИВНЫХ АКТОВ ПО КОНТРОЛЮ И НАДЗОРУ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел./факс: (831) 430-54-95;
эл. почта: standart@nngasu.ru

Ключевые слова: строительный контроль, государственный строительный надзор, риск-ориентированный подход, оценка рисков.

Проведен анализ правовых нормативных документов по контролю и надзору в строительстве. Выявлено отсутствие в требованиях к контролю и надзору риск-ориентированного подхода, в связи с чем не выполняются требования Федерального закона от 26.12.2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» и Постановление Правительства от 17.08.2016 г. № 806 «О применении риск-ориентированного подхода организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». Отмечено, что технологические, экологические, профессиональные и другие риски присутствуют при строительстве объектов всех категорий. Обоснована необходимость разработки требований к действиям по оценке рисков и контролю их снижения на этапах жизненного цикла продукции строительного комплекса.

Важнейшими характеристиками объектов строительства являются качество, безопасность и надежность зданий и сооружений. В настоящее время можно отметить появление множества организаций, специализирующихся на строительных работах, но не всегда уделяющих должное внимание качеству и даже безопасности возводимых объектов. В то же время благодаря специфике строительной отрасли конечный потребитель (покупатель) не может получить полную информацию о качестве и безопасности возводимых конструкций и объекта в целом. В связи с этим возрастает актуальность соблюдения требований действующего законодательства в области строительства и повышения уровня контроля. Проверка соответствия возводимых объектов в ходе строительства градостроительным требованиям осуществляется посредством строительного контроля и государственного строительного надзора. Именно контроль и надзор могут выявить, предупредить и пресечь допущенные застройщиком, заказчиком, подрядчиком нарушения требований градостроительного законодательства.

Осуществление контроля и надзора в строительстве ведется на основании правовой нормативной документации. Задача законодательной базы в области строительства – обеспечение безопасности строительного объекта для жизни и здоровья людей, надежности и качества оснований, конструкций и инженерных систем, защиты от возможных рисков.

Основные правовые нормативные документы в строительстве и требования данных документов к контролю и надзору представлены в таблице.

**Правовые нормативные акты по контролю и надзору в строительстве**

Наименование документа	Извлечения из документа
Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (ред. от 29.07.2017 г.)	Технический регламент должен содержать правила и формы оценки соответствия. Оценка соответствия проводится в формах государственного контроля (надзора), испытания, регистрации, подтверждения соответствия, приемки и ввода в эксплуатацию объекта, строительство которого закончено, и в иной форме (статья 7). Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов осуществляется должностными лицами органов государственного контроля (надзора) в порядке, установленном законодательством Российской Федерации. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов осуществляется в отношении продукции или в отношении продукции процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации исключительно в части соблюдения требований соответствующих технических регламентов (статья 33). Особенности технического регулирования в области обеспечения безопасности зданий и сооружений устанавливаются Федеральным законом «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (статья 5.1).
«Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 29.07.2017)	Статья 53. Строительный контроль. Статья 54. Государственный строительный надзор. Градостроительный кодекс РФ устанавливает только основные правила осуществления строительного контроля и государственного строительного надзора, а сам порядок осуществления, ведение дел, права и обязанности участников определяются соответствующими нормативными документами.
Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (ред. от 02.07.2013)	Обязательная оценка соответствия зданий и сооружений, а также связанных со зданиями и сооружениями процессов проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки и утилизации (сноса) осуществляется в форме: 1) заявления о соответствии проектной документации требованиям настоящего Федерального закона; 2) государственной экспертизы результатов инженерных изысканий и проектной документации; 3) строительного контроля; 4) государственного строительного надзора; 5) заявления о соответствии построенного, реконструированного или отремонтированного здания или сооружения проектной документации; 6) заявления о соответствии построенного, реконструированного или отремонтированного здания или сооружения требованиям настоящего Федерального закона; 7) ввода объекта в эксплуатацию.



Особенности технического регулирования в области обеспечения безопасности зданий и сооружений, а также правила и формы оценки соответствия устанавливаются Федеральным законом от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [1].

В соответствии со ст. 39 Федерального закона № 384-ФЗ строительный контроль и государственный строительный надзор являются обязательными формами оценки соответствия зданий и сооружений, а также связанных со зданиями и сооружениями процессов проектирования (вкл. изыскания), строительства, монтажа, наладки и утилизации (сноса) [2].

Предметом проверки строительного контроля является выполнение работ при строительстве объектов капитального строительства на соответствие требованиям проектной и подготовленной на ее основе рабочей документации, результатам инженерных изысканий, требованиям градостроительного плана земельного участка, требованиям технических регламентов в целях обеспечения безопасности зданий и сооружений [3].

Строительный контроль проводится в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства лицом, осуществляющим строительство (подрядчиком), заказчиком, застройщиком или проектной организацией.

Предметом государственного строительного надзора является проверка:

- соответствия выполнения работ и применяемых строительных материалов в процессе строительства, реконструкции объекта капитального строительства, а также результатов таких работ требованиям технического регламента, проектной документации, в т. ч. требованиям оснащенности объекта капитального строительства приборами учета используемых энергетических ресурсов;
- наличия разрешения на строительство;
- наличие у лиц, осуществляющих строительство, выданного СРО свидетельства о допуске к видам работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства [4].

Следует отметить, что государственный строительный надзор осуществляется только в двух случаях:

- 1) во-первых, при строительстве объектов капитального строительства, проектная документация которых подлежит государственной экспертизе;
- 2) во-вторых, при реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, если проектная документация на осуществление реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства подлежат государственной экспертизе.

Государственной экспертизе подлежит проектная документация жилых домов с количеством этажей более трех; объектов капитального строительства с количеством этажей более двух и площадью более 1 500 квадратных метров; особо опасных, технически сложных и уникальных объектов; объектов обороны и безопасности; объектов, строительство и реконструкцию которых предполагается осуществлять на территориях двух и более субъектов Российской Федерации; посольств, консульств и представительств Российской Федерации за рубежом; в исключительной экономической зоне Российской Федерации; на континентальном шельфе Российской Федерации; во внутренних морских водах; в территориальном море Российской Федерации и др.

Государственный строительный надзор перечисленных объектов осуществляется органом государственного строительного надзора [5] от даты получения им



извещения о начале работ до даты выдачи заключения о соответствии построенного, реконструированного, отремонтированного объекта капитального строительства требованиям технических регламентов, иных нормативных правовых актов и проектной документации.

Таким образом, большая часть требований к объектам строительства контролируется самим застройщиком.

Изучение и анализ правовых нормативных актов по контролю и надзору в строительстве показывают, что требования к контролю и надзору в строительстве в целом определены, однако в процессе анализа проявилась неполнота данных требований, в том числе в процессе контроля отсутствует риск-ориентированный подход, входящий в требования Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании», Федерального закона № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» и Постановления Правительства № 806 «О применении риск-ориентированного подхода организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». На данный момент риск-ориентированный подход применяется лишь при контроле саморегулируемой организацией деятельности своих членов, в случае если деятельность члена саморегулируемой организации связана с выполнением инженерных изысканий, подготовкой проектной документации, строительством, реконструкцией, капитальным ремонтом особо опасных, технически сложных и уникальных объектов [5]. Следует отметить, что риски, в том числе технологические, экологические, профессиональные, экономические и др. присутствуют при строительстве всех объектов, а не только опасных, технически сложных и уникальных. Для решения задачи обеспечения безопасности и качества строительной продукции появляется необходимость разработки требований к действиям по оценке рисков и контролю их снижения на этапах жизненного цикла всех объектов капитального строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Законы. О техническом регулировании [Электронный ресурс] : федер. закон Рос. Федерации от 27.12.2002 № 184-ФЗ. – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. Версия Проф.
2. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс] : федер. закон Рос. Федерации от 30.12.2009 № 384-ФЗ. – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. Версия Проф.
3. Российская Федерация. Правительство. О государственном строительном надзоре в Российской Федерации (вместе с Положением об осуществлении государственного строительного надзора в Российской Федерации) [Электронный ресурс] : постановление Правительства Рос. Федерации от 01.02.2006 № 54 . – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. Версия Проф.
4. Российская Федерация. Правительство. О порядке проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства (вместе с Положением о проведении строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства) [Электронный ресурс] : постановление Правительства Рос. Федерации от 21.06.2010 № 468 . – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. Версия Проф.
5. Российская Федерация. Законы. Градостроительный кодекс Рос. Федерации [Электронный ресурс] : [федер. закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ]. – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. Версия Проф.



URYAVINA Lyudmila Vladimirovna, engineer of the department of licensing and accreditation; PRAKHOVA Tatiana Nikolaevna, candidate of technical sciences, professor, holder of the chair of standardization and engineering graphics

ANALYSIS OF THE LEGAL REGULATIONS ON CONTROL AND SUPERVISION IN CONSTRUCTION

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel./fax: +7 (831) 430-54-95;
e-mail: standart@nngasu.ru

Key words: construction control, state building supervision, risk-based approach, risk assessment.

The article analyzes legal normative documents on control and supervision in construction. The absence of a risk-based approach in the requirements for control and supervision is revealed, therefore, the requirements of Federal law of 26.12.2008 №. 294-FZ "On protection of the rights of legal entities and individual entrepreneurs when exercising state control (supervision) and municipal control" and Government Resolution of 17.08.2016 № 806 "On application of a risk-based approach to certain types of state control (supervision) and amendments to some acts of the Government of the Russian Federation" are not met. It is noted that technological, environmental, occupational and other risks exist during construction of objects of all categories. The necessity of the development of requirements for risks assessment and control of their reduction at the stages of the life cycle of the construction industry products is justified.

REFERENCES

1. Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. O tekhnicheskoy regulirovaniy [The Russian Federation. Laws. On technical regulation]. [Elektronnyy resurs] : feder. zakon Ros. Federatsii ot 27.12.2002 № 184-FZ. Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. Versiya Prof.
2. Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. Tekhnicheskyy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy [The Russian Federation. Laws. Technical regulations on safety of buildings and structures] [Elektronnyy resurs] : feder. zakon Ros. Federatsii ot 30.12.2009 № 384-FZ. Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. Versiya Prof.
3. Rossiyskaya Federatsiya. Pravitelstvo. O gosudarstvennom stroitelnom nadzore v Rossiyskoy Federatsii [The Russian Federation. The Government. On state construction supervision in the Russian Federation] (vmeste s «Polozheniem ob osuschestvlenii gosudarstvennogo stroitel'nogo nadzora v Rossiyskoy Federatsii»). [Elektronnyy resurs] : postanovlenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 01.02.2006 № 54. Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. Versiya Prof.
4. Rossiyskaya Federatsiya. Pravitelstvo. O poryadke provedeniya stroitel'nogo kontrolya pri osuschestvlenii stroitelstva, rekonstruktsii i kapital'nogo remonta ob'ektov kapital'nogo stroitelstva [The Russian Federation. The Government. About the order of carrying out construction supervision during construction, reconstruction and capital repair of capital construction objects] (vmeste s «Polozheniem o provedenii stroitel'nogo kontrolya pri osuschestvlenii stroitelstva, rekonstruktsii i kapital'nogo remonta ob'ektov kapital'nogo stroitelstva»). [Elektronnyy resurs] : postanovlenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 21.06.2010 № 468. Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. Versiya Prof.
5. Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. Gradostroitelnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii [The Russian Federation. Laws. The town-planning code of the Russian Federation]. [Elektronnyy resurs] : feder. zakon Ros. Federatsii ot 29.12.2004 № 190-FZ. Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. Versiya Prof.

© Л. В. Урявина, Т. Н. Прахова, 2018

Получено: 29.12.2017 г.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 699.86

Г. М. КАЗАКОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры отопления и вентиляции;
Е. С. КОЗЛОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры отопления и вентиляции

МЕТОД РАСЧЕТА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-85;
эл. почта: kov@nngasu.ru

Ключевые слова: отражающая теплоизоляция, параметры микроклимата, коэффициент теплопроводности, коэффициент конвективной теплоотдачи, коэффициент конвективно-лучистой теплоотдачи.

Приведен расчет основных характеристик процесса теплообмена между внутренним и наружным воздухом через многослойную наружную стену со слоем эффективного утеплителя и анализ обоснованности использования термина «отражающая теплоизоляция»

Одной из особенностей современной строительной индустрии является необходимость комплексного решения задачи по энергосбережению и повышению энергоэффективности систем обеспечения микроклимата зданий. Для успешной реализации подобных задач большое значение в частности имеет выбор совершенной, теоретически обоснованной и апробированной методики расчета теплообменных процессов между внутренним и наружным воздухом через ограждающие конструкции зданий.

Один из применяемых в действующей практике методов расчета показателей тепловой защиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией приведен в ГОСТ Р 56734-2015 [1]. Однако, по нашему мнению, этот метод имеет ряд существенных недостатков.

Во-первых, термин отражательная теплоизоляция противоречит физике переноса тепловой энергии. Теплота – это энергообмен тепловой энергией выделенной системы с ее окружением. Тела не содержат теплоты. Это понятие имеет смысл только на поверхности выделенной системы. При температуре выше 0 °К некоторая часть внутренней тепловой энергии тела вследствие неравномерного хаотического движения заряженных частиц атомов превращается в электромагнитную энергию и с поверхности тела излучается в окружающее пространство. Этот отвод тепловой энергии тела на его границе является теплотой. Электромагнитная энергия – это количественная мера движения электромагнитного поля или фотонов. Она может излучаться, отражаться и поглощаться. Часть падающей на тело электромагнитной энергии, излученной другими телами, взаимодействуя с заряженными частицами атомов (для металла на глубине ~1 мкм, для непрозрачного диэлектрика – ~1 мм), превращается в тепловую энергию тела. Этот подвод тепловой энергии на поверхности тела является теплотой. Таким образом, излучаемая и поглощаемая электромагнитные энергии являются как бы промежуточными агентами в лучистом теплопереносе. При этом отраженная электромагнитная энергия не превращается во внутреннюю тепловую энергию на поверхности тела в отличие



от излученной и поглощенной электромагнитной энергии. Поэтому отраженная электромагнитная энергия не имеет отношения к теплопереносу. Словосочетание «отражающая теплоизоляция» физически абсурдно, так как противоречит сути теории теплопереноса, в том числе и лучистого теплообмена. Результирующая плотность теплового потока всегда направлена в сторону уменьшения температуры. Об отражении ее обратно не может быть и речи. Это противоречило бы второму закону термодинамики. В формулах для расчета результирующей плотности теплового потока лучистого теплообмена при различных методах их получения: многократных отражений электромагнитной энергии, эффективных потоков, сальдо и др. присутствуют только коэффициенты теплового излучения и поглощения. Ни в одной из формул нет коэффициента отражения. Это еще раз подтверждает, что термин «отражающая теплоизоляция» не имеет теплофизического смысла.

Кроме этого имеется ряд серьезных замечаний к методу расчета приведенного сопротивления теплопередачи наружной ограждающей конструкции с замкнутой воздушной прослойкой, одна из поверхностей которой имеет малый коэффициент излучения. В методе расчета не сформулирована численно цель, не учитывается лучистый теплообмен между предметами помещения и внутренней поверхностью стены. Нет расчета лучистого теплообмена между наружной поверхностью стены и окружающей средой. В табл. 1 [1] приведены значения термического сопротивления замкнутой воздушной прослойки, которые в разы отличаются от результатов расчета по опытным формулам, применяемым в теплоэнергетике и авиационной технике [2, с. 209–210; 3, с. 285]. В стандартизированной методике [1] требуется проводить повторный расчет, уточняющий первое приближение на 2 %, тогда как коэффициенты теплопроводности четырех материалов конструкции определены с погрешностью более 4 %. Следующие замечания выявлены при проведении расчета с исходными данными из примера [1].

Конструкция наружной стены состоит: из обшивки с внутренней стороны гипсокартоном толщиной $\delta_1 = 0,013$ м с коэффициентом теплопроводности $\lambda_1 = 0,21$ Вт/(м·°С); воздушной прослойки толщиной $\delta_2 = 0,05$ м; пенополистирола ПСБ-С-25 толщиной $\delta_3 = 0,04$ м с коэффициентом теплопроводности $\lambda_3 = 0,041$ Вт/(м·°С) и кладки из полнотелого кирпича толщиной $\delta = 0,51$ м с коэффициентом теплопроводности $\lambda_4 = 0,7$ Вт/(м·°С). Температура воздуха в помещении $t_1 = 20$ °С. Температура наружного воздуха $t_2 = -28$ °С. Коэффициент конвективной теплоотдачи на внутренней поверхности стены $\alpha_1 = 8,7$ Вт/(м²·°С). Коэффициент конвективной теплоотдачи на наружной поверхности стены $\alpha_2 = 23$ Вт/(м²·°С). Определить плотность теплового потока при стационарной теплопередаче через наружную стену, термические сопротивления теплопередаче и теплопроводности стенки.

Из каких соображений выбрана в [1] такая конструкция наружной стены совершенно неясно. Можно предположить, что кирпичная кладка заданной толщины выбрана из соображений прочности здания. Облицовка этой кладки на внутренней поверхности гипсокартоном также не вызывает возражений. Но где доказательства необходимости слоя заданной толщины пожароопасного пенополиуретана и воздушной прослойки? Если подобное решение продиктовано требованиями энергосбережения, было бы уместным привести соответствующее обоснование.

С учетом приведенных выше недостатков расчет теплопередачи через ограждающие конструкции зданий, по нашему мнению, следует проводить из условий обеспечения в первую очередь санитарно-гигиенических показателей тепловой обстановки в помещениях с последующим контролем соответствия требованиям по энергоэффективности.



Федеральный закон РФ № 384-ФЗ от 30.12.2009, как отмечается в ГОСТ [1], устанавливает требования к зданиям и сооружениям исключать нерациональный расход энергетических ресурсов и «...не создавать условий для недопустимого ухудшения параметров среды обитания людей...». К таким параметрам микроклимата относятся температура воздуха в помещении t_1 и перепад температуры между температурой воздуха и температурой на внутренней поверхности стены ($t_1 - t_{cl}$). В соответствии с требованиями свода правил СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий этот перепад температуры для наружных стен жилых зданий равен 4°C .

В качестве примера выполним расчет основных характеристик процесса теплообмена через наружную стену в следующей последовательности:

1. Рассчитаем приведенный коэффициент излучения системы «предметы помещения – наружная поверхность стены», используя данные табл. 2 ГОСТ [1].

$$C_{\text{пр1}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} = \frac{1}{\frac{1}{4,14} + \frac{1}{4,14} - \frac{1}{5,67}} = 3,33 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4). \quad (1)$$

2. Определим результирующую плотность лучистого теплового потока на внутренней поверхности стены

$$q_{\text{л1}} = C_{\text{пр}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cl}}{100} \right)^4 \right] = 3,33 \left[\left(\frac{293}{100} \right)^4 - \left(\frac{289}{100} \right)^4 \right] = 13,12 \text{ Вт}/\text{м}^2. \quad (2)$$

3. Плотность теплового потока конвективной теплоотдачи равна

$$q_{\text{к1}} = \alpha_1(t_1 - t_{cl}) = 8,7 \cdot 4 = 34,8 \text{ Вт}/\text{м}^2. \quad (3)$$

Как видно, лучистая и конвективная теплоотдачи – одного порядка. Поэтому пренебрегать лучистой теплоотдачей, как это сделано в ГОСТ [1], нельзя.

Суммарная плотность теплового потока равна

$$q = q_{\text{л1}} + q_{\text{к1}} = 13,12 + 34,8 = 47,92 \text{ Вт}/\text{м}^2. \quad (4)$$

4. Определим суммарный коэффициент конвективной и лучистой теплоотдачи на внутренней поверхности стены

$$(\alpha_1 + \alpha_{\text{л1}}) = \frac{q}{(t_1 - t_{cl})} = \frac{47,92}{(20 - 16)} = 11,98 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}). \quad (5)$$

5. Соответственно здесь термическое сопротивление суммарной теплоотдаче составит

$$R_{\alpha 11} = \frac{1}{(\alpha_1 + \alpha_{\text{л1}})} = \frac{1}{11,98} = 0,083 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}. \quad (6)$$

6. Рассчитаем приведенный коэффициент излучения системы «наружная поверхность кирпичной кладки – окружающая среда»

$$C_{\text{пр2}} = \frac{1}{\frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} - \frac{1}{C_0}} = \frac{1}{\frac{1}{5,2} + \frac{1}{5,2} - \frac{1}{5,76}} = 4,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4). \quad (7)$$

7. Из очевидного равенства определим температуру на наружной поверхности кирпичной кладки

$$q = q_{\alpha 2} + q_{\text{л2}} = \alpha_2(T_{c5} - T_2) + C_{\text{пр2}} \left[\left(\frac{T_{c5}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (8)$$

$$47,92 = 23 \cdot (T_{c5} - 245) + 4,76 \left[\left(\frac{T_{c5}}{100} \right)^4 - \left(\frac{245}{100} \right)^4 \right],$$



$$t_{c5} = -26,15 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

8. Определим суммарный коэффициент конвективной и лучистой теплоотдачи на наружной поверхности стены

$$(\alpha_2 + \alpha_{л2}) = \frac{q}{(t_{c5} - t_2)} = \frac{47,92}{(-26,15 + 28)} = 25,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}). \quad (9)$$

9. Термическое сопротивление суммарной теплоотдаче на наружной поверхности стены равно

$$R_{a22} = \frac{1}{(\alpha_2 + \alpha_{л2})} = \frac{1}{25,9} = 0,039 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}. \quad (10)$$

10. Определим термическое сопротивление теплопроводности гипсокартона

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,013}{0,21} = 0,062 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}. \quad (11)$$

11. Термическое сопротивление теплопроводности кирпичной кладки составит

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,51}{0,7} = 0,729 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}. \quad (12)$$

12. Суммарное термическое сопротивление теплопередаче двухслойной стены «гипсокартон – кирпичная кладка» равно

$$\Sigma R_i = R_{a11} + R_1 + R_4 + R_{a22} = 0,083 + 0,062 + 0,729 + 0,039 = 0,913. \quad (13)$$

13. Необходимое термическое сопротивление для поддержания требуемых параметров микроклимата помещения составляет

$$R_{0м} = \frac{(t_1 - t_2)}{q} = \frac{(20 + 28)}{47,92} = 1,002 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}. \quad (14)$$

14. Разность необходимого и суммарного термических сопротивлений равна

$$\Delta R = R_{0м} - \Sigma R_i = 1,002 - 0,913 = 0,089 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}. \quad (15)$$

15. Подобным значением сопротивления теплопроводности обладает, например, слой пенополистирола толщиной

$$\delta_n = \Delta R \cdot \lambda_n = 0,089 \cdot 0,041 = 0,0036 \text{ м}. \quad (16)$$

Такая трехслойная стенка «гипсокартон – пенополистирол – кирпичная кладка» удовлетворяет поддержанию стандартизованного микроклимата помещения. И только после этого может быть поставлена другая количественная цель. Например, не ухудшая параметров микроклимата помещения, снизить теплопотери через наружные стены в 2 раза, или то же самое, увеличить в 2 раза термическое сопротивление теплопередаче.

При этом термические сопротивления теплопроводности, рассчитанные выше для гипсокартона и кирпичной кладки, не изменятся. Можно ввести в конструкцию стены, как это сделано в ГОСТ [1], стандартизованную толщину $\delta_3 = 0,04$ м фольгированного с одной стороны алюминием пенополистирола, а нестандартизованную толщину воздушной прослойки рассчитать. Также необходим расчет температуры на внутренней и наружной поверхности многослойной стены.



16. При уменьшении тепловых потерь в 2 раза, т. е. при плотности теплового потока $q_1 = 47,92:2 = 23,96$ Вт/м², температуру на внутренней поверхности стены можно рассчитать из очевидного равенства

$$q_1 = \alpha_1(T_1 - T_{c1}) + C_{\text{пр1}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{c1}}{100} \right)^4 \right], \quad (17)$$

$$23,96 = 8,7(293 - T_{c1}) + 3,33 \left[\left(\frac{293}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{c1}}{100} \right)^4 \right],$$

$$T_{c1} = 291 \text{ } ^\circ\text{K}.$$

17. Плотность теплового потока конвективной теплоотдачи на внутренней поверхности стены равна

$$q_{1к} = \alpha_{1к}(T_1 - T_{c1}) = 8,7(293 - 291) = 17,4 \text{ Вт/м}^2. \quad (18)$$

18. Соответственно плотность теплового потока лучистой теплоотдачи составит

$$q_{1л} = q_1 - q_{1к} = 23,96 - 17,4 = 6,56 \text{ Вт/м}^2. \quad (19)$$

19. Определим коэффициент конвективно-лучистой теплоотдачи

$$(\alpha_{1к} + \alpha_{1л}) = \frac{q_1}{(t_1 - t_{c1})} = \frac{23,96}{(20 - 18)} = 11,98 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}. \quad (20)$$

20. Термическое сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности стены равно

$$R_{a1} = \frac{1}{(\alpha_{1к} + \alpha_{1л})} = \frac{1}{11,98} = 0,083 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}. \quad (21)$$

21. Исходя из очевидного равенства, определим температуру на наружной поверхности кирпичной кладки

$$q_1 = \alpha_{2к}(T_{c5} - T_2) + C_{\text{пр2}} \left[\left(\frac{T_{c5}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (22)$$

$$23,96 = 23 \cdot (T_{c5} - 245) + 4,76 \cdot \left[\left(\frac{T_{c5}}{100} \right)^4 - \left(\frac{245}{100} \right)^4 \right],$$

$$T_{c5} = 245,93 \text{ } ^\circ\text{K}.$$

22. Коэффициент конвективно-лучистой теплоотдачи равен

$$(\alpha_{2к} + \alpha_{2л}) = \frac{q_1}{(T_{c5} - T_2)} = \frac{23,96}{(245,93 - 245)} = 25,76 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}. \quad (23)$$

23. Определим термическое сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности кирпичной кладки

$$R_{a2} = \frac{1}{(\alpha_{2к} + \alpha_{2л})} = \frac{1}{25,76} = 0,039 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}. \quad (24)$$

24. Температура на внутренней поверхности воздушной прослойки равна

$$t_{c2} = t_{c1} - q_1 \cdot R_1 = 18 - 23,96 \cdot 0,062 = 16,51 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (25)$$

25. Рассчитаем термическое сопротивление теплопроводности пенополистирола

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,04}{0,041} = 0,98 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}. \quad (26)$$



26. Температура на внутренней поверхности кирпичной кладки составит

$$t_{c4} = t_{c5} - q_1 \cdot R_4 = -27,07 + 23,96 \cdot 0,729 = -9,60 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (27)$$

27. Определим температуру на наружной поверхности воздушной прослойки

$$t_{c3} = t_{c4} - q_1 \cdot R_3 = -9,60 + 23,96 \cdot 0,98 = 13,88 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (28)$$

28. Рассчитаем приведенный коэффициент излучения системы: внутренняя и наружная поверхности замкнутой воздушной прослойки

$$C_{\text{пр}3} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{\text{Al}}} - \frac{1}{C_0}} = \frac{1}{\frac{1}{4,14} + \frac{1}{0,28} - \frac{1}{5,67}} = 0,275 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4). \quad (29)$$

29. Определим плотность лучистого теплового потока в воздушной прослойке

$$q_{\text{л}3} = C_{\text{пр}3} \left[\left(\frac{T_{c2}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{c3}}{100} \right)^4 \right] = 0,275 \left[\left(\frac{289,51}{100} \right)^4 - \left(\frac{286,88}{100} \right)^4 \right] = 0,69 \text{ Вт}/\text{м}^2. \quad (30)$$

30. Чтобы удовлетворить условиям задачи, необходимо обеспечить в воздушной прослойке значение плотности конвективно-теплопроводного теплового потока

$$q_{\text{кт}3} = q_1 - q_{\text{л}3} = 23,96 - 0,69 = 23,27 \text{ Вт}/\text{м}^2. \quad (31)$$

Толщину воздушной прослойки можно рассчитать из следующих соображений. Значение плотности конвективно-теплопроводного теплового потока можно записать в виде

$$q_{\text{кт}3} = \lambda_{\text{э}кв} (t_{c2} - t_{c3}) / \delta_2.$$

Откуда термическое сопротивление теплопроводности воздушной прослойки равно

$$\frac{\delta_2}{\lambda_{\text{э}кв}} = \frac{(t_{c2} - t_{c3})}{q_{\text{кт}3}} = \frac{(16,51 - 13,88)}{23,27} = 0,113. \quad (32)$$

Если принять $\lambda_{\text{э}кв} = \lambda_2 = 0,0255 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$, то $\delta_2 = 0,113 \cdot 0,0255 = 0,003 \text{ м}$.

Это допущение справедливо, так как при этом

$$Gr \cdot Pr = \left(\frac{g \cdot \beta \cdot \theta_c \cdot \delta_2^3}{\theta^2} \right) \cdot Pr = \left(\frac{9,81 \cdot 0,0035 \cdot 2,63 \cdot (0,003)^3}{(14,61 \cdot 10^{-6})^2} \right) \cdot 0,7 = 8 < 10^3 \quad (33)$$

Кстати, если рассчитать этот комплекс для толщины воздушной прослойки равной 5 см, выбранной в стандартизированной методике [1] неизвестно из каких соображений, то получим

$$Gr \cdot Pr = \left(\frac{9,81 \cdot 0,0035 \cdot 2,63 \cdot (0,05)^3}{(14,61 \cdot 10^{-6})^2} \right) \cdot 0,7 = 3,7 \cdot 10^4. \quad (34)$$

Тогда отношение эквивалентного коэффициента теплопроводности к молекулярному коэффициенту теплопроводности воздуха по опытным данным многих зарубежных и отечественных ученых [2, с. 209] можно рассчитать по эмпирической зависимости

$$\varepsilon_{\text{к}} = 0,105 (Gr \cdot Pr)^{0,3} = 0,105 (3,7 \cdot 10^4)^{0,3} = 2,464. \quad (35)$$



И, следовательно, термическое сопротивление воздушной прослойки равно

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\varepsilon_k \cdot \lambda_2} = \frac{0,05}{2,464 \cdot 0,0255} = 0,796 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}. \quad (36)$$

Этот результат в $0,796/0,14 = 5,68$ раз превышает значение, приведенное в расчете [1]. К замечаниям, вызывающим необходимость корректировки стандартизированной методики расчета показателей тепловой защиты, можно отнести и некорректное название «потоком теплоты» вместо «плотности теплового потока» величины с единицей измерения Вт/м².

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 56734-2015. Здания и сооружения. Расчет показателя теплозащиты ограждающих конструкций с отражательной теплоизоляцией. – Введ. 11-19-15. – Москва : Изд-во стандартов, 2015. – 15 с.
2. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 417 с.
3. Болгарский, А. В. Термодинамика и теплопередача / А. В. Болгарский, Г. А. Мухачев, В. К. Шукин. – Москва : Высш. шк., 1964. – 458 с.

KAZAKOV Georgiy Mikhaylovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heating and ventilation; KOZLOV Evgeniy Sergeevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heating and ventilation

METHOD OF CALCULATING ENERGY SAVING DURING HEAT TRANSFER THROUGH ENCLOSING STRUCTURES OF BUILDINGS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-85;
e-mail: kov@nngasu.ru

Key words: reflective thermal insulation, microclimate parameters, coefficient of thermal conductivity, coefficient of convective heat transfer, coefficient of convective-radiant heat transfer.

The article presents calculation of the main characteristics of a heat exchange process between the internal and external air through a multilayer outer wall with a layer of effective insulation and justifies application of the term "reflective insulation".

REFERENCES

1. GOST P 56734-2015. Zdaniya i sooruzheniya. Raschyot pokazatelya teplozaschity ogradhdayuschikh konstruksiy s otrazhatelnoy teploizolyatsiey [Buildings and constructions. Calculation of the heat protection index of external walls with reflective thermal insulation]. Vved. 11-19-15. Moscow, Izd-vo standartov, 2015, 15 p.
2. Isachenko V. P., Osipova V. A., Sukomel A. S. Teploperedacha [Heat transfer]. Moscow, Energoizdat, 1981, 417 p.
3. Bolgarskiy A. V., Mukhachev G. A., Schukin V. K. Termodinamika i teploperedacha [Thermodynamics and heat transfer]. Moscow, Vyssh. shk. 1964, 458 p.

© Г. М. Казаков, Е. С. Козлов, 2018

Получено: 29.12.2017 г.

УДК 628.316.12

С. В. СТЕПАНОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры водоснабжения и водоотведения; **О. Н. ПАНФИЛОВА**, аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения

**ДООЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ МЕДИ НА РАЗЛИЧНЫХ
ТИПАХ СОРБЕНТОВ**

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Архитектурно-строительный институт

Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194, корп. 1.

Тел.: (846) 242-21-71; эл. почта: stepanovsv3@yandex.ru

Ключевые слова: тяжелые металлы, доочистка, цеолит, модифицированная глина, модифицированные опилки, сорбция.

Приведены результаты испытаний различных сорбционных материалов, в том числе новых образцов. Эксперименты проводились в статических условиях в диапазоне исходных концентраций ионов меди, аналогичных концентрациям в очищенных сточных водах городов, нефтеперерабатывающих предприятий и гальванических цехов. Построены кинетические кривые сорбции и изотермы по ионам меди.

Как правило, в очищенных сточных водах промышленных предприятий и коммунальных очистных сооружений концентрации ионов тяжелых металлов значительно превышают установленные нормативы, основанные на ПДК рыбохозяйственных водоемов. Так, в сточных водах одного из нефтеперерабатывающих заводов концентрации ионов металлов составляют, мг/л: хрома 0,01–0,07; меди 0,01–0,33; железа 0,24–1,34; цинка 0,03–0,42; кадмия 0,001–0,007; алюминия до 0,027; марганца до 0,14, что значительно превышает установленные нормативы допустимого сброса [1, 2]. Применение реагентного метода осаждения ионов металлов из сточных вод гальванических цехов не позволяет снизить их концентрации до норм ПДК. Поэтому поиск решений по глубокой очистке и подбор современных сорбционных материалов для удаления тяжелых металлов при исходных концентрациях порядка десятых и сотых долей мг/л является востребованным для многих предприятий.

В последние годы для доочистки сточных вод от ионов тяжелых металлов наиболее часто применялись и рассматривались различные сорбционные материалы. Среди сорбентов упоминаются активированный уголь [3, 4], шлак [5], крахмал [6], отходы целлюлозно-бумажной промышленности [7]. Наибольший интерес вызвали работы с применением природных [8–12] и синтетических цеолитов [13], а также модифицированные глины [14–18] и активированные ортофосфорной кислотой опилки [19].

Материалы и методы исследования

В качестве исследуемых образцов были выбраны материалы, представленные в табл. 1.



Таблица 1

Исследуемые образцы

Номер образца	Название образца	Производитель	Фракция
1	Холинский цеолит	Забайкальское месторождение	0,5–0,8 мм
2	синтетический цеолит NaX	ООО «Ишимбайский специализированный химический завод катализаторов»	гранулированный, цилиндрическая форма $d = 1,6$ мм
3	модифицированная глина	экспериментальный образец	гранулированный, кубическая форма, размер ребра 3–5 мм
4	модифицированные древесные опилки	экспериментальный образец	произвольного размера толщиной не более 1–2 мм

Изучение сорбционных свойств материалов по отношению к ионам меди проводили в статических условиях. Для построения изотерм в работе использовали метод неизменных навесок и переменных концентраций ионов тяжелых металлов (от 10 до 0,1 мг/л). Статическую обменную емкость (СОЕ, мг/г) вычисляли по убыли концентрации:

$$\text{СОЕ} = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{вых}}}{m} \cdot V_{\text{р-ра}}$$

где $C_{\text{исх}}$ – исходная концентрация ионов металла в растворе, мг/л; $C_{\text{вых}}$ – концентрация ионов металла после взаимодействия с сорбентом, мг/л; m – масса сорбента, г; $V_{\text{р-ра}}$ – объем раствора, л.

Подготовка сорбентов

Цеолит Холинского месторождения предварительно просеивали с целью получения оптимальной фракции 0,8–0,5 мм [12], промывали дистиллированной водой и высушивали до постоянного веса в шкафу при температуре 105 °С. Результаты эксперимента в статических условиях представлены на рис. 1.

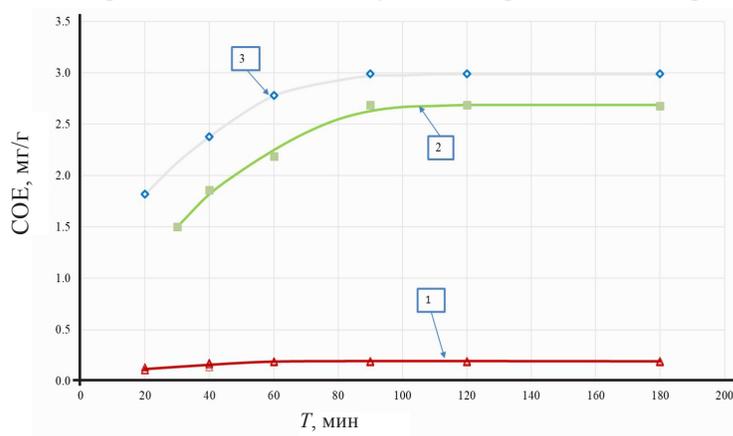


Рис. 1. Кинетика сорбции ионов меди природным цеолитом Холинского месторождения: 1 – $C_{\text{исх}} = 1$ мг/л, $V_{\text{р-ра}} = 200$ мл, $m = 1$ г; 2 – $C_{\text{исх}} = 5$ мг/л, $V_{\text{р-ра}} = 500$ мл, $m = 0,5$ г; 3 – $C_{\text{исх}} = 7$ мг/л, $V_{\text{р-ра}} = 500$ мл, $m = 0,5$ г



Данные рис. 1 свидетельствуют о том, что равновесие наступает через 90 минут контакта сорбент – раствор. Поэтому исследования статики сорбции были проведены для этого времени. Изотерма сорбции приведена на рис. 2. Наименьшая равновесная концентрация после взаимодействия раствора меди с Холинским цеолитом составила 0,01 мг/л. Максимальное значение обменной емкости 3 мг/г было достигнуто при исходной концентрации меди 7 мг/л. При исходной концентрации 1 мг/л сорбционная емкость составила 0,198 мг/г.

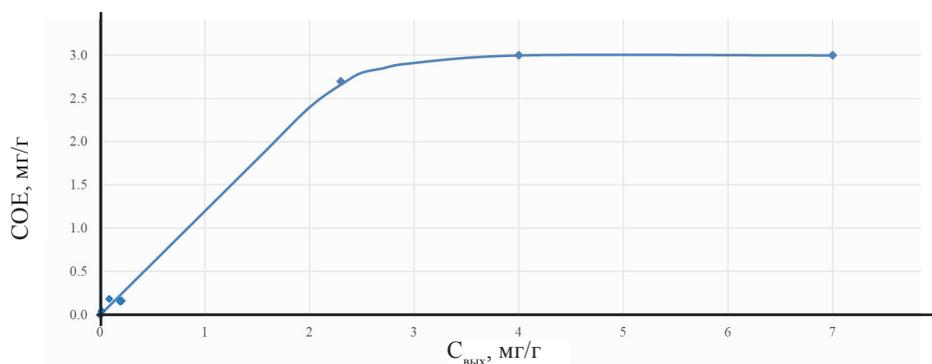


Рис. 2. Статика сорбции ионов меди природным цеолитом Холинского месторождения: $V_{\text{р-ра}} = 500$ мл, $m = 0,5$ г

Модифицированная глина

В состав образца входили следующие компоненты: глина месторождений Самарского региона, торф, древесная зола, доломит. Методика приготовления сорбента описана в работах [14, 15]. Эти компоненты предварительно измельчали сначала в фарфоровой ступке, а затем в шаровой мельнице Retsch PM 100, со скоростью вращения 3 000 об/мин в течение 30 минут. Для улучшения характеристик исходной глины ее обогащали путем просеивания через стальное сито. Торф подвергали пиролизическому отжигу без доступа кислорода при 600 °С в течение 15 минут в муфельной печи SNOL 8,2/1100. Подготовленные компоненты смешивали в различном процентном соотношении. В качестве связующего материала добавляли эмульсию поливинилацетата и дистиллированную воду. Полученную массу формировали в кубическую форму с размером ребра 3–5 мм, отправляли на сушку при 100 °С в течение 2–4 часов и отжигали в муфельной печи в кислородсодержащей среде при 800–1100 °С. Образец с наибольшей статической обменной емкостью был использован для дальнейшего исследования.

При проведении кинетических исследований за 5 минут до окончания времени контакта мешалки выключались, пробу отстаивали от частиц глины и фильтровали через бумажный фильтр «синяя лента». Кинетика сорбции ионов меди модифицированной глиной представлена в табл. 2 и на рис. 3.



Таблица 2

**Кинетика сорбции ионов меди модифицированной глиной
(масса сорбента 1 г, объем раствора 0,2 л)**

Номер опыта	T , мин	$C_{исх}$, мг/л	$C_{вых}$, мг/л	СОЕ, мг/г
1	5	0,31	0,0030	0,0610
	10		0,0021	0,0612
	20		0,0012	0,0614
	40		0,0011	0,0614
	60		0,0009	0,0614
	90		0,0009	0,0614
2	5	0,31	0,0027	0,0611
	10		0,0022	0,0612
	20		0,0014	0,0613
	40		0,0012	0,0614
	60		0,0011	0,0614
	90		0,0007	0,0614
3	5	1,1	0,0244	0,2151
	10		0,0040	0,2192
	20		0,0032	0,2194
	40		0,0025	0,2195
	60		0,0022	0,2196
	90		0,0022	0,2196

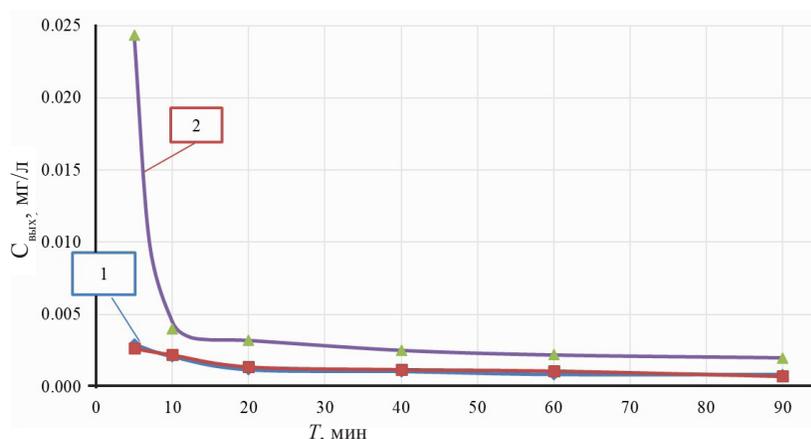


Рис. 3. Кинетика сорбции ионов меди модифицированной глиной $V_{р-ра} = 0,2$ л, $m = 1$ г при исходной концентрации меди: 1 – 0,31 мг/л (опыты 1, 2); 2 – 1,1 мг/л (опыт 3)

Кинетика сорбции происходит достаточно быстро: к 10-й минуте кривые выполаживаются и скорость сорбции уменьшается. Равновесие устанавливается через 20 минут взаимодействия сорбент – раствор. Остаточная концентрация меди в растворе составила 0,002 мг/л, при этом статическая обменная емкость равна 0,219 мг/г.



Синтетический цеолит NaX использовался в заводской форме без предварительной подготовки. Кинетика сорбции ионов меди синтетическим цеолитом представлены в табл. 3 и на рис. 4.

Таблица 3

**Кинетика сорбции ионов меди синтетическим цеолитом
(масса сорбента 1 г, объем раствора 0,2 л, концентрация меди 1 мг/л)**

Номер опыта	T , мин	$C_{\text{вых}}$, мг/л	СОЕ, мг/г
1	20	0,280	0,144
	40	0,261	0,148
	60	0,259	0,148
	90	0,118	0,176
	120	0,080	0,184
	180	0,066	0,187
2	20	0,280	0,144
	40	0,265	0,147
	60	0,266	0,147
	90	0,084	0,183
	120	0,076	0,184
	180	0,059	0,188
3	20	0,275	0,145
	40	0,270	0,146
	60	0,269	0,146
	90	0,087	0,182
	120	0,059	0,188
	180	0,057	0,188

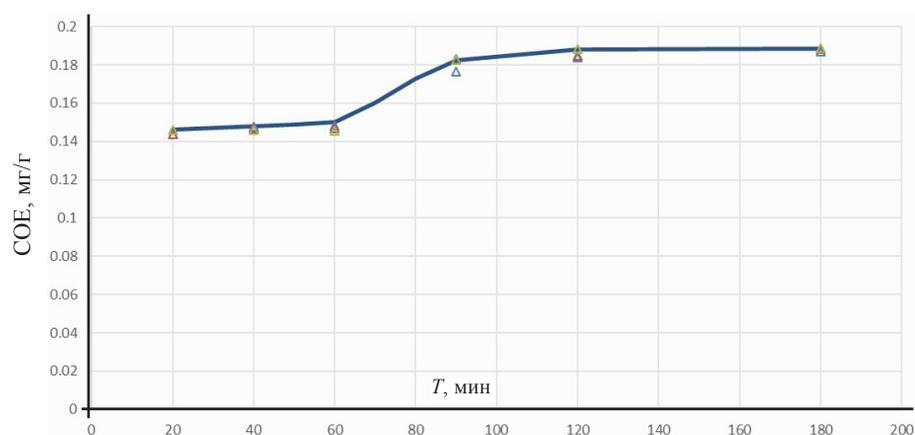


Рис. 4. Кинетика сорбции по ионам меди синтетическим цеолитом NaX: $V_{\text{р-ра}} = 200$ мл, $C_{\text{исх}} = 1,0$ мг/л, $m = 1$ г



Кинетика сорбции ионов меди на синтетическом цеолите описывается кривой с двумя плато. Достижение равновесной концентрации происходит на 120-й минуте. Остаточная концентрация меди в растворе составила 0,059 мг/л, что соответствует статической обменной емкости 0,188 мг/г. Ввиду небольшой исходной концентрации максимальная сорбционная емкость не была достигнута.

Модифицированные опилки. Экспериментальный образец готовили следующим образом: в раствор ортофосфорной кислоты и дистиллированной воды объемом 1000 мл добавляли древесные опилки, смесь нагревали до температуры 100 °С и перемешивали в течение часа. Потом проводили промывку до прозрачной воды и помещали в сушильный шкаф на 40 минут при температуре 110 °С. Методика приготовления сорбента описана в работе [18].

Таблица 4

Кинетика сорбции ионов меди 1 мг/л модифицированными древесными опилками массой 1 г из раствора объемом 0,2 л

T , мин	$C_{\text{вых}}$, мг/л	СОЕ, мг/г
20	0,100	0,180
40	0,062	0,188
60	0,076	0,185
90	0,076	0,185
120	0,076	0,185
180	0,080	0,186

Равновесная концентрация была достигнута через 40 минут, после чего произошло незначительное повышение содержания меди в растворе. Остаточная концентрация составила 0,062 мг/л, что соответствует статической обменной емкости 0,188 мг/г. Так же, как и для модифицированной глины, и синтетического цеолита ввиду небольшой исходной концентрации меди максимальная сорбционная емкость не была достигнута.

Выводы:

1. Кинетические исследования показали, что при исходной концентрации ионов меди 1 мг/л, объеме раствора 0,2 л и массе сорбента 1 г продолжительность установления равновесия и остаточные концентрации металла составили соответственно: 120 мин и 0,059 мг/л для синтетического цеолита; 90 мин и 0,01 мг/л для Холинского цеолита; 40 мин и 0,062 мг/л для модифицированных опилок; 20 минут и 0,002 мг/л для модифицированной глины.

2. Статические емкости при данных условиях для исследованных сорбентов находились в диапазоне от 0,188 до 0,219 мг/г, при этом наибольшее значение отмечено у модифицированной глины 0,219 мг/г.

3. По результатам экспериментов для дальнейших исследований выбран новый материал – модифицированная глина, поскольку она имеет лучшие кинетические показатели и наибольшую сорбционную емкость среди изученных сорбентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – Москва : АКВАРОС, 2003. – 512 с.
2. Степанов, С. В. Биологическая очистка и доочистка сточных вод нефтепе-



перерабатывающих и нефтехимических предприятий : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С. В. Степанов. – Самара, 2014. – 47 с.

3. Степанов, С. В. Анализ современных технологий доочистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / С. В. Степанов, О. Н. Панфилова // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре : сб. ст. Всерос. науч.-техн. конф. / Самар. Гос. архитектур.-строит. ун-т. – Самара, 2015. – С. 282–287.

4. Домрачева, В. А. Исследование сорбции тяжелых металлов и нефтепродуктов углеродными сорбентами на основе бурых углей [Электронный ресурс] / В. А. Домрачева, Г. Шийрав // Экологические и метеорологические проблемы больших городов и промышленных зон : междунар. конф. – Режим доступа : <http://www.rusnauka.com>.

5. Лухнева, О. Л. Повышение эффективности очистки сточных вод гальванического производства с использованием адсорбционного метода доочистки / О. Л. Лухнева // Вода и Химия. – 2010. – № 10. – С. 50–53.

6. Removal of transition metal ions from aqueous solution using dialdehyde phenylhydrazine starch as adsorbent / Rou Wang, Jun-Tao Liu, Chun-Yang Li, Rong Li // Water Science & Technology. – 2014. – Vol. 69 (3). – P. 479–485.

7. Ланина, Т. Д. Удаление тяжелых металлов из сточных вод методом сорбции / Т. Д. Ланина, Е. С. Селиванова, С. Н. Донин // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2015. – № 5. – С. 32–36.

8. Швецов, В. Н. Извлечение ионов тяжелых металлов биологически очищенных городских сточных вод // В. Н. Швецов [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 7. – С. 59–63.

9. Aziz, H. A. Heavy metals [Cd, Pb, Zn, Ni, Cu and Cr (III)] removal from water in Malaysia: Post treatment by high quality limestone / H. A. Aziz, M. N. Adlan, K. S. Ariffin // Bioresource Technology. – 2008. – Vol. 99, № 6.

10. Erdem, E. The removal of heavy metal cations by natural zeolites / E. Erdem, N. Karapinar, R. Donat // Journal of Colloid and Interface Science. – 2004. – Vol. 280. – P. 309–314.

11. Обуздина, М. В. Исследование закономерностей сорбционного извлечения органических загрязнителей из промышленных сточных вод цеолитами / М. В. Обуздина, Е. А. Руш // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – № 1. – С. 117–123.

12. Помазкина, О. И. Адсорбция ионов меди гейландитом кальция / О. И. Помазкина, Е. Г. Филагова, Ю. Н. Пожидаев // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2015. – № 4. – С. 370.

13. Sibebe, B. C. REMOÇÃO DE Cu+2 DE SOLUÇÕES AQUOSAS EM ZEÓLITA nat. EFEITO DA GRANULOMETRIA / B. C. Sibebe [et al] // Quim. Nova. – 2005. – Vol. 28, № 3. – P. 397–401.

14. New sorption materials on the basis of aluminosilicates for wastewater treatment / K. K. Abdugaffarova, M. V. Dorogov, A. A. Vikarchuk, V. V. Zabolotskikh, V. S. Firsov // Nano Hybrids and Composites: Trans Tech Publications, Switzerland. – 2017. – Vol. 13. – P. 190–196.

15. Абдугаффарова, К. К. Сорбент для очистки сточных вод от металлов / К. К. Абдугаффарова, А. А. Викарчук // Физическое материаловедение : VII Междунар. шк. с элементами науч. шк. для молодежи. – Тольятти, 2016. – С. 254–257.

16. Абдугаффарова, К. К. Сорбционные материалы на основе глины для очистки сточных вод / К. К. Абдугаффарова // Студенческие дни науки в ТГУ : науч.-практ. конф. / Тольятт. гос. ун-т. – Тольятти, 2016. – С. 92–94.

17. Получение новых сорбционных материалов на основе глины для очистки сточных вод от тяжелых металлов / К. К. Абдугаффарова, В. В. Заболотских, М. В. Дорогов, А. А. Викарчук // Композит – 2016 : сб. докл. Междунар. конф. – Энгельс, 2016. – С. 367–371.

18. Получение модифицированных сорбентов на основе природных материалов для очистки воды от фенолов / Я. И. Емелин, В. В. Заболотских, В. В. Бекин, В. С. Фирсов, М. В. Дорогов, А. А. Викарчук // Композит – 2016 : сб. докл. Междунар. конф. – Энгельс, 2016. – С. 384–387.



STEPANOV Sergey Valerievich, doctor of technical sciences, professor of the chair of water supply and sewerage; PANFILOVA Olga Nikolaevna, postgraduate student of the chair of water supply and sewerage

AFTERTREATMENT OF WASTEWATER FROM COPPER IONS BY VARIOUS TYPES OF SORBENTS

Institute of Architecture and Civil Engineering of Samara State Technical University

194, Molodogvardeyskaya St., building 1, Samara, 443001, Russia.

Tel.: + 7 (846) 242-21-71; e-mail: stepanovsv3@yandex.ru

Key words: heavy metals, aftertreatment, zeolite, modified clay, modified sawdust, sorption.

The article presents the results of testing various sorption materials, including new ones. The experiments were performed under static conditions in the range of the initial concentrations of copper ions analogous to the concentrations in the treated sewage waters of cities, oil refineries and galvanic shops. The kinetic curves of sorption and isotherms for copper ions are constructed.

REFERENCES

1. Zhmur N. S. Tekhnologicheskie i biokhimicheskie protsessy ochistki stochnykh vod na sooruzheniyakh s aerotenkami [Technological and biochemical processes of wastewater treatment in structures with aerotanks]. Moscow: AKVAROS, 2003. 512 p.
2. Stepanov S. V. Biologicheskaya ochistka i doochistka stochnykh vod neftepererabatyvayuschikh i neftekhimicheskikh predpriyatii [Biological purification and post-treatment of sewage of oil refineries and petrochemical enterprises]. Avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk. Samara, 2014. 47 p.
3. Stepanov S. V., Panfilova O. N. Analiz sovremennykh tekhnologiy doochistki stochnykh vod ot ionov tyazhyolykh metallov [Analysis of modern technologies for post-treatment of waste water from heavy metal ions]. Traditsii i innovatsii v stroitelstve i arkhitekture [Traditions and innovations in construction and architecture]. Sb. st. Vseros. nauch.-tekhn. konf., Samar. Gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Samara. 2015. P. 282–287.
4. Domracheva V. A., Shiyrav G. Issledovanie sorbtzii tyazhyolykh metallov i nefteproduktov uglerodnymi sorbentami na osnove burykh ugley [Investigation of the sorption of heavy metals and oil products by carbon sorbents based on brown coal]. Ekologicheskie i meteorologicheskie problemy bolshikh gorodov i promyshlennykh zon [Ecological and meteorological problems of large cities and industrial zones], mezhdunar. konf. Rezhim dostupa: <http://www.rusnauka.com>.
5. Lukhneva O. L. Povyshenie effektivnosti ochistki stochnykh vod galvanicheskogo proizvodstva s ispolzovaniem adsorbtsionnogo metoda doochistki [Increase of the efficiency of sewage treatment of galvanic production using the post-treatment adsorption method]. Voda i Khimiya [Water and Chemistry]. 2010. № 10. P. 50–53.
6. Rou Wang, Jun-Tao Liu, Chun-Yang Li and Rong Li. Removal of transition metal ions from aqueous solutions using dialdehyde phenylhydrazine starch as adsorbent. *Water Science & Technology*. 2014. Vol. 69 (3). P. 479-485.
7. Lanina T. D., Selivanova E. S., Donin S. N. Udalenie tyazhyolykh metallov iz stochnykh vod metodom sorbtzii [Removal of heavy metals from wastewater by sorption method]. Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie [Water purification. Water treatment. Water supply]. 2015. № 5. P. 32–36.
8. Shvetsov V. N., Morozova K. M. Izvlechenie ionov tyazhyolykh metallov biologicheskii ochischennykh gorodskikh stochnykh vod [Removal of heavy metals from biologically purified wastewater]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water Supply and Sanitary Equipment]. 2012. № 7. P. 59–63.
9. Aziz H. A., Adlan M. N., Ariffin K. S. Heavy metals Cd, Pb, Zn, Ni, Cu and Cr (III) removal from water in Malaysia: Post treatment by high quality limestone. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99. № 6.



10. Erdem E., Karapinar N., Donat R. The removal of heavy metals from natural zeolites. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004. Vol. 280. P. 309–314.
11. Obuzdina M. V., Rush E. A. Issledovanie zakonornostey sorbtionnogo izvlecheniya organicheskikh zagryazniteley iz promyshlennykh stochnykh vod tseolitami. [Study of the regularities of sorption extraction of organic pollutants from industrial wastewater with zeolites]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie*. [Cotemporary technologies. System analysis. Modeling]. 2011. № 1. P. 117–123.
12. Pomazkina O. I., Filatova E. G., Pozhidaev Yu.N. Adsorbtsiya ionov medi geylanditom kaltsiya. [Adsorption of copper ions by calcium gayllandite]. *Fizikokhimiya poverkhnosti i zaschita materialov*. [Physicochemistry of the surface and protection of materials]. 2015. № 4. 370 p.
13. Sibebe B. C. Pergher, Marcela Caovilla, Chaline Detoni REMOÇÃO DE Cu+2 DE SOLUCES AQUOSAS EM ZEÓLITA NaX. EFEITO DA GRANULOMETRIA // *Quim. Nova*. 2005. Vol. 28, № 3. P. 397–401.
14. Abdugaffarova K. K., Dorogov M. V., Vikarchuk A. A., Zabolotskikh V. V., Firsov V. S. New sorption materials on the basis of aluminosilicates for wasterwater treatment . *Nano Hybrids and Composites: Trans Tech Publications, Switzerland*, 2017. Vol. 13. P. 190–196.
15. Abdugaffarova, K.K., Vikarchuk A. A. Sorbent dlya ochistki stochnykh vod ot metallov [Sorbent for wastewater treatment from metals]. *Fizicheskoe materialovedenie*. [Physical Material Science]. VII Mezhdunar. shk. s elementami nauch. shk. dlya molodyozhi. Togliatti, 2016. P. 254–257.
16. Abdugaffarova, K.K. Sorbtionnye materialy na osnove gliny dlya ochistki stochnykh vod [Sorption materials based on clay for wastewater treatment]. *Studencheskie dni nauki v TGU: nauch.-prakt. konf. Tolyat. gos. un-t. Togliatti*, 2016. P. 92–94.
17. Abdugaffarova K. K., Zabolotskikh V. V., Dorogov M. V., Vikarchuk A. A. Poluchenie novykh sorbtionnykh materialov na osnove gliny dlya ochistki stochnykh vod ot tyazhyolykh metallov [Production of new sorption materials based on clay for wastewater treatment from heavy metals]. *Kompozit – 2016: sb. dokl. Mezhdunar. konf.* [Proceedings of the international conference “Composite - 2016”]. Engels, 2016. P. 367–371.
18. Yemelin Ya. I. Zabolotskikh V.V., Bekin V. V., Firsov V. S. Dorogov M. V., Vikarchuk A. A. Poluchenie modifitsirovannykh sorbentov na osnove prirodnykh materialov dlya ochistki vody ot fenolov. [Production of modified sorbents based on natural materials for water purification from phenols]. *Kompozit – 2016: sb. dokl. Mezhdunar. konf.* [Proceedings of the international conference “Composite – 2016”]. Engels, 2016. P. 384–387.

© С. В. Степанов, О. Н. Панфилова, 2018

Получено: 11.11.2017 г.

УДК 625. 8

А. Ф. ЗУБКОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры городского строительства и автомобильных дорог; **К. А. АНДРИАНОВ**, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой городского строительства и автомобильных дорог; **М. Э. ПИЛЕЦКИЙ**, аспирант кафедры городского строительства и автомобильных дорог

РАСЧЕТ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ УКЛАДКЕ И УПЛОТНЕНИИ БИТУМОМИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Россия, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Е. Тел.: (4752) 63-09-20, (4752) 63-03-72; эл. почта: gsiad@mail.tambov.ru

Ключевые слова: дорожные покрытия, битумоминеральная смесь, импульс удара, контактные напряжения, уплотнение.

Приводятся результаты расчета контактных напряжений при укладке и уплотнении битумоминеральной смеси при ремонте выбоин дорожных покрытий струйно-инъекционным методом.

Оперативным методом ремонта выбоин на дорожных покрытиях нежесткого типа является струйно-инъекционный метод, позволяющий выполнять ремонтные работы без подготовительных работ.

Считается, что за счет энергии удара частиц при укладке смеси в выбоину покрытия обеспечивается достаточная прочность уложенного материала, и применение уплотняющих машин не требуется.

Применение для ремонта дорожных покрытий нежесткого типа струйно-инъекционного метода без дополнительного уплотнения смеси при ее укладке в выбоину покрытия основывается на предположении, что за счет энергии частиц битумоминеральной смеси, получаемой при движении в воздушном потоке, обеспечивается плотная их упаковка при контакте с ранее уложенной смесью [1].

При укладке смеси и возникновении контактов между частицами за счет энергии удара возникают силы, способствующие перемещению частиц относительно друг друга, что должно обеспечить плотную структуру уложенного материала в выбоине покрытия, а также его прочность и водонепроницаемость. Это возможно при условии, что величина напряжений при возникновении контакта будет близка пределу прочности укладываемого материала. Образование контакта частиц при укладке смеси представлено на рис. 1.

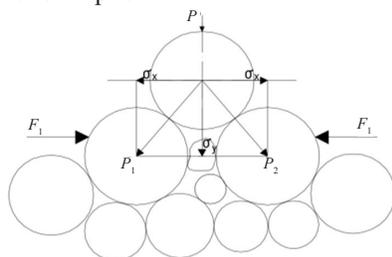


Рис. 1. Образование контакта частиц смеси при ее укладке струйно-инъекционным методом (P – сила удара частицы при образования контакта, Н; σ_x и σ_y – напряжения в зоне контакта частиц смеси, МПа; F – сила сопротивления перемещению частиц смеси при возникновении контакта, Н)



Для обеспечения при укладке смеси более высоких физико-механических характеристик при образовании контактов необходимо взаимное перемещение частиц относительно друг друга, то есть должны обеспечиваться условия [2–4]:

$$\sigma_x > \tau_{сд}; \sigma_y > \sigma_{сж}, \text{ МПа,}$$

где $\tau_{сд}$ – напряжения сдвига; $\sigma_{сж}$ – напряжения на сжатие; σ_x, σ_y – проекции напряжений в зоне контакта частицы с материалом выбоины.

Напряжение сдвига при образовании контакта между частицами зависит от свойств смеси (гранулометрического состава, состава и содержания эмульсии) и может быть принято в пределах 0,15–0,30 МПа [5–7]. Нарушение этих условий способствует образованию контактов при укладке без дополнительного уплотнения материала с высокой пористостью и низкой прочностью уложенного материала (рис. 2) [1, 8].



Рис. 2. Структура образца материала при укладке его струйно-инъекционным методом

При движении частицы материала в потоке воздуха сила удара частицы при возникновении контакта с неподвижной поверхностью определяется зависимостью

$$P = MV_1/\tau, \text{ Н,}$$

где M – масса частицы, г; V_1 – скорость при ударе, м/с; τ – время удара, с.

Определение массы частиц битумоминеральной смеси производилось путем отбора образцов массой 0,5 кг, просеивания на ситах с разными ячейками по фракциям и определения их массы с учетом диаметра. Полученные значения массы частиц в зависимости от диаметра представлены в табл. 1.

Таблица 1

Масса частицы в зависимости от диаметра

Диаметр частицы, мм	2,5	5,0	10,0	15,0	20,0
Масса частицы, г	0,5	0,8	1,30	1,19	2,4

Скорость перемещения частицы битумоминеральной смеси определяется скоростью воздушного потока, образующего воздуходувкой машины. Согласно техническим характеристикам для данной группы машин скорость воздушного потока принимается в пределах 30–32 м/с. Частицы каменного материала, подаваемые питателем машины в воздушный поток, захватываются им и дальше перемещаются со скоростью воздушного потока.

Установлено [1], что скорость перемещения частиц, движущихся в струе, в момент образования контакта с неподвижными частицами нанесенного слоя в выбоине определяется уравнением

$$v(\tau) = v_c + \frac{-v_c \sqrt{k g} + g \cdot \operatorname{tg}(\sqrt{k g}) \tau}{\sqrt{k g} + v_c k \cdot \operatorname{tg}(\sqrt{k g}) \tau},$$



где $v(\tau)$ – скорость частицы материала при ударе с основанием выбоины, м/с; v_c – скорость частицы в потоке воздуха, м/с; g – ускорение свободного падения.

Установлено, что перемещение частиц происходит в турбулентном режиме движения воздушного потока, что обеспечивает равномерное распределение по поверхности частицы битумной эмульсии.

Используя приведенную выше зависимость, определены скорости частицы в момент контакта с поверхностью выбоины в зависимости от ее диаметра. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние диаметра частицы смеси на скорость при ее контакте с поверхностью выбоины

Диаметр частицы, мм	2,5	5,0	10,0	15,0	20,0
Скорость при контакте, м/с	7,5	7,0	6,0	5,5	5,0

Экспериментально установлено [2], что время удара рабочего органа с уплотняемым материалом при работе машин ударного действия зависит от плотности материала и находится в пределах 0,04-0,01 с. Учитывая, что коэффициент уплотнения смеси при укладке ниже 0,8, время удара принимается равным 0,04 с. Взаимодействие частицы смеси при укладке происходит по контактной поверхности с ранее уложенным материалом.

Следовательно, в зоне контакта частиц возникают контактные напряжения, величина которых определяется зависимостью

$$\sigma_k = i_{уд} / \tau, \text{ МПа,}$$

где $i_{уд}$ – удельный импульс, Н·с/м²; τ – время удара, с.

Обеспечение требуемой прочности, пористости и плотности уложенного материала в выбоину покрытия будет достигаться при условии, когда напряжения в зоне контакта частицы с материалом соответствуют прочностным характеристикам слоя материала. При недостаточной энергии сближение частиц между собой не обеспечивается, что характеризуется повышенной пористостью, низкой прочностью и плотностью уложенного материала.

Из представленного на рис. 2 образца вырубки видно, что контакты между частицами смеси возникают за счет вязкости эмульсии на их поверхности. Перемещение частиц в пределах контактной зоны при укладке смеси не происходит. При контактных напряжениях, превышающих предел прочности уложенного материала, возникающие силы сцепления битумной пленки на поверхности минеральных частиц значительно меньше силы при ударе, и за счет остаточной энергии происходит отскок (разброс) частиц по поверхности дорожного покрытия.

Установлено, что в зоне контакта в зависимости от возникающих сил при соударении частиц могут возникать упругие, упругопластические и пластические деформации [9–11].

Следовательно, для обеспечения качества укладки и уплотнения битумоминеральной смеси струйно-инъекционным методом в выбоине покрытия необходимо соблюдение условия, при котором напряжения в зоне контакта частицы с материалом были близки прочностным характеристикам укладываемого материала.

Образование контакта при укладке смеси происходит при перемещении частицы с установленной скоростью, поэтому свойства вязкости смеси влияют незначительно на процесс удара.



Установлено [3], что при взаимодействии частицы материала с полупространством под действием энергии удара образуется контактная площадка с радиусом r , по которой сила распределяется в виде равномерно распределенного давления (см. рис. 3).

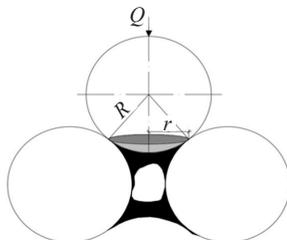


Рис. 3. Взаимодействие частицы смеси с материалом выбоины

Следовательно, можно считать, что при укладке смеси в зоне касания частиц контактные напряжения между ними распределяются равномерно, поэтому расчет контактных напряжений по дуге контакта частицы материала можно вести как для плоской задачи.

Радиус площади распределения среднего напряжения в частице укладываемого материала (мм), принимая, что при ударе сила приложена к центру тяжести частицы, определяется выражением

$$r = [3P(1 - \mu^2)R/4E]^{1/2},$$

где P – нормальная нагрузка в зоне контакта, Н; R – радиус частицы материала, мм; E – модуль упругости, кг/мм²; μ – коэффициент Пуассона, принимаем для смеси 0,2.

Результаты расчетов по определению радиуса контактной площадки представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние диаметра частицы на параметры контактной площадки

Диаметр частицы, мм	2,5	5,0	10,0	15,0	20,0
Радиус(r), мм	0,35	0,51	0,72	0,91	1,04
Угол z , рад	0,28	0,204	0,144	0,121	0,104

С учетом полученных значений контактной площадки частицы и приложенной силы при соударении частиц между собой рассчитаны средние напряжения по определению ее радиуса, которые представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов по определению радиуса контактной площадки

Диаметр частицы, мм	Масса частицы, кг	Скорость частицы при контакте, м/с	Контактная площадка, мм ²	Величина среднего напряжения, МПа
2,5	0,0005	7,5	0,38	0,56
5,0	0,0008	7,0	0,81	0,24
10,0	0,0013	6,0	1,52	0,042
15,0	0,0019	5,5	2,6	0,014
20,0	0,0024	5,0	3,4	0,0012

Из представленной на рис. 3 схемы взаимодействия частиц при возникновении контакта видно, что распределение напряжений по поверхности минеральной частицы осуществляется по криволинейной поверхности (см. рис. 4).

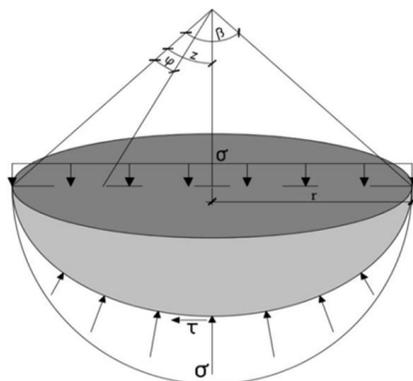


Рис. 4. Распределение контактных напряжений в зоне контакта частицы со слоем материала

Установлено [4], что характер распределения контактных напряжений в зоне взаимодействия криволинейных рабочих органов машины с уплотняемым материалом подчиняется экспоненциальной зависимости.

В центре контакта возникают максимальные напряжения, величина которых влияет на процесс укладки уплотнения минерального материала в выбоину покрытия. В общем виде напряженное состояние частицы в зоне контакта вальца с материалом будет определяться

$$\sigma = \sigma_y + \sigma_x, \text{ МПа,}$$

где σ_y, σ_x – составляющие общего напряжения при контакте частиц.

Условие равновесия напряженного состояния материала в зоне контакта частиц с учетом начальных и граничных условий можно представить системой уравнений:

$$\begin{aligned} \Sigma X = 0 & \quad \int_0^z F\sigma \sin(z - \varphi) d\varphi - \int_z^\beta F\sigma \sin(\varphi - z) d\varphi = 0, \\ \Sigma Y = 0 & \quad \int_0^z F\sigma \cos(z - \varphi) + \int_z^\beta F\sigma \cos(\varphi - z) d\varphi = P. \end{aligned}$$

Начальные и граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} \varphi = 0 & \rightarrow \sigma_x = \sigma_y = 0; \\ \varphi = \beta & \rightarrow \sigma_x = \sigma_y = 0; \\ \frac{d\sigma_y}{d\varphi} & = 0; \sigma_x = 0. \end{aligned}$$

В конечном виде решение системы уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} \sigma_y & = R \beta [\varphi\beta (N - \beta M) + \varphi^2 (\beta^2 K - N) + \varphi^3 (M - \beta K)]/\Delta; \\ \sigma_x & = R \mu \beta [\varphi\beta (W - \beta V) + \varphi^2 (\beta^2 U - W) + \varphi^3 (V - \beta U)]/\Delta, \end{aligned}$$

где φ – угол, характеризующий рассматриваемую точку на дуге контакта вальца с материалом; K, U, M, V, W, N – коэффициенты системы уравнений, зависящие от параметров машины и свойств материала.

Численное значение коэффициентов определяется из выражений:

$$K = -\beta \cos(\beta - z) + \sin(\beta - z) + \sin z; U = -\beta \sin(\beta - z) + \cos(\beta - z) + \cos z;$$



$$M = -\beta^2 \cos(\beta - z) + 2U; V = -\beta^2 \sin(\beta - z) - 2K;$$

$$N = -\beta^3 \cos(\beta - z) + 3V; W = -\beta^3 \sin(\beta - z) - 3M,$$

где R – сила, действующая на частицу, значение которой определяется из выражения P/F ; Δ – определитель системы уравнений, значение которого определяется из выражения

$$\Delta = (1 - \mu^2) [\beta (MW - NV) - \beta^2 (KW - UN) + \beta^3 (KV - UM)],$$

где μ – коэффициент сопротивления движению и сцепления частицы между собой.

Следовательно, полученные зависимости позволяют определять значение контактных напряжений (сжимающих и сдвигающих) в любой точке контакта частицы с учетом свойств материалов.

В табл. 5 представлены результаты расчета максимальных контактных напряжений при разном диаметре частицы при ударном методе укладки смеси в выбоину дорожного покрытия.

Таблица 5

Результаты расчета параметров контакта частицы

Диаметр, мм	F , см ²	M , кг	V , м/с	$i = MV_1$	$i_{уд} = MV_1/F$	$\sigma_{у\max}$, МПа	$\sigma_{х\max}$, МПа
2,5	0,049	0,0005	7,6	$3,75 \cdot 10^{-3}$	$7,65 \cdot 10^{-3}$	0,067	0,058
5,0	0,196	0,0008	7,0	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$2,857 \cdot 10^{-3}$	0,071	0,087
10,0	0,785	0,0013	6,0	$7,3 \cdot 10^{-3}$	$9,3 \cdot 10^{-4}$	0,062	0,100
15,0	1,766	0,0019	5,5	0,010	$5,66 \cdot 10^{-4}$	0,061	0,120
20,0	3,14	0,0024	5,0	0,012	$3,82 \cdot 10^{-4}$	0,006	0,150

Экспериментально установлено, что прочность материала при укладке смеси в выбоину покрытия струйно-инъекционным методом составляет 0,6–0,7 МПа.

Выводы:

1. Величина напряжений при соударении частиц в зоне контакта с применением струйно-инъекционного метода не обеспечивает смещение частиц при укладке смеси, что не позволяет достичь высокой плотности и прочности укладываемого материала в выбоину покрытия.

2. Предположения о возможности уплотнения битумоминеральной смеси без дополнительного уплотнения являются необоснованными.

3. Для достижения более высоких характеристик смеси при укладке с применением данного метода необходимо дополнительное уплотнение битумоминеральной смеси с использованием уплотняющих машин.

4. При уплотнении смеси в выбоине покрытия с применением транспортных средств необходимо регулировать осевую нагрузку в процессе движения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Применение битумоминеральных смесей при ремонте выбоин дорожных покрытий / М. Э. Пилецкий, А. Ф. Зубков, К. А. Андрианов, И. В. Дитрих // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2017. – № 3 (43). – С. 50–57.

2. Хархута, Н. Я. Машины для уплотнения грунтов. Теория, расчет и конструкции / Н. Я. Хархута. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Машиностроение, 1973. – 175 с.

3. Пилецкий, М. Э. Результаты экспериментальных исследований укладки смесей при струйно-инъекционном методе / М. Э. Пилецкий, Д. А. Некрасов, И. С. Чаплыгин // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы 3-й междунар. науч.-практ. конф. ин-та АрхСит / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2016. – С. 171–176.



4. Зубков, А. Ф. Технология строительства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / А. Ф. Зубков, В. Г. Однолюк. – Москва : Машиностроение. – 2009. – 223 с.
5. Зубков, А. Ф. Методика разработки технологических процессов строительства дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей : реферат препринта № 18 / А. Ф. Зубков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2007. – Т. 13, № 1. – С. 194–196.
6. Зубков, А. Ф. Определение возможной продолжительности уплотнения покрытий нежесткого типа при строительстве автомобильных дорог / А. Ф. Зубков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2006. – Т. 12, № 3-2. – С. 806–817.
7. Зубков, А. Ф. Анализ методов разработки технологических процессов уплотнения дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2006. – Т. 12, № 4-2. – С. 1158–1161.
8. Research Report: Spray Injection Pothole Patching // The Road Ahead. – Virginia, 2003. – P. 1–6.
9. Максименко, А. А. Исследование нормальных напряжений при упругопластичном контактом взаимодействии / А. А. Максименко, Н. В. Котенков, А. Д. Перфильева // Ползуновский вестник. – 2009. – № 1-2. – С. 264–266.
10. Пилецкий, М. Э. Анализ состояния автомобильных дорог Тамбовской области и выбор технологии для ремонта выбоин на покрытиях нежесткого типа / М. Э. Пилецкий, А. Ф. Зубков // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Сер. «Строительство и архитектура». – 2016. – Вып. № 1 (41). – С. 74–82.
11. The effect of modifying additives on the consistency and properties of bitumen binders / A. Plewa, P. S. Belyaev, K. A. Andrianov, A. F. Zubkov, V. A. Frolov // Advanced Materials and Technologies. – 2016. – № 4. – С. 35–40.

ZUBKOV Anatoly Fyodorovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of urban construction and roads; ANDRIANOV Konstantin Anatolevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban construction and roads; PILETSKIY Mikhail Eduardovich, postgraduate student of the chair of urban construction and roads

CALCULATION OF CONTACT STRESSES DURING LAYING AND COMPACTION OF BITUMOMINERAL MIXTURES AT REPAIR OF ROAD PAVEMENTS

Tambov State Technical University

112-E, Michurinskaya St., Tambov, 392032, Russia.

Tel.: +7 (4752) 63-09-20, +7 (4752) 63-03-72; e-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Key words: road pavements, bitumomineral mixture, impact impulse, contact stresses, compaction.

The article presents the results of calculation of contact stresses during laying and compacting bituminous mineral mixture at repair of potholes of road surfaces by a jet injection method.

REFERENCES

1. Piletskiy, M. E., Zubkov A. F., Andrianov K. A., Ditrikh I. V. Primenenie bitumomineralnykh smesey pri remonte vyboin dorozhnykh pokrytiy [Application of bitumomineral mixture for repair of potholes of road pavements]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2017. № 3 (43). P. 50–57.
2. Kharkhuta, N. Ya. Mashiny dlya uplotneniya gruntov. Teoriya, raschyot i konstruktssii [Machines for soil compaction. Theory, calculation and design]. 2-e izd., pererab. i dop. Leningrad. Mashinostroenie, 1973. 175 p.
3. Piletskiy, M. E., Nekrasov D. A., Chaplygin I. S. Rezultaty eksperimentalnykh issledovaniy ukladki smesey pri struyno-inektsionnom metode [The results of experimental studies of the laying



of mixtures with a jet injection method]. Ustoychivoe razvitie regiona: arkhitektura, stroitelstvo, transport : materialy 3-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. in-ta ArhSiT [Sustainable development of the region: architecture, construction, transport: proceedings of the 3rd International scientific-practical conference of the Institute ArkhSiT]. Tamb. gos. tekhn. un-t. Tambov, 2016. P. 171–176.

4. Zubkov, A. F., Odnolko V. G. Tekhnologiya stroitelstva asfaltobetonnykh pokrytiy avtomobilnykh dorog [Technology of construction of asphalt concrete road surfaces]. Moscow. Mashinostroenie. 2009. 223 p.

5. Zubkov, A. F. Metodika razrabotki tekhnologicheskikh protsessov stroitelstva dorozhnykh pokrytiy iz goryachikh asfaltobetonnykh smesey (referat preprinta № 18) [Development of production processes for construction of hot-mixed asphalt pavement (synopsis of preprint № 18)]. Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Transactions of the Tambov State Technical University]. 2007. Vol. 13. № 1. P. 194–196.

6. Zubkov, A. F. Opredelenie vozmozhnoy prodolzhitelnosti uplotneniya pokrytiy nezhyostkogo tipa pri stroitelstve avtomobilnykh dorog [Determination of possible duration of non-rigid pavement compaction during highway construction]. Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Transactions of the Tambov State Technical University]. 2006. Vol. 12. № 3-2. P. 806–817.

7. Zubkov, A. F. Analiz metodov razrabotki tekhnologicheskikh protsessov uplotneniya dorozhnykh pokrytiy iz goryachikh asfaltobetonnykh smesey [Analysis of methods of development of technological processes of compaction of hot-mixed asphalt pavement]. Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Transactions of the Tambov State Technical University]. 2006. Vol. 12. № 4-2. P. 1158–1161.

8. Research Report: Spray Injection Pothole Patching. The Road Ahead. Virginia, 2003. P. 1–6.

9. Maksimenko, A. A., Kotenkov N. V., Perfileva A. D. Issledovanie normalnykh napryazheniy pri uprugoplastichnom kontaktnom vzaimodeystvii [Investigation of normal stresses in elastoplastic contact interaction]. Polzunovskiy vestnik [The Polzunovsky Herald]. 2009. № 1-2. P. 264–266.

10. Piletskiy, M. E., Zubkov A.F. Analiz sostoyaniya avtomobilnykh dorog Tambovskoy oblasti i vybor tekhnologii dlya remonta vyboin na pokrytiyakh nezhyostkogo tipa [Analysis of the state of the Tambov region highways and choosing technology to repair potholes on a non-rigid pavement]. Nauchny vestnik Voronezhskogo GASU. Ser. «Stroitelstvo i arkhitektura» [Scientific Newsletter of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture]. 2016. Vyp. № 1 (41). – P. 74–82.

11. Plewa, A., Belyaev P. S., Andrianov K. A., Zubkov A. F., Frolov V. A. The effect of modifying additives on the consistency and properties of bitumen binders. Advanced Materials and Technologies. 2016. № 4. P. 35–40.

© А. Ф. Зубков, К. А. Андрианов, М. Э. Пилецкий, 2018

Получено: 10.01.2018 г.

УДК 627.824.33

М. П. САИНОВ, канд. техн. наук, доц.

ВЛИЯНИЕ ЗОНИРОВАНИЯ КАМНЯ В ТЕЛЕ ПЛОТИНЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭКРАНА

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26. Тел.: (495) 287-49-14 (доб. 1430);

эл. почта: mp_sainov@mail.ru

Ключевые слова: каменно-набросная плотина с железобетонным экраном, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование, зонирование камня, трещины, просадки грунта

Рассматриваются результаты численного моделирования каменно-набросной плотины с железобетонным экраном Агуамилпа. Численная модель плотины соответствует данным натурных наблюдений за ее перемещениями. Показано, что зонирование камня привело к неравномерному распределению перемещений плотины, которое вызвало неблагоприятное напряженное состояние железобетонного экрана.

Каменно-набросные плотины с железобетонным экраном применяются уже около полутора столетий [1]. За это время накоплен большой опыт проектирования и эксплуатации этих плотин. Хорошо известно, что надежность работы железобетонных экранов во многом определяется деформациями каменной наброски, поэтому при строительстве плотин стремятся обеспечить максимальную степень ее уплотнения. В верхнюю часть плотины под железобетонный экран (далее – ЖБЭ) укладывают сортированный камень и тщательно его уплотняют. Это позволяет увеличить значения модуля линейной деформации каменной наброски в верхней части плотины, что подтверждается данными натурных наблюдений. На стадии наполнения водохранилища модули деформации горной массы в теле плотины составляют от 100 до 600 МПа, а гравийно-галечниковых грунтов – от 300 до 700 МПа [2]. Низкая деформируемость грунта плотины обеспечивает малые значения прогибов ЖБЭ, которые составляют доли процентов от высоты плотины.

Несмотря на это, в ЖБЭ многих высоких и сверхвысоких каменно-набросных плотин образовывались трещины. Примером может служить плотина Агуамилпа высотой 187 м, построенная в Мексике [1, 3]. Сразу после первого наполнения наблюдался рост фильтрационных расходов через плотину. А в 1997 г., через 4 года после первого наполнения водохранилища, на верхних отметках ЖБЭ этой плотины образовались горизонтальные трещины. Считается, что трещины образовались из-за того, что каменная наброска плотины просела после замачивания обильными дождями [1]. Этот пример показывает, что неравномерные осадки плотины могут вызвать появление в экране растягивающих напряжений. Б. Кук, один из авторов теории проектирования каменно-набросных плотин с ЖБЭ [4], предупреждал, что неправильное зонирование камня в теле плотины может привести к нарушениям прочности экрана [5].

В профиле плотины Агуамилпа камень зонирован (рис. 1) [1, 3]. Ее верхняя упорная призма (зона 3В) выполнена из хорошо уплотненного (слоями по 0,6 м)

гравийно-галечникового грунта. Низовая призма (зона 3С) выполнена из наброски горной массы (слоями по 1,2 м). Между ними располагается зона из смеси этих грунтов (зона Т). Под плотиной залегает слой аллювиального гравийно-галечникового грунта. Из-под ЖБЭ он удален, и основанием служит скальный грунт.

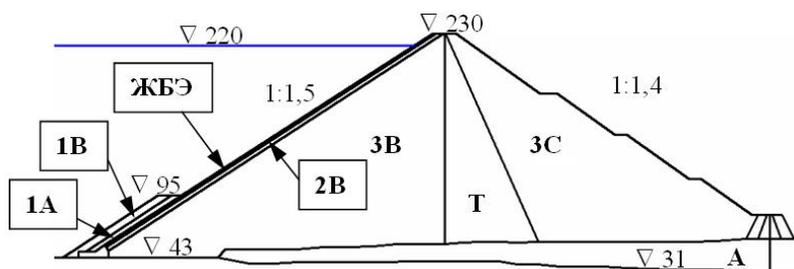


Рис. 1. Конструкция плотины Агуамилпа: А – аллювий основания; 1А – крепление защитной призмы камнем; 1В – экран защитной призмы; 2В – подэкрановая зона; 3В – верховая упорная призма из гравийно-галечникового грунта; 3С – низовая упорная призма из каменной наброски; Т – промежуточная зона из смеси грунтов

Результаты натурных измерений выявили значительные различия в деформируемости верховой и низовой призм плотины. По показаниям инклинометров, заложенных в тело плотины, на момент окончания возведения осадки низовой части плотины достигли 170 см, а верховой – не превысили 70 см [6]. После первого наполнения водохранилища прогиб железобетонного экрана составил чуть более 10 см [7].

Наличие данных натурных наблюдений за перемещениями плотины позволило нам определить деформируемость каменной наброски в натурных условиях. Для этого была составлена численная модель плотины и производилась ее калибровка. Модель плотины включала в себя 748 конечных элементов высокого порядка и насчитывала 7 205 степеней свободы. Принималось, что наполнение водохранилища производится лишь после завершения возведения плотины.

При расчетах использовались две модели деформирования каменной наброски. В первой принималось, что грунт деформируется линейно, его модуль деформации и коэффициент Пуассона являются неизменными, во второй учитывался нелинейный характер деформирований грунта, в частности тот факт, что с ростом бокового обжатия модуль деформации грунта растет. В качестве нелинейной модели использовалась модель, предложенная проф. Рассказовым Л. Н. [8] с учетом модификации [9]. Расчеты проводились с помощью вычислительной программы, составленной автором, т. к. она позволяет использовать нелинейную модель грунта [10].

Параметры моделей устанавливались подбором из условия соответствия расчетных осадок плотины натурным. Для случая модели линейного деформирования было установлено, что в зоне 3В модуль деформации грунта составляет 500 МПа (коэффициент Пуассона $\nu = 0,19$), в зоне 3С – 30 МПа (коэффициент Пуассона $\nu = 0,30$), в зоне Т – 90 МПа. Сравнение показывает, что тело плотины очень разнородно по деформируемости – модули деформации камня в разных зонах отличаются более чем в 10 раз. Это объясняется разной степенью уплотнения каменной наброски. По данным натурных измерений [6] коэффициент пористости грунта зоны 3В составляет 0,19, а в зоне 3С превышает 0,4.

При использовании модели линейного деформирования расчетный максимальный прогиб ЖБЭ на момент окончания наполнения водохранилища составил

**К СТАТЬЕ М. П. САИНОВА «ВЛИЯНИЕ ЗОНИРОВАНИЯ КАМНЯ
В ТЕЛЕ ПЛОТИНЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ
СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭКРАНА»**

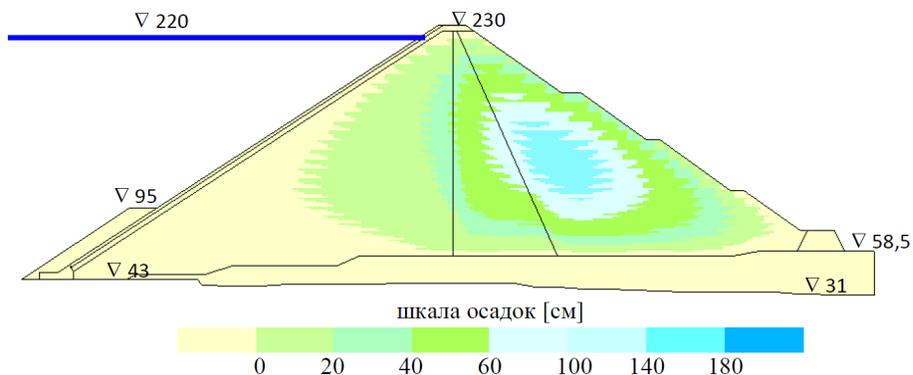


Рис. 1. Осадки плотины Агуамилпа по результатам расчетов по нелинейной модели

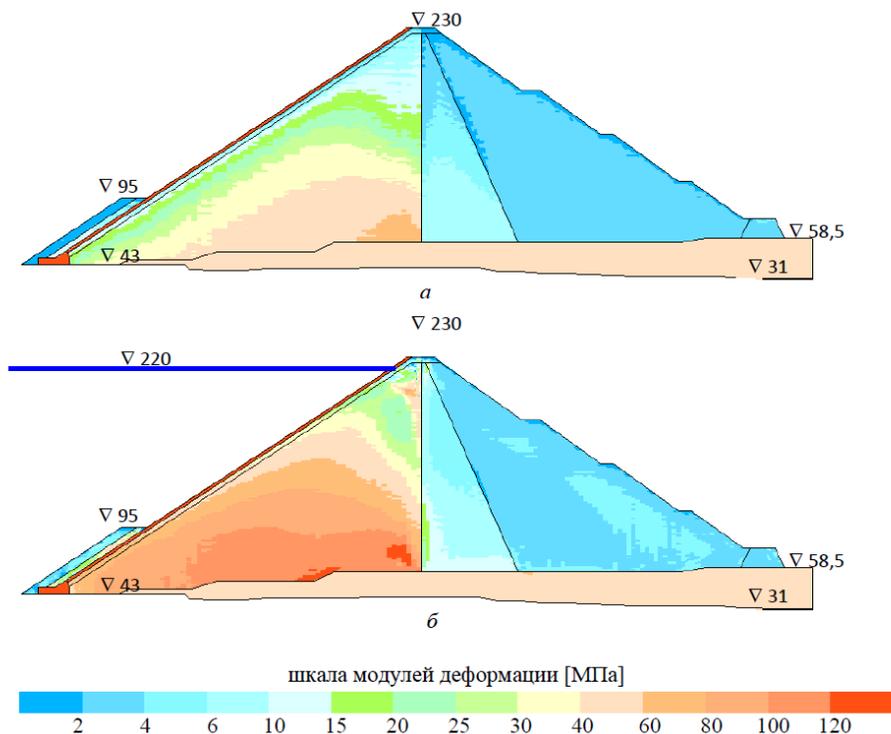


Рис. 2. Осредненные значения модулей линейной деформации грунтов плотины при использовании нелинейной модели грунта: *а* – в период восприятия сил собственного веса; *б* – в период восприятия гидростатического давления

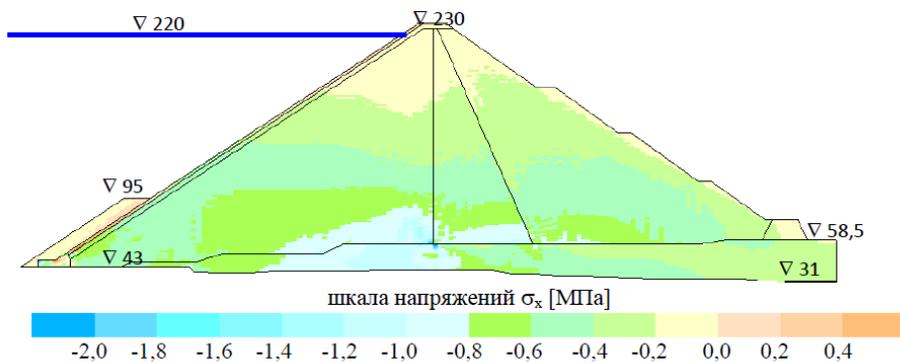


Рис. 3. Напряжения горизонтальных нормальных σ_x в теле плотины Агуамилпа по результатам расчетов по линейной модели

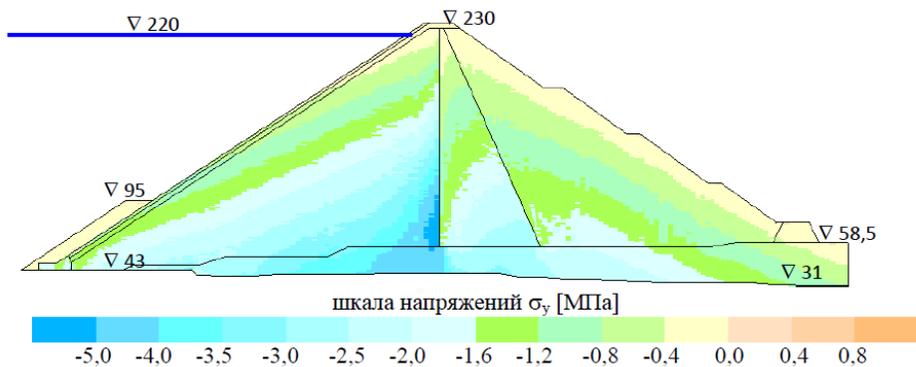


Рис. 4. Распределение вертикальных нормальных напряжений σ_y в теле плотины Агуамилпа по результатам расчетов по нелинейной модели

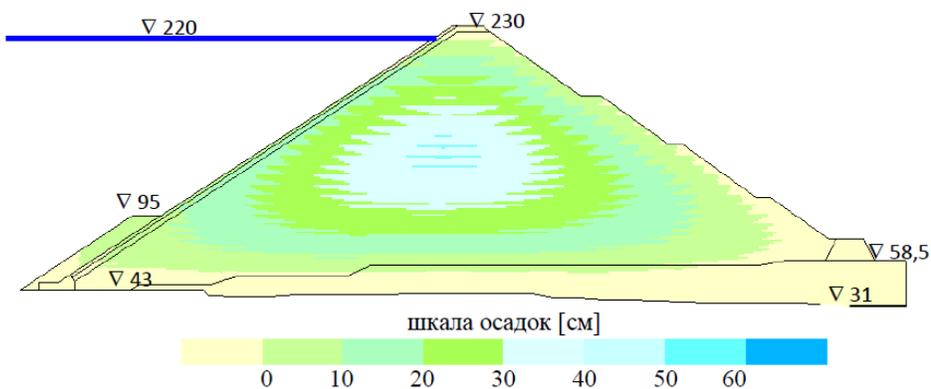


Рис. 5. Осадки плотины по результатам расчетов по нелинейной модели (альтернативный вариант плотины)

18,1 см (рис. 2а). Он примерно на 50 % больше, чем измеренный в натуре. По нашему мнению, это объясняется тем, что линейная модель не позволяет учесть эффект снижения деформируемости каменной наброски при росте бокового обжатия, на наличие которого указывают натурные данные [2].

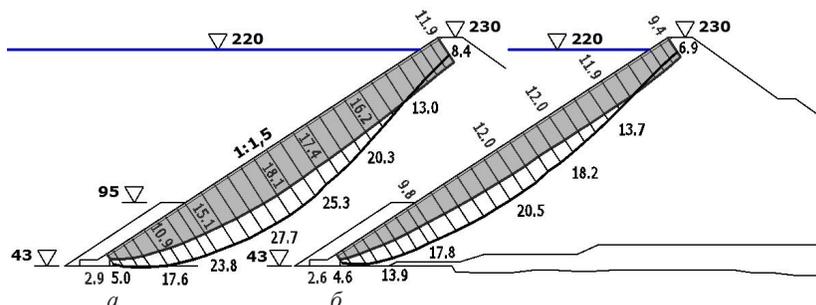


Рис. 2. Прогибы ЖБЭ [см] по результатам расчета: а – расчет по модели линейного деформирования, б – расчет по нелинейной модели. Закрашенная эпюра соответствует варианту реальной плотины, незакрашенная – варианту однородной плотины

При расчете по нелинейной модели максимальный расчетный прогиб ЖБЭ составил 12,0 см, что соответствует натурным условиям (рис. 2б). Распределение расчетных осадок в теле плотины (рис. 1 цв. вклейки) также соответствует натурным данным. Это позволяет говорить о достаточной достоверности полученной модели плотины и полученного расчетом напряженно-деформированного состояния (НДС) плотины.

Максимальное значение осредненного модуля деформации каменной наброски верховой призмы в период восприятия собственного веса составило 800 МПа, а в период восприятия гидростатического давления превысило 1200 МПа (рис. 2 цв. вклейки). В низовой упорной призме осредненный модуль деформации составил соответственно 36 и 45 МПа.

Было получено, что НДС каменной наброски в теле плотины неблагоприятно. Неравномерные осадки тела плотины приводят к смещениям тела плотины в сторону нижнего бьефа на величину почти 100 см. Из-за этого в верхней части плотины происходит снижение сжатия в горизонтальном направлении (по напряжениям δ_x , рис. 3 цв. вклейки). Кроме того, неравномерное оседание тела плотины вызывает зависание менее уплотненной наброски (в низовой части тела плотины) на более плотной (в верховой части плотины) (рис. 4 цв. вклейки). За счет этого вертикальные напряжения δ_y в зоне 3В достигают 8 МПа.

Несмотря на крайне малый изгиб, неблагоприятное НДС имеет и ЖБЭ. Это объясняется неравномерным характером перемещений тела плотины. Хорошо уплотненная зона 3В, на которую уложен ЖБЭ, имеет низкие осадки, но из-за высокой деформируемости зоны 3С имеет повышенные горизонтальные смещения. Это вызывает в ЖБЭ значительные растягивающие продольные усилия. По результатам расчетов максимальное растягивающее продольное напряжение в ЖБЭ составило на верховой грани примерно 1,3 МПа (рис. 3а, 4а). На низовой грани ЖБЭ за счет деформаций изгиба растягивающие напряжения еще выше – до 3,3 МПа (рис. 3б, 4б). Такие напряжения превышают прочность железобетона на растяжение и грозят образованием в ЖБЭ продольных трещин.

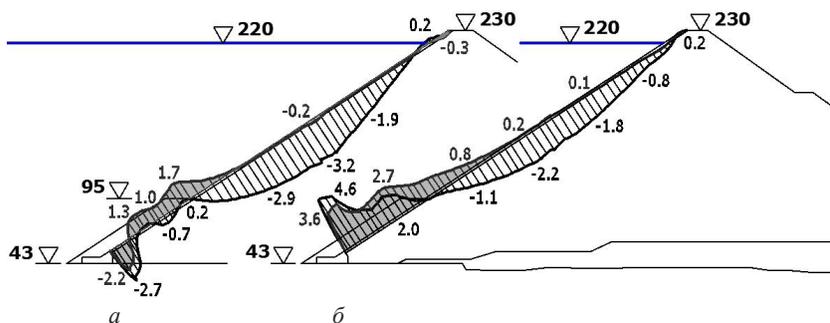


Рис. 3. Продольные напряжения [МПа] в ЖБЭ по результатам расчета с применением модели линейного деформирования грунта: *а* – на верховой грани; *б* – на низовой грани. Закрашенная эпюра соответствует варианту реальной плотины, незакрашенная – варианту однородной плотины

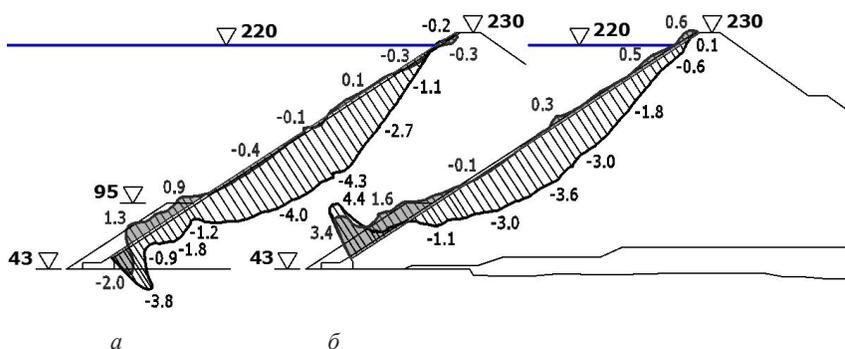


Рис. 4. Продольные напряжения [МПа] в ЖБЭ по результатам расчета с применением нелинейной модели грунта. Обозначения см. на рис. 3

Таким образом, значительное различие в деформируемости каменной наброски привело к ее неблагоприятному НДС. Лучше было бы отказаться от зонирования плотины, предусматривающего укладку в низовую призму плохо уплотненного камня.

Для сравнения был проведен расчет для случая однородной плотины, в которой модуль деформации составляет 270 МПа, т. е. меньше, чем средний модуль грунтов неоднородной плотины.

По результатам расчетов максимальные осадки однородной плотины составили около 50 см, т. е. 0,27 % от высоты плотины (рис. 5 цв. вклейки). Это соответствует плотинам с качественным уплотнением каменной наброски.

В альтернативном варианте прогиб ЖБЭ был получен в 1,5–1,7 раз больше, чем в варианте реальной плотины. Для случая модели линейного деформирования он составил 27,7 см (рис. 2*а*), а для случая нелинейной модели – 20,5 см (рис. 2*б*). Однако при этом напряженное состояние ЖБЭ оказалось более благоприятным. Растягивающих продольных усилий в нем практически не возникло. На верховой грани ЖБЭ существенных растягивающих напряжений не возникло (рис. 3, 4*а*), а на низовой грани не превысили 4,6 МПа (рис. 3, 4*б*).

Таким образом, однородная плотина с менее качественным уплотнением камня оказывается не менее надежной, чем неоднородная плотина с высоким качеством уплотнения.



Тем не менее, величина растягивающих напряжений в ЖБЭ недопустима, т. к. намного превышает расчетное сопротивление бетона на растяжение и грозит образованием трещин в ЖБЭ. Однако следует отметить, что область растягивающих напряжений имеет локальный характер, а ее образование связано с повышенными деформациями изгиба ЖБЭ в зоне контакта с основанием. Если уменьшить эти деформации изгиба, можно снизить растягивающие напряжения в ЖБЭ.

Этого можно достичь путем изменения деформируемости каменной наброски в нижней части плотины. Нами были проведены расчеты НДС для различных значений модулей деформации грунта в данной зоне. Было выявлено, что снижение деформируемости позволяет снизить растягивающие напряжения в ЖБЭ до 3,8 МПа. Однако оно сопровождается усложнением характера деформаций ЖБЭ и появлением локальных зон растягивающих напряжений на его верховой грани. Наиболее благоприятное НДС ЖБЭ достигается при $E = 335$ МПа.

Таким образом, каменная наброска под нижней частью ЖБЭ должна уплотняться более тщательно, чем основная часть плотины.

Выводы:

1. Калибровка математической модели плотины Агуамилпа согласно данным натурных наблюдений позволила выявить, что в современных плотинах деформируемость каменной наброски может изменяться в широких пределах: от 30 до 500–600 МПа. Эффект снижения деформируемости каменной наброски при восприятии плотиной гидростатического давления объясняется повышением бокового обжатия грунта. Он может быть учтен использованием нелинейной модели грунта.

2. Для обеспечения трещиностойкости железобетонного экрана необходимо правильно зонировать каменную наброску в теле плотины. Тщательное уплотнение каменной наброски необходимо обеспечивать не только в верховой части тела плотины, но и в низовой. Если камень в низовой части будет уплотнен недостаточно, то повышенные осадки этой части плотины приведут к появлению в железобетонном экране продольных растягивающих усилий, которые могут стать причиной образования трещин.

3. В области сопряжения со скальным основанием каменную наброску необходимо уплотнять еще более тщательно, чтобы снизить ее деформируемость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ICOLD. Concrete Face Rockfill dam: Concepts for design and construction / International Commission on Large Dams // Bulletin. – 2010. – № 141.
2. Pinto, N. L. Estimating the Maximum Face Slab Deflection in CFRDs / N. L. Pinto, P. L. Marques // The International Journal on Hydropower & Dams. – 1998. – Vol. 5, Is. 6. – P. 28–30.
3. Ma Hong Qi. Key technical problems of extra-high concrete faced rock-fill dam / Ma Hong Qi, Cao Ke Ming // Science in China Series E: Technological Sciences. – 2007. – Vol. 50, sup. 1. – P. 20–33.
4. Sherard, J. L. Concrete – Face Rockfill Dams: I Assessment / J. L. Sherard, J. B. Cooke // Journal of Geotechnical Engineering. ASCE. – 1987. – Vol. 113. № 10. – P. 1096–1112.
5. Cooke, J. B. Development in high concrete faced rockfill dams / J. B. Cooke // The International Journal on Hydropower & Dams. – 1997. – № 4 (4). – P. 69–73.
6. Relevant aspects of the geotechnical Design for 'La Yesca' Hydroelectric Project and of the its behavior during the construction stage: The Mexican Experience in Concrete Face Rockfill Dams [Electronic resource] / J. D. Aleman-Velasquez, H. Marengo-Mogollon,



R. Rivera-Constantino, A. Pantoja-Sanchez, A. F. Diaz-Barriga/ – URL : <https://ru.scribd.com/document/125483416/Relevant-Aspects-of-the-Geotechnical-Design-and-Behavior-of-La-Yesca-Dam>.

7. Маркес, Ф. П. Характеристики каменно-набросных плотин с бетонным экраном, полученные опытным путем / Ф. П. Маркес, Н. де С. Пинто // Международный дайджест по гидроэнергетике и плотинам. – 2007. – С. 69–74.

8. Рассказов, Л. Н. Деформируемость и прочность грунта при расчете высоких грунтовых плотин / Л. Н. Рассказов, Дж. Джха // Гидротехническое строительство. – 1987. – № 7. – С. 31–36.

9. Саинов, М. П. Параметры деформируемости крупнообломочных грунтов в теле грунтовых плотин [Электронный ресурс] // Строительство: наука и образование. – 2014. Вып. 2, ст. 2. – Режим доступа : <http://www.nso-journal.ru> (дата обращения 01.10.2017).

10. Саинов, М. П. Вычислительная программа по расчету напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин: опыт создания, методики и алгоритмы / М. П. Саинов // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2013. – № 9(4). – С. 208–225.

SAINOV Mikhail Petrovich, candidate of technical sciences, associate professor

EFFECT OF STONE ZONING IN THE DAM BODY ON THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE FACE

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

26, Yaroslavskoe Rd., Moscow, 129337, Russia. Tel.: +7 (495) 287-49-14 (ex. 1430); e-mail: mp_sainov@mail.ru

Key words: concrete faced rockfill dam, stress strain state, numerical modeling, stone zoning, cracks, soil subsidence.

The results of numerical modeling of the Aguamilpa concrete-faced rockfill dam are considered. The dam numerical model corresponds to the data of field observations of the dam displacements. It is shown that zoning of stone resulted in non-uniform distribution of dam displacements, which caused unfavorable stress-strain state of the reinforced concrete face.

REFERENCES

1. ICOLD. Concrete Face Rockfill dam: Concepts for design and construction, International Commission on Large Dams. Bulletin 141. 2010. 401 p.

2. Pinto N. L., Marques P. L. Estimating the Maximum Face Slab Deflection in CFRDs. The International Journal on Hydropower & Dams. Volume. 5. Issue 6. 1998. P. 28–30.

3. Ma Hong Qi, Cao Ke Ming. Key technical problems of extra-high concrete faced rockfill dam. Science in China Series E: Technological Sciences. 2007. V. 50. Supp. I. P. 20–33.

4. Sherard J. L., Cooke J. B. Concrete – Face Rockfill Dams: I Assessment, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Volume 113, №.10, 1987. P. 1096–1112.

5. Cooke J. B. Development in high concrete faced rockfill dams. The International Journal on Hydropower & Dams. 1997. № 4(4). P. 69–73.

6. Aleman-Velasquez J. D., Marengo-Mogollon H., Rivera-Constantino R., Pantoja-Sanchez A., Diaz-Barriga A. F. Relevant aspects of the geotechnical Design for 'La Yesca' Hydroelectric Project and its behavior during the construction stage: The Mexican Experience in Concrete Face Rockfill Dams. [Electronic resource]. URL : <https://ru.scribd.com/document/125483416/Relevant-Aspects-of-the-Geotechnical-Design-and-Behavior-of-La-Yesca-Dam>.

7. Marques Fo. P. M., Pinto N. L. de S. Kharakteristiki kamenno-nabrosnykh plotin s betonnyim ekranom, poluchennye opytным putyom [Features of rockfill dam with a concrete



screen, obtained by experience]. Mezhdunarodny dayzhest po gidroenergetike i plotinam [International digest on hydropower engineering and dams]. 2007. P. 69–74.

8. Rasskazov L. N., Dzhkha Dzh. Deformiruemost i prochnost grunta pri raschyote vysokikh gruntovykh plotin [Deformability and strength of soils in high soil dam calculation]. Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo [Hydraulic Engineering]. 1987. № 7. P. 31–36. (In Russian).

9. Sainov M. P. Parametry deformiruемости krupnooblomochnykh gruntov v tele gruntovykh plotin [Deformation parameters of macrofragment soils in soil dams]. Stroitelstvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. [Elektronny resurs]. 2014. № 2. P. 2. Rezhim dostupa: <http://www.nso-journal.ru>, (data obrascheniya 01.10.2017).

10. Sainov M. P. Vychislitel'naya programma po raschyotu napryazhyonno-deformirovannogo sostoyaniya gruntovykh plotin: opyt sozdaniya, metodiki i algoritmy [Computer program for the calculation of the stress-strain state of soil dams: the experience of creation, techniques and algorithms]. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2013. vol. 9. № 4. P. 208–225. (In Russian).

© М. П. Сайнов, 2018

Получено: 16.10.2017 г.

УДК 624.15 (083.74)

В. Н. БУХАРЦЕВ, д-р техн. наук, проф. кафедры водохозяйственного и гидротехнического строительства; **Н. Т. ФАМ**, аспирант кафедры водохозяйственного и гидротехнического строительства

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАГЛУБЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТА ДЛЯ ИСКЛЮЧЕНИЯ ВЫПОРА ГРУНТА ОСНОВАНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Тел.: (812) 297-59-88, (911) 977-04-58, (953) 360-18-89; эл. почта: gts.bu@cef.spbstu.ru,
v.bukhartsev2016@yandex.ru, thinhspsb@hotmail.com, thinhspsb@gmail.com

Ключевые слова: предельное состояние, критические значения параметров прочности грунта, распределение нормальных напряжений, условия равновесия, граничные условия.

Предложена методика определения заглубления массивного сооружения и поверхностной пригрузки, исключаящих выпор грунта нескального основания. Задача решается в рамках схемы предельного равновесия.

В работе [1] в рамках схемы предельного равновесия нами рассмотрена задача об определении предельной вертикальной нагрузки, передаваемой от массивного сооружения на нескальное основание, при наличии пригрузки с обеих сторон фундамента, исключаяющей выпор грунта. В результате исследования удалось установить функциональную связь между критическими значениями параметров прочности грунта основания, соответствующими предельному равновесию, и распределение напряжений по границам упругого клина (участок 1 на рис. 1).

Используя результаты исследования [1] в качестве исходных данных, в представленной статье рассматривается задача о заглублении фундамента и наличии пригрузки с обеих его сторон, исключаяющих выпор грунта основания при задан-

ной нагрузке на фундамент. Практическое применение решения задачи заключается в определении заглубления фундамента и в общем случае интенсивности пригрузки, исключающих выпор грунта основания. Крайними частными случаями рассматриваемой задачи являются: *A* – схема с заглублением фундамента без поверхностной пригрузки (рис. 1); *B* – схема с наличием поверхностной пригрузки без заглубления фундамента (рис. 2). Комбинация этих двух схем позволяет добиваться баланса объемов выемки и насыпи, что дает возможность сократить стоимость строительства.

A

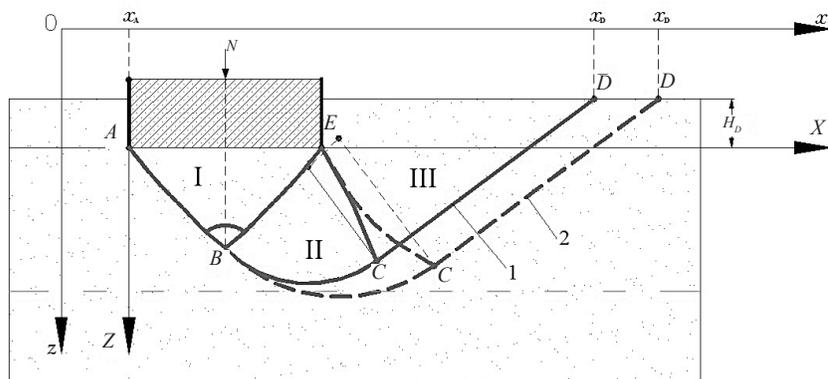


Рис. 1. Расчетная схема к определению заглубления фундамента: 1 – для $\mu = 1$; 2 – для $\mu = -1$

B

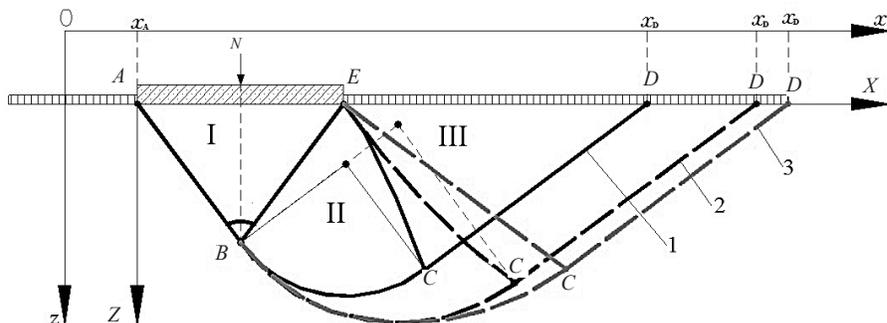


Рис. 2. Расчетная схема к определению пригрузки: 1 – для $\mu = 1$; 2 – для $\mu = -1$; 3 – по [3]

Для решения упомянутой задачи принята с некоторыми уточнениями традиционная расчетная схема, в которой призма выпора разбивается на три участка [2, 3]. В нашем исследовании параметры логарифмической спирали (линия *BC*) и очертание профиля границы между участками II и III (линия *EC*) определяются граничными условиями. На рис. 1 и 2 полюсы логарифмической спирали отмечены точками. На рис. 2 представлено сопоставление результатов построения профиля призмы выпора, полученных по предлагаемой методике и [3].

Профиль границы упругого клина между участками I и II в представленной на рис. 1 системе координат описывается зависимостью



$$\Psi_I = Z'_A \frac{(X - X_B)(1 - X)}{(1 - X_B)} + \Psi_B \left[1 - \frac{(X - X_B)}{(1 - X_B)} \right]^2, \quad X \in [X_B; 1], \quad (1)$$

где $X = \frac{x - x_A}{B}$, $\Psi = \frac{\xi - \xi_A}{B}$, $B = x_E - x_A$ – ширина подошвы сооружения,

x_A, z_A – координаты начальной точки A в системе координат (xOz) , x и ξ – координаты произвольной точки линии BE ; $\Psi_B = \Psi_I(X_B)$; $z'_A = \sqrt{1 + f_k^2} + f_k$ – производная по X , равная тангенсу угла наклона к оси x касательных к линии $z(x)$ в точке A ; $f_k = \text{tg}\varphi_k$ – критическое значение параметра прочности грунта, соответствующее состоянию предельного равновесия.

Такая форма представления дает возможность описать упомянутую границу линейной зависимостью (рис. 2), используемой в распространенном методе, а также параболой (рис. 1). Первой форме соответствует $\eta = 1$ в [1], второй – $\eta = -1$.

Аналогично определяется профиль границы между участками II и III

$$\Psi_{II} = Z'_A(X - 1) + [\Psi_C - Z'_A(X_C - 1)] \frac{(X - 1)^2}{(X_C - 1)^2}, \quad X \in [1; X_C], \quad (2)$$

где $\Psi_C = \Psi_{II}(X_C)$.

Профиль гипотетической поверхности выпора, отделяющей призму выпора от остальной части грунтового массива основания, определяется зависимостями:

$$\begin{cases} Z = Z'_A X + \frac{Z_B - Z'_A X_B}{X_B^2} X^2, & X \in [0; X_B], \\ R = R_B \exp[a(\theta - \theta_B)], & X \in [X_B; X_C], \\ Z = Z_C + Z'_C(X - X_C) + \frac{1}{2}(Z'_D - Z'_C) \frac{(X - X_C)^2}{(X_D - X_C)^2}, & X \in [X_C; X_D] \end{cases} \quad (3)$$

где $\theta - \theta_B = \text{arctg} \frac{(X_B - X_p)(Z - Z_p) - (Z_B - Z_p)(X - X_p)}{(Z_B - Z_p)(Z - Z_p) + (X_B - X_p)(X - X_p)}$,

$R = \sqrt{(X - X_p)^2 + (Z - Z_p)^2}$, a – числовой параметр, X_p, Z_p – координаты полюса логарифмической спирали, $Z_D = -h_D/B = -H_D$, h_D – заглубление фундамента под поверхность грунтового основания.

Поскольку функция Z непрерывная и непрерывно дифференцируемая, в точках B и C должны удовлетворяться граничные условия:

$$\begin{aligned} \text{при } X = X_B &\rightarrow \Psi_B = Z_{B+} = Z'_{B-}, \quad Z'_{B+} = Z'_{B-}, \\ \text{при } X = X_C &\rightarrow \Psi_C = Z_{C-} = Z_{C+}, \quad Z'_{C-} = Z'_{C+}, \end{aligned}$$

где знаками (+) и (–) в индексах обозначены бесконечно малые смещения от рассматриваемых точек: (+) – в направлении оси X ; (–) – в противоположном направлении.

Из второго выражения системы (3) следует:

$$R_C = R_B \exp[a(\theta_C - \theta_B)]. \quad (4)$$

Из этих граничных условий получаем:



$$a = \frac{(X_B - X_p) + Z'_B(Z_B - Z_p)}{(X_B - X_p)Z'_B - (Z_B - Z_p)}, \quad (5)$$

$$\sqrt{\frac{(X_C - X_p)^2 + (Z_C - Z_p)^2}{(X_B - X_p)^2 + (Z_B - Z_p)^2}} = \exp[a(\theta_C - \theta_B)], \quad (6)$$

$$Z_C = Z_p - \frac{(1 - aZ'_C)}{(a + Z'_C)}(X_C - X_p). \quad (7)$$

Кроме того, по условию прочности Мора в точке C , по аналогии с точкой B , должно выполняться граничное условие, связывающее наклоны площадок сдвигов, определяемые производными по X от функций Ψ_{II} и Z

$$\arctg(\Psi'_C) - \arctg(Z'_C) \mp \arctg f_k = \frac{\pi}{2}, \quad (8)$$

где $\Psi'_C = [2Z'_C / (X_C - 1) - Z'_A]$.

После преобразования выражения (8) получим

$$Z_C = \frac{\mu f_k^2 - 1}{Z'_C + \mu f_k} (X_C - 1), \mu = \pm 1. \quad (8^*)$$

Таким образом, имеются две не противоречащие теории прочности Мора функции Ψ_{II} , соответствующие знаку перед третьим слагаемым в формуле (8). Расчетами установлено (см. рис. 1 и 2), что меньшей несущей способности основания соответствует значение $\mu = 1$, принимаемое в дальнейшем изложении.

Выражения (4), (5), (6), (7), (8*) образуют полную систему уравнений для вычисления параметров логарифмической спирали: a, X_C, Z_C, X_p, Z_p . На рис. 3 и 4 представлены графики зависимостей X_C, Z_C, X_p, Z_p от f_k .

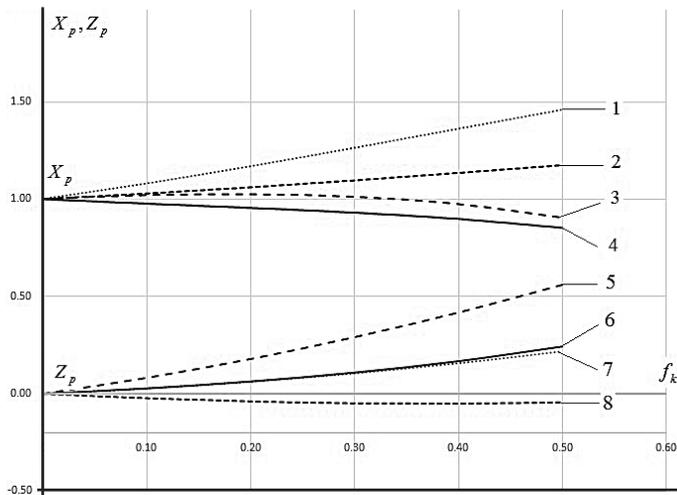


Рис. 3. Графики зависимостей $X_C(f_k)$ и $Z_C(f_k)$: 1 – для $\eta = 1, \mu = -1$; 2 – для $\eta = -1, \mu = -1$; 3 – для $\eta = 1, \mu = 1$; 4 – для $\eta = -1, \mu = 1$; 5 – для $\eta = 1, \mu = -1$; 6 – для $\eta = 1, \mu = 1$; 7 – для $\eta = -1, \mu = 1$; 8 – для $\eta = -1, \mu = -1$

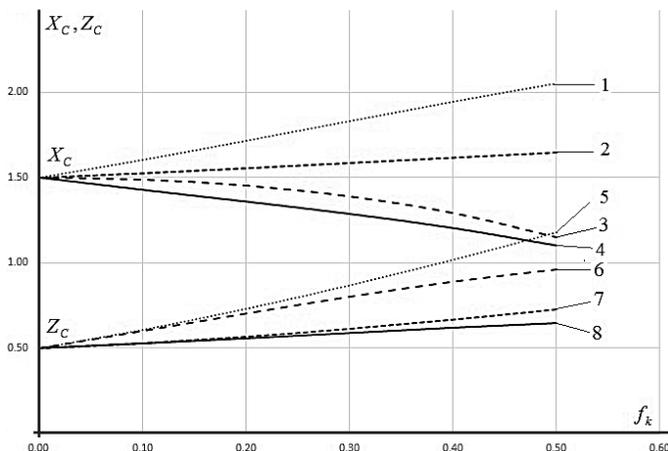


Рис. 4. Графики зависимостей $X_p(f_k)$ и $Z_p(f_k)$: 1 – для $\eta = 1, \mu = -1$; 2 – для $\eta = 1, \mu = 1$; 3 – для $\eta = -1, \mu = -1$; 4 – для $\eta = -1, \mu = 1$; 5 – для $\eta = 1, \mu = 1$

Значение X_D определяется третьим выражением системы (3)

$$X_D = X_C - 2 \frac{(Z_C - Z_D)}{(Z'_D + Z'_C)}, \quad (9)$$

где $Z_D = -H_D$.

Для уточнения расчетной схемы представляет интерес частный случай, в котором $f_k = 0, a = 0$ и, как следствие, логарифмическая спираль вырождается в окружность. В этом случае расчетная схема в задаче (Б) становится симметричной: участок III ничем не отличается от участка I, интенсивность пригрузки становится равной интенсивности нагрузки, передаваемой от сооружения на основание, а касательные напряжения, действующие на подошву участка III, направлены в сторону предполагаемого выпора. Ясно, что в этих условиях задача (Б) реализоваться не может, для исключения выпора требуется заглубление фундамента (задача А).

При появлении внутреннего трения в грунте основания ($f_k \neq 0$) и возрастании сопротивления сдвигу грунтовой среды требуемая интенсивность пригрузки уменьшается вплоть до полного исчезновения (рис. 5).

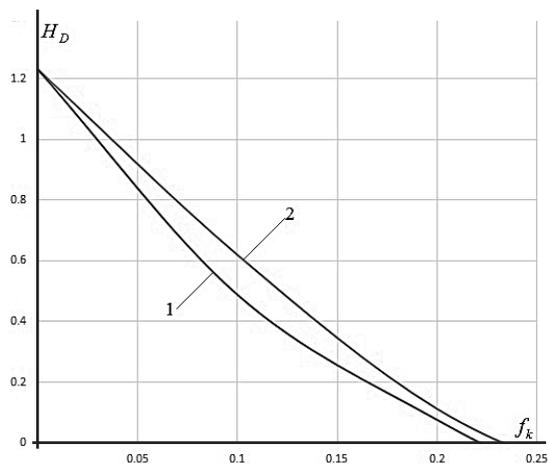


Рис. 5. Графики зависимостей $H_D(f_k)$ для $\eta = 1$: 1 – для $\mu = -1$; 2 – для $\mu = 1$



В соответствии с вышеизложенным уравнения предельного равновесия произвольного элемента участка III (рис. 6) на интервале $X \in [1; X_D]$ определяются выражениями:

$$\Sigma X = 0: \begin{cases} dE/B = (q_x + \Psi'_{II}\sigma - \tau_k) dX, & X \in [1; X_C], \\ dE/B = (q_x + Z'_{II}\sigma - \tau_k) dX, & X \in [X_C; X_D], \end{cases} \quad (10)$$

$$\Sigma Z = 0: \begin{cases} dT/B = (q_z - \sigma - \Psi'_{II}\tau_k) dX, & X \in [1; X_C], \\ dT/B = (q_z - \sigma + Z'_{II}\tau_k) dX, & X \in [X_C; X_D], \end{cases} \quad (11)$$

$$\Sigma M = 0: \begin{cases} dM/B = mdX + \Psi'_{II}EdX - TdX, & X \in [1; X_C], \\ dM/B = mdX + Z'_{II}EdX - TdX, & X \in [X_C; X_D], \end{cases} \quad (12)$$

где $q_x dx, q_z dx$ – компоненты равнодействующей поверхностной и объемной нагрузок; $m = q_x b$ – момент горизонтальной нагрузки интенсивностью q_x относительно середины подошвы элемента; E, T – компоненты сил взаимодействия между элементами, являющиеся равнодействующими соответственно нормальных и касательных напряжений, действующих на вертикальных гранях элемента; $M = Ea$ – момент силы E относительно подошвы элемента; $\tau_k = f_k \sigma + c_k$, σ – компоненты напряжения на поверхности сдвигов, соответствующие предельному состоянию; $z = z(x)$ – функция, описывающая профиль поверхности обрушения; z' – производная от $z(x)$ по x на интервале $[x_B; x_C]$. В рассматриваемой задаче $E_E = E_D = T_E = T_D = 0, M_E = M_D = 0, q_x = 0$.

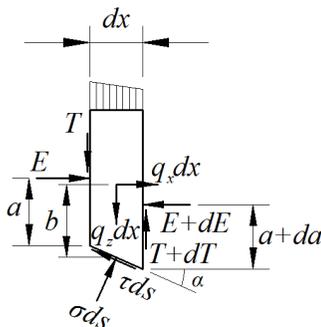


Рис. 6. Схема сил, действующих на элемент тела обрушения

В эту систему уравнений предельного равновесия входят четыре неизвестные функции E, T, M, σ , поэтому задача остается статически неопределимой.

После интегрирования уравнений (10), (11), (12) в пределах от 1 до X и соответствующего преобразования получаются выражения для вычисления сил взаимодействия и их момента в любом вертикальном сечении профиля участка III. В безразмерных координатах эти выражения для рассматриваемой задачи принимают вид:

$$\frac{E}{B} = \begin{cases} \int_1^X (\Psi'_{II}\sigma - \tau_k) dX, & X \in [1; X_C], \\ \int_1^{X_C} (\Psi'_{II}\sigma - \tau_k) dX + \int_{X_C}^X (Z'_{II}\sigma - \tau_k) dX, & X \in [X_C; X_D], \end{cases} \quad (13)$$



$$\frac{T}{B} = \begin{cases} \int_1^X (q_z - \sigma - \Psi'_{II} \tau_k) dX, & X \in [1; X_C], \\ \int_1^{X_C} (q_z - \sigma - \Psi'_{II} \tau_k) dX + \int_{X_C}^X (q_z - \sigma + Z' \tau_k) dX, & X \in [X_C; X_D], \end{cases} \quad (14)$$

$$\frac{M}{B} = \begin{cases} E\Psi'_{II} - TX + B \int_1^X [X(q_z - \sigma - \Psi'_{II} \tau_k) - \Psi_{II}(\Psi'_{II} \sigma - \tau_k)] dX, & X \in [1; X_C], \\ \frac{M_C}{B} + EZ - E_C Z_C - TX + T_C X_C + \\ + B \int_{X_C}^X [X(q_z - \sigma + Z' \tau_k) - Z(Z' \sigma + \tau_k)] dX, & X \in [X_C; X_D], \end{cases} \quad (15)$$

где $M_C = M(X_C)$, $q_z = q_n + \gamma_{rp} B (\Psi_{II} + H_D)$, $X \in [1; X_C]$, $q_z = q_n + \gamma_{rp} B (Z + H_D)$, $X \in [X_C; X_D]$, γ_{rp} – удельный (объемный) вес грунта основания, q_n – интенсивность поверхностной нагрузки.

Распространяя интегрирование на весь интервал от 1 до X_D с использованием безразмерных функций, получим систему уравнений равновесия участка III.

$$\int_1^{X_C} (\Psi'_{II} - f_k) \tilde{\sigma} dX + \int_{X_C}^{X_D} (Z' - f_k) \tilde{\sigma} dX + s_k (X_D - 2X_C + 1) = 0, \quad (16)$$

$$\int_1^{X_C} (1 + f_k \Psi'_{II}) \tilde{\sigma} dX + \int_{X_C}^{X_D} (1 - f_k Z') \tilde{\sigma} dX - s_k (Z_D - 2Z_C) = \int_1^{X_D} \tilde{q}_z dX, \quad (17)$$

$$\int_1^{X_C} [X(1 + f_k \Psi'_{II}) + \Psi_{II}(\Psi'_{II} - f_k)] \tilde{\sigma} dX + \int_{X_C}^{X_D} [X(1 - f_k Z') + Z(Z' + f_k)] \tilde{\sigma} dX + \\ + s_k \left[\int_1^{X_C} (X\Psi'_{II} - \Psi_{II}) dX - \int_{X_C}^{X_D} (XZ' - Z) dX \right] = \int_1^{X_D} \tilde{q}_z dX, \quad (18)$$

где $\tilde{\sigma} = \sigma/\gamma_{rp} B$, $s_k = c_k/\gamma_{rp} B$, $\tilde{q}_z = q_z/\gamma_{rp} B$.

Чтобы проинтегрировать дифференциальные уравнения (16), (17), (18), надо для снятия статической неопределенности задачи как-либо определить функцию σ . Наиболее просто эта задача решается, если эту функцию представить степенными зависимостями с числом параметров, позволяющим выполнить условия предельного равновесия и граничные условия. Положим с учетом граничных условий

$$\tilde{\sigma} = \begin{cases} \tilde{\sigma}_E + b_1(X_C - X) \frac{(X-1)}{(X_C-1)} + (\tilde{\sigma}_C - \tilde{\sigma}_E) \frac{(X-1)^2}{(X_C-1)^2}, & X \in [1; X_C], \\ \tilde{\sigma}_C + b_2(X_D - X) \frac{(X-X_C)}{(X_D-X_C)} + (\tilde{\sigma}_D - \tilde{\sigma}_C) \frac{(X-X_C)^2}{(X_D-X_C)^2}, & X \in [X_C; X_D], \end{cases} \quad (19)$$

где b_1, b_2 – вещественные числовые коэффициенты.

После подстановки (19) в уравнения предельного равновесия (16), (17), (18) получается линейная система уравнений относительно искоемых коэффициентов b_1, b_2 и напряжения $\tilde{\sigma}_C$. Значения напряжений $\tilde{\sigma}_D$ и $\tilde{\sigma}_E$ определяются граничными условиями в точках D и E . Значение суммы $H_D + \tilde{q}_{II}$ определяется одним из уравнений предельного равновесия участка II. При этом значение одного из слагаемых задается.

В результате аналогичных действий составляется система уравнений предельного равновесия участка II



$$\int_{X_B}^{X_C} [\tilde{q}_x + (Z' - f_k) \tilde{\sigma}] dX - s_k (X_C - X_B) = 0, \quad (20)$$

$$\int_{X_B}^{X_C} [\tilde{q}_z - (1 + f_k Z') \tilde{\sigma}] dX - s_k (Z_C - Z_B) = 0, \quad (21)$$

$$\begin{aligned} & \int_{X_B}^{X_C} [Z(Z' - f_k) + X(1 + f_k Z')] \tilde{\sigma} dX - s_k \int_{X_B}^{X_C} (Z - XZ') dX = \\ & = \int_{X_B}^{X_C} \tilde{q}_z X dX - \int_{X_B}^1 q_x \Psi_I dX - \int_1^{X_C} q_x \Psi_{II} dX. \end{aligned} \quad (22)$$

Распределение нормального напряжения по поверхности сдвигов $Z(X)$ на участке II во всем интервале $X \in [X_B; X_C]$ представим выражением

$$\begin{aligned} \tilde{\sigma} = & \tilde{\sigma}_B + (\tilde{\sigma}_C - \tilde{\sigma}_B) \frac{(X - X_B)^3}{(X_C - X_B)^3} + \\ & + (X - X_B)(X_C - X) \frac{[a_1(X_C - 2X_B + X) + a_2(X - X_B)]}{(X_C - X_B)^3}, \end{aligned} \quad (23)$$

где a_1, a_2 – вещественные числовые коэффициенты.

В этих уравнениях удельные нагрузки \tilde{q}_x и часть \tilde{q}_z рассматриваются как поверхностные нагрузки, передаваемые на участок II со стороны участков I и III. Эти нагрузки определяются выражениями:

$$\tilde{q}_x = \begin{cases} -(\Psi'_I + f_k) \tilde{\sigma}_I - s_k, & X \in [X_B; 1], \\ -(\Psi'_{II} - f_k) \tilde{\sigma}_{II} + s_k, & X \in [1; X_B], \end{cases} \quad (24)$$

$$\tilde{q}_z = \begin{cases} Z - \Psi_I + (1 - f_k \Psi'_I) \tilde{\sigma}_I - \Psi'_I s_k, & X \in [X_B; 1], \\ Z + \tilde{q}_n + H_D - \Psi_{II} + (1 + f_k \Psi'_{II}) \tilde{\sigma}_{II} + \Psi'_{II} s_k, & X \in [1; X_C], \end{cases} \quad (25)$$

$$\text{где } \tilde{\sigma}_I = \frac{1}{1 - f_k \Psi'_I} \left\{ \frac{N}{\gamma_{\text{тр}} B^2} \left[1 + 6 \frac{e}{B} (2X - 1) \right] + \Psi_I + \Psi'_I s_k \right\} \quad (\text{заимствовано из [1]}),$$

e – эксцентриситет вертикальной нагрузки, передаваемой от сооружения на основание; Ψ'_I и Ψ'_{II} – производные по X ;

$$\tilde{\sigma}_{II} = \tilde{\sigma}_E + b_1 (X_C - X) \frac{(X - 1)}{(X_C - 1)} + (\tilde{\sigma}_C - \tilde{\sigma}_E) \frac{(X - 1)^2}{(X_C - 1)^2}.$$

Подставляя выражения (23), (24), (25) в уравнения (20), (21), (22), после интегрирования их получим систему линейных алгебраических уравнений, из которых вычисляются значения a_1, a_2 , и H_D или q_{II} . Влияние поверхностной нагрузки \tilde{q}_{II} на необходимое заглубление фундамента H_D представлено на рис. 7.

Результаты расчетов, выполненных для $f_k = 0,3$, $N = 2000$ кН и $\gamma_{\text{тр}} = 18$ кН/м³ для всех возможных сочетаний $\eta = \pm 1$ и $\mu = \pm 1$.

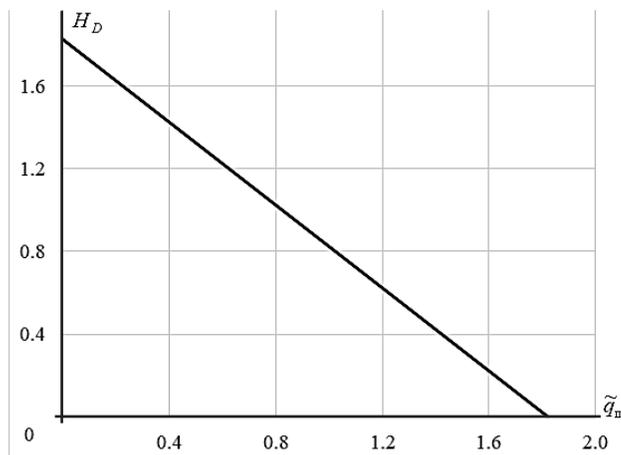


Рис. 7. Графики зависимостей $H_D(q_n)$ при $\eta = 1$, $\mu = \pm 1$ и $f_k = 0$

Анализ представленного графического материала и результатов расчета позволяет сделать следующие выводы:

- 1) в условиях однородного строения основания во всех расчетных сочетаниях реализуется (соответствует меньшей несущей способности основания) общепринятая расчетная схема, для которой $\eta = 1$;
- 2) расчетная схема с криволинейными границами упругого клина (участок I), для которой $\eta = -1$, может реализоваться в условиях неоднородного строения основания, поскольку при этой схеме происходит захват основания на меньшую глубину;
- 3) при описании профиля границы между участками II и III меньшей несущей способности основания соответствует вариант с $\mu = 1$;
- 4) методика, изложенная в нормативном документе [2], из-за несоблюдения граничных условий содержит неопределенную погрешность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бухарцев, В. Н. Определение предельной вертикальной нагрузки на нескальное основание массивного сооружения / В. Н. Бухарцев, Н. Т. Фам // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2017. – Т. 283 – С. 11–18.
2. Основания зданий и сооружений : СП 22.13330.2010 : актуализированная ред. СНиП 2.02.01-83* : дата введ. 20.05.11 / М-во регион. развития Рос. Федерации. – Москва : Технорма, 2011. – 162 с. : ил.
3. Основания гидротехнических сооружений : СП 23.13330.2011 : актуализированная ред. СНиП 2.02.02-85 : утв. 28.12.10 и введ. в д. 20.05.11 / М-во регион. развития Рос. Федерации. – Москва : Медиа Сервис, 2011. – 112 с. : ил.



BUKHARTSEV Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor of the chair of water-resources and hydraulic engineering; PHAM Ngoc Thinh, postgraduate student of the chair of water-resources and hydraulic engineering

THE DETERMINATION OF FOUNDATION DEPTH TO ELIMINATE HEAVING OF THE FOUNDATION SOIL UNDER THE ACTION OF VERTICAL LOAD

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29, Politekhnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia.
Tel.: +7 (812) 297-59-88, +7 (911) 977-04-58, +7 (953) 360-18-89; e-mail: gts.bu@cef.spbstu.ru, v.bukhartsev2016@yandex.ru, thinhsqb@hotmail.com

Key words: limit state theory, critical values of soil strength parameters, distribution of normal stresses, equilibrium conditions, boundary conditions.

The paper presents a method for determining the depth of a massive structure embedding and the surface loading, preventing soil heaving. The task is solved within the framework of a limit equilibrium scheme.

REFERENCES

1. Bukhartsev V. N., Pham N. T. Opredelenie predelnoy vertikalnoy nagruzki na neskalkoe osnovanie massivnogo sooruzheniya [Determination of the ultimate vertical load on the ground base of a massive structure]. Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneeva [News of B. E. Vedeneev VNIIG], 2017. Vol. 283. P. 11–18.

2. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Foundation beds of buildings and structures]. SP 22.13330.2010. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83, data vved. 20.05.11. M-vo region. razvitiya Ros. Federatsii. Moscow. Tekhnnorma. 2011. 162 p.: il.

3. Osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Foundations of hydraulic structures]. SP 23.13330.2011. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.02-85. Utv. 28.12.10 i vved. v d. 20.05.11. M-vo region. razvitiya Ros. Federatsii, Moscow, Media Servis, 2011. 112 p.: il.

© **В. Н. Бухарцев, Н. Т. Фам, 2018**

Получено: 10.01.2018 г.

УДК 624.15

В. Н. БУХАРЦЕВ, д-р техн. наук, проф. кафедры водохозяйственного и гидротехнического строительства; Н. Т. ФАМ, аспирант кафедры водохозяйственного и гидротехнического строительства

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ВЫПОРА НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ НЕСКАЛЬНОГО ОСНОВАНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Тел.: (812) 297-59-88, (911) 977-04-58, (953) 360-18-89; эл. почта: gts.bu@cef.spbstu.ru, v.bukhartsev2016@yandex.ru, thinhsqb@hotmail.com

Ключевые слова: предельное состояние, критические значения параметров прочности грунта, распределение нормальных напряжений, условия равновесия, граничные условия, вариационный принцип.

Выполнен анализ влияния формы поверхности, ограничивающей призму выпора, на несущую способность нескального основания, воспринимающего нагрузку от массивного сооружения. Исследование выполнено в рамках схемы предельного равновесия.

В работе [1] в рамках схемы предельного равновесия нами рассмотрена задача об определении предельной вертикальной нагрузки, передаваемой от массивного сооружения на нескальное основание при наличии пригрузки с обеих сторон фундамента, исключающей выпор грунта. В работе [2], использующей ту же схему, предложена методика определения заглубления фундамента или пригрузки, исключающей выпор. В результате проведенных исследований удалось установить функциональную связь между критическими значениями параметров прочности грунта основания, соответствующими предельному равновесию, и распределением напряжений по поверхности выпора и границам между участками призмы выпора. В этих исследованиях для решения упомянутых задач принята с некоторыми уточнениями традиционная расчетная схема, в которой призма выпора разбивается на три участка (рис. 1).

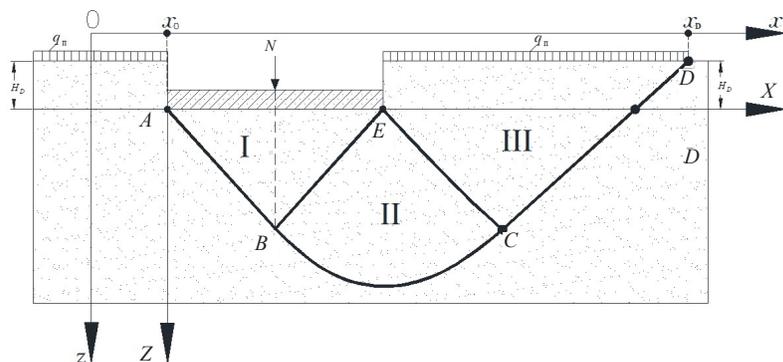


Рис. 1. Расчетная схема к определению интенсивности пригрузки и заглубления фундамента

В нормативном документе [3] профиль поверхности сдвигов на участке 2 рекомендуется описывать логарифмической спиралью (линия BC). В декартовой системе координат эта функция явно не выражается, что создает значительные вычислительные трудности при решении задач. Ниже анализируется возможность замены этой функции другими функциями, более удобными для выполнения расчетов. Рассмотрены две альтернативные функции, описывающие профиль поверхности сдвигов (поверхности выпора) на участке 2 в интервале $X \in [X_B; X_C]$:

$$Z = Z_B + Z'_B(X - X_B) + \frac{Z'_C - Z'_B}{2} \frac{(X - X_B)^2}{X_C - X_B}, \quad (1)$$

$$Z = Z_B + Z'_B(X - X_B) + \frac{(Z'_C - Z'_B - 3A_3)}{2} \frac{(X - X_B)^2}{X_C - X_B} + A_3 \frac{(X - X_B)^3}{(X_C - X_B)^2}, \quad (2)$$

где $X = \frac{x - x_A}{B}$, $Z = \frac{z - z_A}{B}$ – безразмерные координаты произвольной точки рассматриваемого профиля; $B = x_E - x_A$ – ширина подошвы сооружения; x_A, z_A – координаты начальной точки A в системе координат (xOz) с началом в произвольной точке. Индексы обозначают принадлежность координат соответствующим точкам профиля, штрихами здесь и далее обозначены производные по X .



Лишний параметр A_3 в выражении (2) вычисляется из условия достижения минимума несущей способности основания.

Логарифмическая спираль, рассматриваемая для сравнения, описывается выражением [2]

$$R = R_B \exp[a(\theta - \theta_B)], \quad (3)$$

где $\theta - \theta_B = \operatorname{arctg} \frac{(X_B - X_p)(Z - Z_p) - (Z_B - Z_p)(X - X_p)}{(Z_B - Z_p)(Z - Z_p) + (X_B - X_p)(X - X_p)}$, $R_B = R(X_B)$;

$R = \sqrt{(X - X_p)^2 + (Z - Z_p)^2}$; a – числовой параметр, значение которого определяется граничным условием; X_p, Z_p – координаты полюса логарифмической спирали.

На участках I и III профиль поверхности сдвигов, отделяющий призму выпора от остальной части грунтового массива основания, определяется, как и в предшествующих исследованиях, зависимостями [2]

$$\begin{cases} Z = Z'_A X + \frac{Z_B - Z'_A X_B}{X_B^2} X^2, & X \in [0; X_B] \\ Z = Z_C + \frac{Z_D - Z_C}{X_D - X_C} (X - X_C), & X \in [X_C; X_D] \end{cases} \quad (4)$$

Профили границ между участками I и II (Ψ_I) и участками II и III (Ψ_{II}) в представленной на рис. 1 системе координат описываются зависимостями [2]:

$$\Psi_I = Z'_A \frac{(X - X_B)(1 - X)}{(1 - X_B)} + Z_B \left[1 - \frac{(X - X_B)}{(1 - X_B)} \right]^2, \quad X \in [X_B; 1], \quad (5)$$

$$\Psi_{II} = Z'_A (X - 1) + [Z_C - Z'_A (X_C - 1)] \frac{(X - 1)^2}{(X_C - 1)^2}, \quad X \in [1; X_C]. \quad (6)$$

Наклоны площадок сдвигов в точке C , определяемые производными по X от функций Ψ_{II} и Z , связаны между собой условием прочности Мора [2]. Это условие позволяет связать координаты точки C выражением

$$Z_C = \frac{\mu f_k^2 - 1}{Z'_C + \mu f_k} (X_C - 1). \quad (7)$$

Используя это выражение совместно с выражением (2), получим для точки C

$$\begin{cases} X_C = 1 + \tilde{Z} (Z'_C + f_k) \\ Z_C = \tilde{Z} (f_k^2 - 1) \end{cases}, \quad (8)$$

где $\tilde{Z} = \frac{2Z_B + (Z'_B + Z'_C - A_3)(1 - X_B)}{2(f_k^2 - 1) - (Z'_B + Z'_C - A_3)(Z'_C + f_k)}$.

Для функции (1) в выражениях (8) следует положить $A_3 = 0$.

Координаты точки D связаны между собой выражением

$$X_D = X_C + (Z_D - Z_C)/Z'_C. \quad (9)$$

Нормальные напряжения на поверхности сдвигов в пределах участка III определяются выражениями

$$\tilde{\sigma} = \begin{cases} \tilde{\sigma}_E + b_1(X_C - X) \frac{(X - 1)}{(X_C - 1)} + (\tilde{\sigma}_C - \tilde{\sigma}_E) \frac{(X - 1)^2}{(X_C - 1)^2}, & X \in [1; X_C], \\ \tilde{\sigma}_C + b_2(X_D - X) \frac{(X - X_C)}{(X_D - X_C)} + (\tilde{\sigma}_D - \tilde{\sigma}_C) \frac{(X - X_C)^2}{(X_D - X_C)^2}, & X \in [X_C; X_D], \end{cases} \quad (10)$$

где b_1, b_2 – вещественные числовые коэффициенты.



Уравнения предельного равновесия участка III, полученные интегрированием дифференциальных уравнений равновесия элемента на всем интервале от 1 до X_D , описываются выражениями [2]:

$$\int_1^{X_C} (\Psi'_{II} - f_k) \tilde{\sigma} dX + \int_{X_C}^{X_D} (Z' - f_k) \tilde{\sigma} dX + s_k (X_D - 2X_C + 1) = 0, \quad (11)$$

$$\int_1^{X_C} (1 + f_k \Psi'_{II}) \tilde{\sigma} dX + \int_{X_C}^{X_D} (1 - f_k Z') \tilde{\sigma} dX - s_k (Z_D - 2Z_C) = \int_1^{X_D} \tilde{q}_z dX, \quad (12)$$

$$\int_1^{X_C} [X(1 + f_k \Psi'_{II}) + \Psi_{II}(\Psi'_{II} - f_k)] \tilde{\sigma} dX + \int_{X_C}^{X_D} [X(1 - f_k Z') + Z(Z' + f_k)] \tilde{\sigma} dX + s_k \left[\int_1^{X_C} (X\Psi'_{II} - \Psi_{II}) dX - \int_{X_C}^{X_D} (XZ' - Z) dX \right] = \int_1^{X_D} \tilde{q}_z dX, \quad (13)$$

где $\tilde{\sigma} = \sigma/\gamma_{гп} B$, $s_k = c_k/\gamma_{гп} B$, $\tilde{q}_z = q_z/\gamma_{гп} B = \tilde{q}_n + H_D + Z$, $\tilde{q}_n = q_n/\gamma_{гп} B$, $H_D = h_D/B$, h_D – заглубление фундамента.

Уравнения предельного равновесия участка II, полученные аналогично, описываются выражениями [2]:

$$\int_{X_B}^{X_C} [\tilde{q}_x + Z' \tilde{\sigma} - (f_k \tilde{\sigma} + s_k)] dX = 0, \quad (14)$$

$$\int_{X_B}^{X_C} [\tilde{q}_z - \tilde{\sigma} - (f_k \tilde{\sigma} + s_k) Z'] dX = 0, \quad (15)$$

$$\int_{X_B}^{X_C} [(ZZ' + X) \tilde{\sigma} - (f_k \tilde{\sigma} + s_k)(Z - XZ')] dX = \int_{X_B}^{X_C} \tilde{q}_z X dX - \int_{X_B}^{X_C} \tilde{q}_x \Psi_* dX, \quad (16)$$

где $\tilde{q}_x = q_x/\gamma_{гп} B$.

Нормальные напряжения на поверхности сдвигов в пределах участка II определяются выражением

$$\tilde{\sigma} = \tilde{\sigma}_B + a_1 \frac{(X - X_B)}{(X_C - X_B)} + a_2 \frac{(X - X_B)^2}{(X_C - X_B)^2} + (\tilde{\sigma}_C - \tilde{\sigma}_B - a_1 - a_2) \frac{(X - X_B)^3}{(X_C - X_B)^3}, \quad (17)$$

где a_1, a_2 – вещественные числовые коэффициенты.

Компоненты активной нагрузки на этом участке определяются выражениями:

$$\tilde{q}_x = \begin{cases} -(\Psi'_I + f_k) \tilde{\sigma}_I - s_k, & X \in [X_B; 1], \\ - (\Psi'_{II} - f_k) \tilde{\sigma}_{II} + s_k, & X \in [1; X_C], \end{cases} \quad (18)$$

$$\tilde{q}_z = Z + \begin{cases} V_1, & X \in [X_B; 1], \\ V_2 + Z^*, & X \in [1; X_C], \end{cases} \quad (19)$$

где $V_1 = (1 - f_k \Psi'_I) \tilde{\sigma}_I - \Psi_I - s_k \Psi'_I$, $V_2 = (1 + f_k \Psi'_{II}) \tilde{\sigma}_{II} - \Psi_{II} + s_k \Psi'_{II}$, $Z^* = H_D + \tilde{q}_n$;

$\tilde{\sigma}_I = \frac{1}{1 - f_k \Psi'_I} \left\{ \frac{N}{\gamma_{гп} B^2} \left[1 + 6 \frac{e}{B} (2X - 1) \right] + \Psi_I + \Psi'_I s_k \right\}$; e – эксцентриситет равнодействующей

вертикальной нагрузки, передаваемой от сооружения на основание;

$$\tilde{\sigma}_{II} = \tilde{\sigma}_E + b_1 (X_C - X) \frac{(X - 1)}{X_C - 1} + (\tilde{\sigma}_C - \tilde{\sigma}_E) \frac{(X - 1)^2}{(X_C - 1)^2}.$$



Из системы уравнений предельного равновесия (11), (12), (13), (14), (15), (16) последовательно определяются значения величин, выступающих параметрами b_1 , b_2 , $\tilde{\sigma}_c$, a_1 , a_2 , и значение пригрузки q_n при задаваемом значении h_D либо заглубление фундамента h_D при задаваемом значении q_n , исключающие выпор грунта.

Результаты рассматриваемого исследования, выполненные по разработанному в [2] алгоритму, представлены графически на рис. 2 для трех форм, описанных выражениями (1), (2), (3).

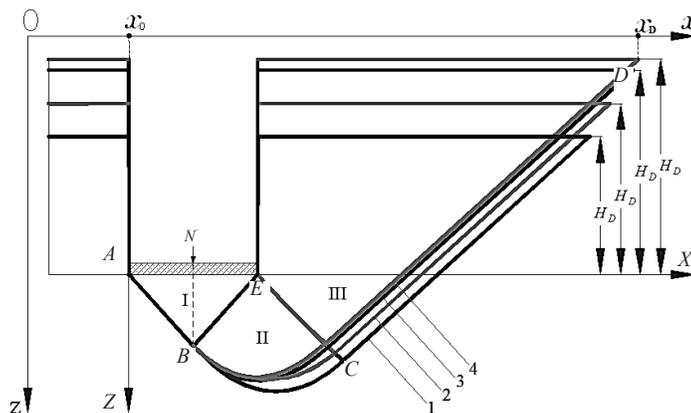


Рис. 2. Сопоставление форм профиля поверхности выпора на участке II: 1 – по выражению [3], 2 – по выражению (1), 3 – по выражению (2), 4 – по выражению (22)

Для выявления наиболее опасной формы поверхности сдвигов на участке II использован вариационный метод, в котором, в отличие от [4], в качестве функционала выступает Z^* . Выражение для функционала составлено из линейной комбинации уравнений предельного равновесия (14), (15), (16):

$$Z^* = \frac{1}{\Delta} \left[\int_{x_b}^1 F_1 dX + \int_1^{x_c} F_2 dX \right], \quad (20)$$

где $F_1 = [(Z' - f_k)(Z + \lambda_1) + (X - \lambda_2)(1 + f_k Z')] \tilde{\sigma} - [Z + \Psi_1 + 2\lambda_1 - (X - \lambda_2) Z'] s_k - (Z + V_1)(X - \lambda_2) + (\lambda_1 + \Psi_1)(\Psi_1' + f_k) \tilde{\sigma}_I$;

$$F_2 = [(Z + \lambda_3)(Z' + f_k) + (1 - f_k Z')(X - \lambda_4)] \tilde{\sigma} + s_k (Z + \Psi_2 + 2\lambda_3 - (X - \lambda_4) Z') - (\lambda_3 + \Psi_2)(\Psi_2' - f_k) \tilde{\sigma}_{II} - (Z + V_2)(X - \lambda_4);$$

$\Delta = [(X_c + 1)/2 - \lambda_4](X_c - 1)$, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ – числовые коэффициенты.

Подынтегральные функции F_1 и F_2 функционала (20) должны удовлетворять дифференциальному уравнению Эйлера – Лагранжа

$$\frac{\partial F_i}{\partial Z} - \frac{d}{dX} \left(\frac{\partial F_i}{\partial Z'} \right) = 0, \quad i = 1, 2. \quad (21)$$

Кроме того, функции Z и Z' в точках B и C должны удовлетворять условию непрерывности, а при $X = 1$ – условию трансверсальности.

Таким образом, для выполнения двух условий предельного равновесия и упомянутых условий непрерывности и трансверсальности функций Z и Z' , а также граничных условий функции $\tilde{\sigma}$, эти функции должны содержать десять параметров.



Экстремаль Z определяется зависимостью, полученной в результате решения уравнения (21)

$$Z = \begin{cases} -\frac{2(f_k \tilde{\sigma} + s_k) + (X - \lambda_2)}{\tilde{\sigma}'} - f_k(X - \lambda_2) - \lambda_1, & X \in [X_B; 1], \\ \frac{2(f_k \tilde{\sigma} + s_k) - (X - \lambda_4)}{\tilde{\sigma}'} + f_k(X - \lambda_4) - \lambda_3, & X \in [1; X_C] \end{cases} \quad (22)$$

Из граничных условий для экстремали:

при $X = X_B$

$$\lambda_1 = 2f_k(f_k \tilde{\sigma}_B + s_k) - Z_B - \frac{1 + (Z'_B + 3f_k)\tilde{\sigma}'_B}{\tilde{\sigma}''_B} (1 + f_k \tilde{\sigma}'_B), \quad (23)$$

$$\lambda_2 = X_B + 2(f_k \tilde{\sigma}_B + s_k) - \frac{1 + (Z'_B + 3f_k)\tilde{\sigma}'_B}{\tilde{\sigma}''_B} \tilde{\sigma}'_B; \quad (24)$$

при $X = X_C$

$$\lambda_3 = 2f_k(f_k \tilde{\sigma}_C + s_k) - Z_C - \frac{1 + (Z'_C - 3f_k)\tilde{\sigma}'_C}{\tilde{\sigma}''_C} (1 - f_k \tilde{\sigma}'_C), \quad (25)$$

$$\lambda_4 = X_C + 2(f_k \tilde{\sigma}_C + s_k) - \frac{1 + (Z'_C - 3f_k)\tilde{\sigma}'_C}{\tilde{\sigma}''_C} \tilde{\sigma}'_C. \quad (26)$$

Условия трансверсальности при $X = 1$ выражаются зависимостями:

$$4(f_k \tilde{\sigma}_1 + s_k) - (\lambda_2 - \lambda_4) + [\lambda_1 - \lambda_3 + f_k(2 - \lambda_2 - \lambda_4)] \tilde{\sigma}'_1 = 0, \quad (27)$$

$$6(f_k \tilde{\sigma}'_1)^2 + [\lambda_2 - \lambda_4 - 4(f_k \tilde{\sigma}'_1 + s_k)] \tilde{\sigma}''_1 = 0, \quad (28)$$

где $\tilde{\sigma}_1 = \tilde{\sigma}(X=1)$, $\tilde{\sigma}'_1 = \tilde{\sigma}'(X=1)$, $\tilde{\sigma}''_1 = \tilde{\sigma}''(X=1)$.

Таким образом, функция $\tilde{\sigma}$ должна иметь пять свободных параметров. С учетом граничных условий функцию $\tilde{\sigma}$ на интервале $X \in [X_B; X_C]$ можно представить выражением:

$$\tilde{\sigma} = \tilde{\sigma}_B + \left(\frac{\tilde{\sigma}_C - \tilde{\sigma}_B}{X_C - X_B} + A_2 \xi_2 + A_3 \xi_3 + A_4 \xi_4 \right) (X - X_B), \quad (29)$$

где $\xi_2 = (X - X_C)$, $\xi_3 = (X - X_B)^2 - (X_C - X_B)^2$, $\xi_4 = (X - X_B)^3 - (X_C - X_B)^3$.

Значения пригрузки Z^* и параметров X_C , A_2 , A_3 , A_4 вычисляются последовательно из уравнений (14), (15), (16) и условий трансверсальности (27), (28) с учетом граничных условий (23), (24), (25), (26). Итерационный процесс вычислений сопровождается анализом всех корней перечисленных уравнений. Для последующих вычислений на каждом этапе принимается корень, соответствующий максимальному значению пригрузки Z^* .

Уравнение (21) выражает необходимое условие существования экстремума функционала (20). Достаточное условие проверяется численно. Для этого решается задача для двух малых вариаций функции Z , которые определяются зависимостью



$$\delta Z = \frac{(X - X_B)(X - X_C)[(Z'_B X_C + Z'_C X_B)X^2 - (Z'_C X_B^2 + X_C^2 Z'_B)X]}{X_B X_C (X_C - X_B)^2} + \xi \frac{(X - X_B)(X - X_C)[X^2 + (X_B + X_C)X + X_B X_C]}{X_B X_C}, \quad (30)$$

где можно положить $\xi = \pm 0,1$.

Граничные условия при вариациях, определяемых выражением (30), удовлетворяются полностью. Профиль поверхности выпора на участке II описывается при этом выражением $Z + \sigma Z$, где Z определяется зависимостью (22).

В таблице представлены результаты проверки на наличие экстремума функционала (20). Вычисления выполнены для исходных данных: $N = 2000$ кН; $B = 10$ м; $\gamma_{гр} = 18$ кН/м³; $c_k = 1,06$ МПа и $f_k = 0,1$, $\tilde{q}_{н1} = 0$.

Результаты проверки на экстремум

Z и $Z + \sigma Z$	Z
$Z + \sigma Z$ при $\xi = -0,1$	-0,24
Z	0,30
$Z + \sigma Z$ при $\xi = 0,1$	-0,01

Профиль поверхности выпора на участке II, описываемый функцией Z , представлен на рис. 2. Результаты вычислений для установления зависимости H_D и $\tilde{q}_{н1}$ от f_k , выполненные для тех же исходных данных, представлены на рис. 3.

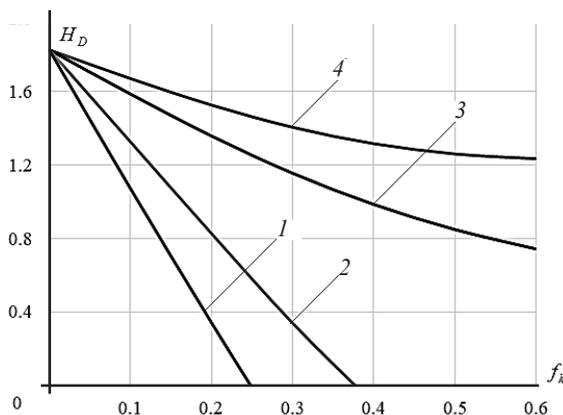


Рис. 3. Графики зависимостей H_D при $\tilde{q}_{н1} = 0$ от f_k для разных профилей поверхности выпора на участке II: 1 – по выражению (1); 2 – по выражению (3); 3 – по выражению (2); 4 – по выражению (22)

Анализ представленного графического материала и результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы:

- 1) логарифмическая спираль, используемая в распространенных методах для описания профиля поверхности выпора на участке II, не имеет преимуществ перед более простой степенной зависимостью (2);
- 2) на значительной части диапазона значений f_k профиль поверхности выпора на участке II, описываемый степенной зависимостью (2), является более опасным в отношении обеспечения несущей способности грунтового основания;



3) профиль поверхности выпора, описываемый логарифмической спиралью, более опасен лишь в диапазоне малых значений f_k , характеризующих пластичные грунты;

4) профиль поверхности выпора, описываемый параболой (1), неприемлем для оценки несущей способности основания, поскольку дает слишком оптимистические результаты;

5) наиболее обоснованная форма профиля поверхности выпора на участке II, описываемая выражением (22), может считаться эталонной и использоваться для калибровки аппроксимаций поверхности выпора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бухарцев, В. Н. Определение предельной вертикальной нагрузки на нескальное основание массивного сооружения / В. Н. Бухарцев, Н. Т. Фам // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2017. – Т. 283. – С. 11–18.
2. СП 23.13330.2011. Основания гидротехнических сооружений : актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85 : свод правил. – Москва : Медиа Сервис, 2011. – 111 с.
3. Бухарцев, В. Н. Оценка устойчивости грунтовых откосов вариационным методом / В. Н. Бухарцев // Гидротехническое строительство. – 1998. – № 11. – С. 14–18.
4. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* : свод правил. – Москва, 2011. – 161 с.
5. Королев, К. В. Исследование несущей способности оснований близко расположенных ленточных фундаментов мелкого заложения : автореф. дис. ... канд. техн. наук / К. В. Королев ; ТГАСУ. – Томск, 2003. – 25 с.
6. Королев, К. В. Несущая способность оснований в стабилизированном и нестабилизированном состоянии : дис. ... д-ра техн. наук / К. В. Королев. – Новосибирск, 2014. – 326 с.
7. Prandtl, L. Über die Harte plastischer Körper / L. Prandtl // Göttingen Nachrichten. – 1920. – P. 340–350.

BUKHARTSEV Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor of the chair of water-resources and hydraulic engineering; PHAM Ngoc Thinh, postgraduate student of the chair of water-resources and hydraulic engineering

THE INFLUENCE OF A SLIP SURFACE SHAPE ON THE BEARING CAPACITY OF SOIL UNDER THE EFFECT OF THE VERTICAL LOAD

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29, Politekhnikeskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia.
Tel.: +7 (812) 297-59-88, +7 (911) 977-04-58; +7 (953) 360-18-89; e-mail: gts.bu@cef.spbstu.ru, v.bukhartsev2016@yandex.ru, thinhspb@hotmail.com

Key words: limit state theory, critical values of soil strength parameters, distribution of normal stresses, equilibrium conditions, boundary conditions, variational principle.

The article analyzes the impact of a surface shape limiting the sliding wedge on the load-bearing capacity of soil subjected to the load of a massive structure. Research completed in the framework of a limit equilibrium scheme.

REFERENCES

1. Bukhartsev V. N., Pham N. T. Opredelenie predelnoy vertikalnoy nagruzki na neskalknoe osnovanie massivnogo sooruzheniya [Determination of the ultimate vertical load on the non-scalloped base of a massive structure]. Izvestiya VNIIG im. B. E. Vedeneeva [News of B. E. Vedeneev VNIIG], 2017. Vol. 283. P. 11–18.



2. SP 23.13330.2011 Osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Foundations of hydraulic structures]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.02-85. Svod pravil. Moscow. Media Servis. 2011. 111 p.

3. Bukhartsev V. N. Otsenka ustoychivosti gruntovykh otkosov variatsionnym metodom [Evaluation of stability of ground slopes with a variational method]. Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo [Power Engineering]. 1998. № 11. P. 14–18.

4. SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. [Foundation beds in buildings and structures]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83* [Building Regulation 22.13330.2011. Updated edition of building codes and regulations 2.02.01-83*]. Svod pravil. Moscow, 2011. 161 p.

5. Korolyov K. V. Issledovanie nesuschey sposobnosti osnovaniy blizko raspolozhennykh lentochnykh fundamentov melkogo zalozheniya [Investigation of bearing capacity of grounds of closely spaced shallow strip foundations]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. Nauk. Tomsk. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Tomsk, 2003. 25 p.

6. Korolyov K. V. Nesuschaya sposobnost osnovaniy v stabilizirovannom i nestabilizirovannom sostoyanii [Load-bearing capacity of foundations in stabilized and non-stabilized soils]: dis. ... dokt. tekhn. Nauk. Novosibirsk, 2014. 326 p.

7. Prandtl L. Über die Harte plastischer Körper. Göttingen Nachrichten. 1920. P. 340–350.

© В. Н. Бухарцев, Н. Т. Фам, 2018

Получено: 10.01.2018 г.

УДК 502/504:627.8

В. А. ВОЛОСУХИН¹, д-р техн. наук, проф., директор; **Е. Н. БЕЛОКОНЕВ¹**, канд. техн. наук, проф., ст. научн. сотр.; **М. А ВОЛЫНОВ²**, д-р техн. наук, доц., нач. отдела безопасности ГТС гидромелиоративного комплекса

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВЕРХНЕГО БЬЕФА ЗАГОРСКОЙ ГАЭС-2

¹Институт безопасности гидротехнических сооружений

Россия, 346421, Ростовская обл., г. Новочеркасск, пр. Баклановский, д. 200 В. Тел.: (8635) 26-60-26, e-mail: mail@ibgts.ru, director@ibgts.ru, ngma_str_meh@mail.ru

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»

Россия, 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корпус 2

Ключевые слова: гидроаккумулирующая электрическая станция, водоприемник, входной оголовок, надежность, безопасность, критическая глубина, вихревая воронка, пропускная способность, модельная установка, модернизация.

Приведены описание принципа действия гидроаккумулирующей электрической станции (ГАЭС), природа воронкообразования в верхнем бьефе и ее негативное влияние на работу ГАЭС в период эксплуатации. Представлены результаты гидравлических исследований в двух вариантах – на модели проектного варианта верхнего бьефа и водоприемника, а также на модели модернизированного варианта. Проведена оценка эффективности модернизированной конструкции.

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) перераспределяют электроэнергию, вырабатываемую другими электростанциями, во времени в соответствии с требованиями потребителей. Принцип действия гидроаккумулирующей станции основан на ее работе в двух режимах: насосном и турбинном. В насосном режиме

вода из нижнего бьефа бассейна перекачивается в вышерасположенный верхний бассейн. В турбинном ГАЭС используют запасенную в верхнем бассейне воду. Агрегаты при этом вырабатывают электроэнергию, которая подается потребителю в часы пиковой нагрузки.

По подобной схеме работает Загорская ГАЭС мощностью 1200 МВт на реке Кунья в Московской области, введенная в эксплуатацию в 2003 г.

Эффективность работы ГАЭС складывается из следующих составляющих [1]:

- продажи электроэнергии в часы пика нагрузки в энергосистеме;
- выполнения ГАЭС ряда системных функций (оперативного и аварийного резерва, поддержания частоты и напряжения);

- аварийного резерва ответственных потребителей собственных нужд ГАЭС;

- улучшения режима эксплуатации электросетей высокого напряжения и т. д.

Опыт эксплуатации Загорской ГАЭС (верхнего бьефа) показал, что одним из недостатков в ее работе с гидравлической точки зрения является появление в водоприемнике верхнего бассейна водоворотов – воронок всасывания, природу которых рассматривали в своих научных работах Леонардо да Винчи, Р. Г. Перельман, В. И. Поликовский [2, 3] и др.

Ими отмечено, что эти водовороты ухудшают обеспечение надежности сооружения, могут приводить к кавитационным явлениям не только бетонной облицовки на входе в верхний оголовок труб водопроводящего тракта, но и уменьшать пропускную способность за счет образования воздушного жгута в трубах, который может достигать гидротурбин.

Строительство второй очереди Загорской ГАЭС ведется с 2007 года. Проектная мощность ЗаГАЭС-2 составит 840/1000 МВт (турбинный/насосный режимы). Среднегодовая выработка намечена на уровне 1,1 млрд кВт·ч.

К основным частям ЗаГАЭС-2, приведенной на рис. 1, относятся: 1 – верхний бассейн, 2 – водоприемник, 3 – входной оголовок, 4 – четыре трубопровода (водовода), 5 – здание ГАЭС, 6 – нижний бассейн.

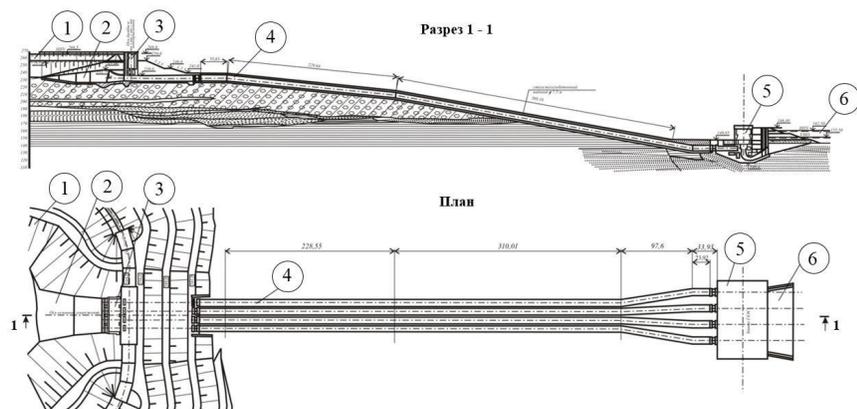


Рис. 1. План и продольный профиль Загорской ГАЭС-2 на реке Кунья: 1 – верхний водоем; 2 – водоприемник; 3 – входной оголовок; 4 – трубопровод; 5 – здание ГАЭС; 6 – нижний водоем

Верхний бассейн 1, представленный на рис. 2, – это емкость, ассиметрично запроектированная по отношению к продольной оси турбинных трубопроводов вследствие особенностей топографических условий. Площадь этого бассейна со-

ставляет около 1,4 млн м². Глубина воды в нем равна разности отметок НПУ и дна, т. е. $H = 266.50 - 255.50 = 11,00$ м. Глубина от НПУ до УМО составляет 9,0 м. В этом случае объем воды от НПУ до УМО равен 14,0 млн м³, а от НПУ до дна $\approx 17,0$ млн м³.

Отметка гребня дамбы верхнего бассейна принята равной 269.00 м, что на 2,5 м выше уровня НПУ = 266.50 м. Заложения мокрых откосов верхнего водоема запроектировано 1:7 ($m = 7$), а сухих 1:3,5 ($m = 3,5$).

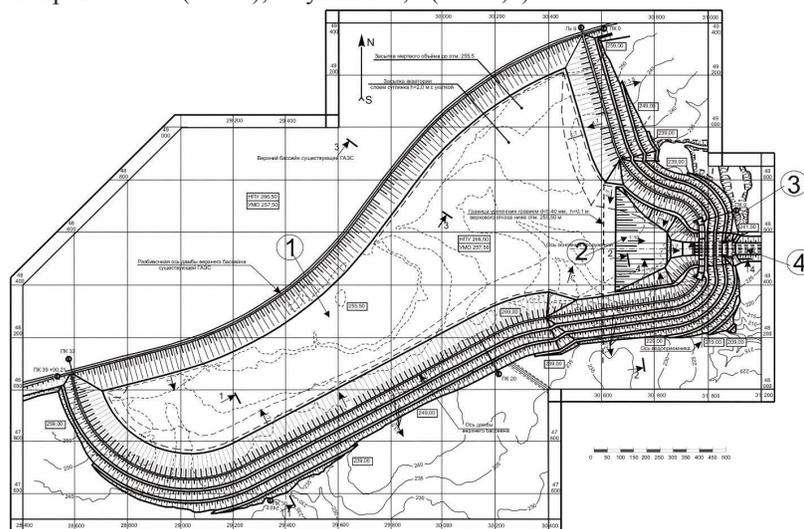
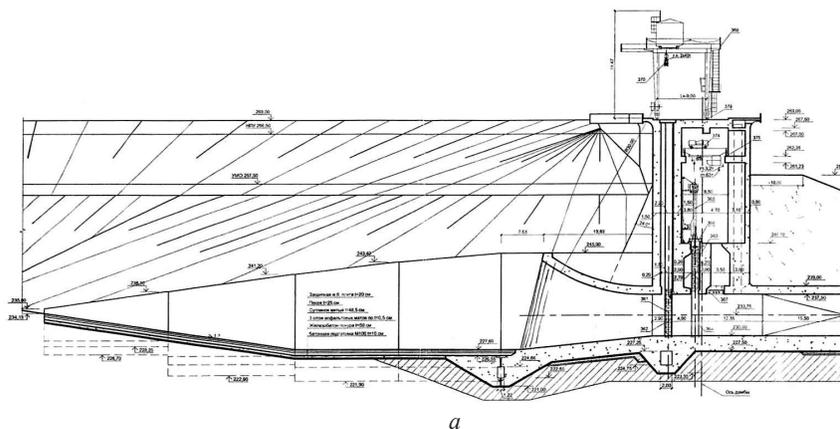


Рис. 2. Верхний бьеф Загорской ГАЭС-2: 1 – верхний водоем; 2 – водоприемник; 3 – входной оголовок; 4 – трубопровод

Водоприемник 2 (см. рис. 1 и 2) представляют собой сужающуюся часть, дно которой имеет три уклона с заложением от 1:10 до 1:7. Перед входным оголовком 3 дно имеет нулевой уклон. Заложение откосов на этом участке принято 1:3,5 ($m = 3,5$). В пределах водоприемника дамба имеет берму с отметкой 255.50 м, т. е. на уровне дна верхнего бассейна. Как и верхний бассейн, водоприемник имеет ассиметричную конфигурацию в плане. Поперечные сечения 1–1, 2–2 и 3–3 приведены в [4].

Геологическое сложение основания в районе ЗаГАЭС-2 сложное, о чем отмечается в [5, 6].



a



На этом рисунке показана кривая 1, которая может служить для оценки опасности образования воронки с прорывом воздуха над боковым придонным отверстием в области больших значений $\frac{V_0}{\sqrt{gD}}$, т. е. при значительных глубинах и расходах. Кривая 2 рис. 4 оценивает опасность воронкообразования с прорывом воздуха в трубу при небольших напорах над входом в трубу и малых расходах.

При известной скорости в трубе V_0 и ее диаметре D можно, вычислив отношение $\frac{V_0}{\sqrt{gD}}$, найти по графику отношение $\frac{H_{кр}}{D}$. Если окажется, что $H < H_{кр}$,

то воздушная воронка прорвется в отверстие.

В исследуемом сооружении вход в оголовок имеет раструбную форму, обеспечивающую практически отсутствие сжатого сечения. Конструкция входа объединяет четыре отверстия квадратного сечения со сторонами $7,5 \times 7,5$ м, удаленных на 27,50 м от этих отверстий (см. рис. 3). Отверстия разделены тремя бычками плавного переменного сечения.

Все эти конструктивные решения входа не позволяют точно определить $H_{кр}$ и устойчивость воронок при их образовании. Для этого необходимы исследования на модельной установке.

Однако, приняв допущение, что расчетное сечение $n-n$ (см. рис. 4) находится в плоскости вертикальной стенки (хотя вход выдвинут в поток), одна труба имеет сечение $7,5 \times 7,5$ м и площадь соответственно $\omega_1 \approx 7,5^2 = 56,25$ м², расчетный расход $Q_1 = 236$ м³/с, скорость во входном сечении трубы $V_0 = Q_1/\omega_1 \approx 4,2$ м/с, можно найти в первом приближении критическую глубину.

Воспользуемся графиком, приведенным на рис. 4.

$$\text{При } \frac{V_0}{\sqrt{gD}} = \frac{4,2}{\sqrt{9,81 \cdot 7,5}} = 0,49 \text{ по кривой 2 получаем } \frac{H_{кр}}{D} \text{ и}$$

$$H_{кр} = 1,2D = 1,2 \cdot 7,5 = 9,0 \text{ м – случай малых напоров.}$$

Так как отметка входа в трубу по проекту равна 230.00 м, отметка поверхности воды перед сооружением, при котором отмечается воронкообразование с засосом воздуха, будет составлять:

$$\nabla_{кр} \cong 230.00 + 0,5D + H_{кр} = 230.00 + 0,5 \cdot 7,5 + 9,0 = 242.75 \text{ м.}$$

Глубина воды при этом на пороге сооружения составит:

$$\nabla_{кр} - \nabla_{дна} = 242.75 - 227.60 = 15,15 \text{ м.}$$

Таким образом, опасное воронкообразование будет, видимо, отмечаться при сработке верхнего бассейна с $\nabla_{НПУ} = 266.50$ м до $\nabla_{кр} = 242.75$ м, т. е. на величину $266.50 - 242.75 = 23,75$ м. При дальнейшем водопонижении жгут воронки прорывает в трубы.

Выполненные расчеты с принятыми допущениями уточнялись на модельной установке с помощью гидравлических исследований.

Целью научных лабораторных исследований является проведение экспериментов по обеспечению безопасной работы верхнего бьефа ЗаГАЭС-2 на реке Кунья.

Течения в сооружении характеризуются значительными вертикальными составляющими скоростей. Поэтому модель должна иметь неискаженные масштабы.

В результате физического моделирования, приведенного в [4], принят масштаб модели 1:50. Общие размеры модельной установки: длина – 14,6 м, ширина – 9,0 м и высота – 1,8 м (рис. 5а).



а

б

Рис. 5. Модельная установка. Вид с ВБ: а – по серии Б (проектный вариант); б – по серии Д (модернизированный вариант)

Анализ работы модели водоприемника в проектном варианте конструкции ГАЭС-2 (см. рис. 3а) указывает на формирование первых горизонтальных вальцов диаметров D_v до 3,0 м на поверхности при уровнях воды, близких к отметке НПУ при пропуске расчетного расхода $Q_p = 944 \text{ м}^3/\text{с}$ (в пересчете на натуру). Эти горизонтальные вращения, по нашему мнению, в связи с ассиметричным верхним бассейном, изломами откосов могут провоцировать зарождение водоворотов (рис. 6а).

Анализ скоростной структуры потока позволил сделать следующие выводы:

– чем меньше глубина воды в водоприемнике перед сооружением, тем больше неравномерность распределения скоростей по глубине;

– в большинстве случаев поперечные составляющие осредненных скоростей превышают продольные. Это обосновывается неравномерностью распределения водного потока по поперечному сечению водоприемника, плановыми горизонтальными вращениями потока и сходом воды с откосов к продольной оси водоприемника.

Если мысленно очертить «круг» по величинам продольных и поперечных составляющих осредненных скоростей, то получается валец. Чем меньше глубина воды на входе в трубы, тем интенсивнее вращение вальца. При этом скорость вращения вальцов может достигать 3 м/с. Диаметр воронок составляет около 7 м, а по периферии – до 14 м.

По результатам исследования проектной конструкции ЗаГАЭС-2 с целью повышения надежности работы водоприемника (в ВБ) в результате теоретических исследований (с учетом математического моделирования) ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии предложена для гидравлических исследований модернизированная конструкция верхнего бьефа ЗаГАЭС-2, приведенная на рис. 3б.

Модель модернизированной конструкции показана на рис. 5б.

Модернизация верхнего бьефа заключалась в изменении условий подхода воды из верхнего бассейна к входному оголовку; поднятии отметки дна водовода на входе с 230.00 м до 236.05 м; изменении существующей конфигурации козырька на новую – в виде криволинейного козырька, переходящего в вертикальную забральную стенку; увеличении высоты бычков до верха сооружения; поднятии отметки дна водоприемника перед входным оголовком с 227.60 м до 333.70 м; выполнении перехода от верхнего бассейна ко дну на входе в сооружение в виде пандуса с одним уклоном 1:7; изменении направления откосов в водоприемнике; устройстве льдодерживающей решетки.

Гидравлические исследования модернизированного водоприемника объединены в серию Д.

Работа входного оголовка показана на рис. 6б.

Исследования модернизированной конструкции водоприемника показали, что значительно уменьшилось воронкообразование. Для оценки воронкообразования по заданию заказчика принята отметка УМО 250.75 м при напоре над центром отверстия водоводов $H_1=17,00$ м. Установлено, что, в отличие от проектной конструкции, где воронкообразование практически не зависело от количества открытых отверстий и возникало периферически, и вальцы перемещались поперек потока, при модернизированной конструкции водоприемника и входного оголовка отмечалось стабильное воронкообразование с незначительной интенсивностью в пределах каждого входного отверстия между бычками. При этом диаметр вихревых воронок определялся расстоянием между бычками. Преобладали в отличие от проектного варианта продольные составляющие скоростей величиной до 1 м/с. Поверхность потока на подходе к входному оголовку относительно спокойная (см. рис. 6б).



Рис. 6. Модернизированная конструкция водоприемника и входного оголовка:
 а – образование водоворота у правого отверстия при $Q = 944$ м³/с и открытых затворах; $D_b \approx 9$ м; $D_3 \approx 14-15$ м (пересчет в натуру); б – пропуск расхода 944 м³/с, УМО = 250.75 м; напор на входе $H_1=17,00$ м в пересчете на натуру

При установке сорудерживающих решеток перед забральными стенками интенсивность воронкообразования еще больше снижается.

Выводы:

1. При проектном варианте входного оголовка отмечается значительное винтовое (вихревое) движение, перемещающееся совместно с поверхностными течениями. В пределах водоприемника вихревые воронки в диаметре достигали 15 м. Преобладали поперечные составляющие скоростей, величина которых достигала 2–2,5 м/с.

2. Модернизированный (новый) вариант водоприемника и входного оголовка позволил существенно снизить условия воронкообразования и, следовательно, значительно повысить надежность работы и безопасность Загорской ГАЭС-2:

- отсутствует плановое вращательное движение потока на поверхности водоприемника;
- водный поток плавно подходит к входному оголовку без больших поперечных составляющих скоростей;
- воронки имеют место в основном в двух средних отверстиях и их интенсивность по сравнению с существующим вариантом оголовка незначительна;
- эти воронки всасывания практически не влияют на пропускную способность водоводов; энергия вращения их не может повлиять на разрушение крепления;
- льдоудерживающие решетки при их установке еще больше будут снижать вероятность воронкообразования.



3. На основании изложенного можно рекомендовать модернизированный вариант входного оголовка.

4. По нашему мнению, льдоудерживающую решетку следует перенести от забральных стенок к началу бычков. Это позволит значительно облегчить очистку сооружения ото льда, плавающих тел, а также свести к минимуму воронкообразование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фельдман, Б. А. Курский энергетический комплекс / Б. А. Фельдман, В. А. Лукьянов, И. И. Паринов // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 8. – С. 12–14.
2. Venturi, C. B. Essai sur les ouvrages physicomathematiques de Leonardo de Vinci. – Paris, 1797. – P. 21.
3. Поликовский, В. И. Воронкообразование в жидкости с открытой поверхностью / В. И. Поликовский, Р. Г. Перельман. – Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1959. – 191 с.
4. Гидравлические исследования водоприемника верхнего бассейна Загорской ГАЭС-2 с применением физического моделирования : отчет о НИР / Новочерк. гос. мелиор. акад. ; рук. темы В. А. Волосухин, отв. исп. Е. Н. Белоконов. – Новочеркасск : НГМА, 2007. – 178 с.
5. Несынова, Э. Ю. Феномены Загорской ГАЭС-2 / Э. Ю. Несынова // Гидротехническое строительство. – 2013. – № 6. – С. 28–32.
6. Александров, А. В. Ликвидация последствий осадки здания станционного узла Загорской ГАЭС-2 и восстановительные работы / А. В. Александров, Е. Н. Беллендир, С. Я. Лашенов [и др.] // Гидротехническое строительство, 2016. – № 7. – С. 2–10.

VOLOSUKHIN Viktor Alekseevich¹, doctor of technical sciences, professor, director; BELOKONEV Evgeniy Nikitovich¹, candidate of technical sciences, professor, senior researcher; VOLYNNOV Mikhail Anatolevich², doctor of technical sciences, associate professor, head of the GTS safety department of an irrigation complex

TO THE ISSUE OF INCREASING RELIABILITY OF THE UPPER POND OF THE ZAGORSK PSHP-2

¹Institute of Hydraulic Structure Safety

200, Baklanovsky Ave., Novochoerkassk, 346421, Rostov region, Russia. Tel.: (8635) 26-60-26, e-mail: mail@ibgts.ru, director@ibgts.ru, ngma_str_meh@mail.ru

²All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A. N. Kostyakov

44-2, B. Akademicheskaya St., Moscow, 127550, Russia

Key words: hydroheat-sink power plant, water intake, head wall, reliability, safety, critical depth, swirling, capacity, model installation, modernization.

The article describes the principle of functioning of a hydroheat-sink power plant (a pumped-storage hydroelectric power plant), the nature of swirling in the upper pond and its negative impact on the pumped-storage power plant operation. The results of hydraulic researches are presented in two variants – on a model of the designed upper pond and water intake and on a model of a modernized option. The efficiency of the modernized design is assessed.

REFERENCES

1. Feldman, B. A., Lukyanov V. A., Parinov I. I. Kurskiy energeticheskiy kompleks [Kursk power complex]. Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo [Power Technology and Engineering]. 2005. № 8. P. 12–14.
2. Venturi, C. B. Essai sur les ouvrages physicomathematiques de Leonardo de Vinci. Paris, 1797. P. 21.



3. Polikovskiy, V. I., Perelman R. G. Voronkoobrazovanie v zhidkosti s otkrytoy poverkhnostyu [Swirling formation in liquid with an open surface]. Moscow; Leningrad. Gosenergoizdat. 1959. 191 p.

4. Gidravlicheskie issledovaniya vodopriyomnika verkhnego basseyna Zagorskoy GAES-2 s primeneniem fizicheskogo modelirovaniya: otchyot o NIR [Hydraulic studies of the water intake of the upper basin of the Zagorskaya PSPP-2 with the use of physical modeling: a report on research]. Novocherk. gos. melior. akad. Ruk. temy V. A. Volosukhin, otv. isp. E. N. Belokonev. Novocherkassk. NGMA. 2007. 178 p.

5. Nesynova, E. Yu. Fenomeny Zagorskoy GAES-2 [Phenomena of the Zagorskaya PSHP-2]. Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo [Power Technology and Engineering]. 2013. № 6. P. 28–32.

6. Aleksandrov, A. V., Bellendir, E. N., Laschenov S. Ya. Likvidatsiya posledstviy osadki zdaniya stantsionnogo uzla Zagorskoy GAES-2 i vosstanovitelnye raboty [Elimination of the consequences of the draft of the Zagorskaya PSHP-2 station building and the reconstruction works]. Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo [Power Technology and Engineering]. 2016. № 7. P. 2–10.

© В. А. Волосухин, Е. Н. Белоконев, **М. А. Волинов**, 2018

Получено: 20.01.2018 г.

УДК 627.824.012.2

Е. Н. ГОРОХОВ, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой оснований, фундаментов и инженерной геологии

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ И ДЛИТЕЛЬНОГО НАКОПЛЕНИЯ СУБЛИМАЦИОННОГО ЛЬДА В ПОРАХ НАБРОСКИ КАМЕННЫХ ПЛОТИН

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел./факс: (831) 430-54-94; эл. почта: nn-oif@yandex.ru

Ключевые слова: каменные плотины, криолитозона, агрегатные превращения паровой влаги, каменная наброска, температурно-фильтрационный режим.

Предлагается численный метод учета образования и длительного накопления сублимационного льда в порах наброски в трехмерных условиях. Метод основан на конечно-разностном анализе температурно-влажностного состояния наброски. Он позволяет определять в различные моменты времени насыщенность пор наброски льдом с учетом процессов конденсации и сублимации водяного пара, содержащегося в поровом воздухе, возгонки и таяния порового льда, испарения и замерзания воды.

В природно-климатических условиях криолитозоны вследствие конвекции воздухом водяного пара в низовой призме каменной плотины поры наброски постепенно «зарастают» сублимационным льдом. Это обстоятельство для каменных плотин имеет большое значение, поскольку зарастание пор наброски снижает ее проницаемость для воздуха и тем самым снижает долю конвективного теплопереноса, являющегося определяющим процессом в формировании температурно-фильтрационного режима низовой призмы плотины.

В работе предлагается метод, позволяющий учитывать при моделировании температурно-криогенного режима каменных плотин процессы образования и длительного накопления сублимационного льда в порах каменной наброски.



Математическая формулировка этих процессов основывается на следующих предпосылках: каменная наброска недеформируемая – физические характеристики составляющих наброску фаз (камня, воздуха, льда и воды) не зависят от их температуры и давления воздуха; влажный воздух, представляющий собой смесь сухого воздуха (газа) и водяного пара, полностью занимает свободный ото льда или воды объем порового пространства; скорости движения сухого воздуха и водяного пара в каждой точке наброски равны между собой по величине и совпадают по направлению; температура сухого воздуха и водяного пара в их смеси также одинакова; вода и лед, образовавшиеся в порах наброски за счет других фаз, неподвижны.

Исходя из того, что давление в наброске (в пределах высоты плотины) изменяется в незначительных пределах, а скорость движения воздуха в порах значительно меньше скорости звука, поровый воздух можно рассматривать как несжимаемую жидкость. Тогда, с учетом принятых предпосылок и без учета процессов диффузии веществ в наброске баланс поровой влаги в наброске может быть описан следующими дифференциальными уравнениями [1, 2]:

– для водяного пара:

$$n_0 \nabla_t (\rho_{\Pi} b_{\text{В}}) = - [U_x \cdot \nabla_x (b_{\text{В}} \rho_{\Pi}) + U_y \cdot \nabla_y (b_{\text{В}} \rho_{\Pi}) + U_z \cdot \nabla_z (b_{\text{В}} \rho_{\Pi})] + I_{\Pi}, \quad (1)$$

– для воды и льда в порах:

$$n_0 \nabla_t (\rho_i b_i) = I_i \quad i = \text{л, ж}, \quad (2)$$

где ρ – плотность i -го вещества; U – скорость фильтрации порового воздуха; n_0 – пористость наброски; b – насыщенность пор i -м веществом; I_i – внутренний источник i -го вещества; ∇_t – первая производная по времени t ; $\nabla_{x,y,z}$ – оператор Гамильтона; индексы «г, п, л, ж, в» обозначают соответственно принадлежность к газу, пару, льду, воде и парогазовой смеси в порах наброски; индексы «х, у, z» обозначают принадлежность к направлению соответствующих осей координат.

При избытке влаги в поровом воздухе происходит выделение конденсата. Последний при низких температурах представляет собой сублимационный лед (преимущественно в виде инея или изморози), а при положительных температурах – воду в виде пленки или отдельных капель. При сублимации и конденсации водяного пара его плотность имеет максимальное значение (при данной температуре парогазовой смеси), называемое упругостью насыщения воздуха водяным паром ρ_e . Таким образом, пока идет процесс сублимации или конденсации водяного пара, его плотность постоянна и равна ρ_e , т. е. $\nabla_t \rho_{\Pi} = 0$, а источник пара при сублимации и конденсации обусловлен конвекцией пара воздухом. Таким образом, при сублимации и конденсации уравнение (1) может быть использовано для определения источника водяного пара при этих процессах.

Плотность водяного пара в кг/м³ в состоянии насыщения им воздуха может быть определена по зависимости [3]:

$$\rho_e = \frac{1,325}{273 + T} \cdot 10^{a^* - T/(b^* + T)}, \quad \text{кг/м}^3, \quad (3)$$

где T – температура порового воздуха; $a^* = 7,63$, $b^* = 241,9$ (при $T \geq 0^\circ\text{C}$); $a^* = 9,5$, $b^* = 265,5$ (при $T \leq 0^\circ\text{C}$).

При сублимации и конденсации количество водяного пара в воздухе уменьшается. Следовательно, источник водяного пара при сублимации и конденсации имеет отрицательное значение. Поскольку при фазовых превращениях влага (со-



гласно закону сохранения массы вещества) не пропадает, то при сублимации или конденсации водяного пара можно записать

$$I_{л(ж)} = -I_{\Pi} . \quad (4)$$

Таким образом, если величина $I_{\Pi}^{C(K)}$ будет определена, то будет известна и величина $I_{л(ж)}$. Тогда из уравнения (2) может быть найдена величина насыщенности пор льдом или водой, а, следовательно, и воздухом, поскольку $b_{\text{в}} + b_{\text{л}} + b_{\text{ж}} = 1$.

При наличии в поровом воздухе дефицита влажности (когда количество водяного пара в воздухе ниже упругости насыщения) последний может быть ликвидирован восполнением количества пара за счет возгонки льда или испарения воды (под возгонкой понимается процесс обратный сублимации водяного пара), необходимым условием для этого является наличие влаги на камнях – воды или льда. В случае возгонки льда или испарения воды количество водяного пара в воздухе увеличивается, следовательно, источник пара при этих процессах имеет положительное значение.

Решение системы уравнений (1) и (2) осуществляется численным методом конечных разностей. Разностные аналоги этих уравнений записываются по неявной схеме следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} & \text{– для воды и льда} \\ & b'_{л,i,j,k} = b_{л,i,j,k} + \frac{I_{л,i,j,k} \cdot \Delta t}{(\rho_{\text{л}} n_0)_{i,j,k}} \\ & b'_{ж,i,j,k} = b_{ж,i,j,k} + \frac{I_{ж,i,j,k} \cdot \Delta t}{(\rho_{\text{ж}} n_0)_{i,j,k}} \end{aligned} \right\} ; \quad (5)$$

– для водяного пара:

а) при отсутствии фазовых превращений

$$\dot{\rho}_{\Pi}^{s+1} = \frac{\frac{b_{\text{в},i,j,k}^s}{\Delta t} \dot{\rho}_{\text{в},i,j,k}^s + \frac{1}{n_{0i,j,k}} (B_x^{s+1} \cdot U_{x,i,j,k} + B_y^{s+1} \cdot U_{y,i,j,k} + B_z^{s+1} \cdot U_{z,i,j,k})}{b_{\text{в},i,j,k}^{s+1} \left[\frac{1}{\Delta t} + \frac{1}{n_{0i,j,k}} \left(\frac{1}{l_x} U_{x,i,j,k} + \frac{1}{l_y} U_{y,i,j,k} + \frac{1}{l_z} U_{z,i,j,k} \right) \right]} ; \quad (6)$$

б) при сублимации и конденсации пара

$$\begin{aligned} I_{\text{в},i,j,k}^{C(K)} &= \frac{U_{x,i,j,k}}{l_x} [(b'_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}})_{i,j,k} - A_x] + \frac{U_{y,i,j,k}}{l_y} [(b'_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}})_{i,j,k} - A_y] + \\ &+ \frac{U_{z,i,j,k}}{l_z} [(b'_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}})_{i,j,k} - A_z] + \frac{n_{0i,j,k}}{\Delta t} \rho_{\text{в},i,j,k} (b'_{\text{в},i,j,k} - b_{\text{в},i,j,k}) ; \end{aligned} \quad (7)$$

в) при испарении воды и возгонке льда

$$\dot{\rho}'_{\text{в},i,j,k} = \frac{\frac{b_{\text{в},i,j,k}}{\Delta t} \dot{\rho}_{\text{в},i,j,k} + \frac{1}{n_{0i,j,k}} [(B_x \cdot U_{x,i,j,k} + B_y \cdot U_{y,i,j,k} + B_z \cdot U_{z,i,j,k}) + I_{\text{в},i,j,k}^{И(B)}]}{b_{\text{в},i,j,k} \left[\frac{1}{\Delta t} + \frac{1}{n_{0i,j,k}} \left(\frac{1}{l_x} U_{x,i,j,k} + \frac{1}{l_y} U_{y,i,j,k} + \frac{1}{l_z} U_{z,i,j,k} \right) \right]} , \quad (8)$$

Сеточные коэффициенты А, Б, l в уравнениях (6)–(8) записываются в зависимости от направления составляющих вектора скорости фильтрации воздуха:



$$\begin{aligned} &\text{при } U_{x_{i,j,k}} > 0; U_{y_{i,j,k}} > 0; U_{z_{i,j,k}} > 0; \\ &B_x = \frac{A_x}{\Delta x_j}; \quad B_y = \frac{A_y}{\Delta x_i}; \quad B_z = \frac{A_z}{\Delta x_k}; \end{aligned} \quad (9a)$$

$$\begin{aligned} &l_x = \Delta x_j, \quad l_y = \Delta y_i, \quad l_z = \Delta z_k; \\ &A_x = (b_b \cdot \rho_n)'_{ij-1,k}; \quad A_y = (b_b \cdot \rho_n)'_{i-1,j,k}; \quad A_z = (b_b \cdot \rho_n)'_{ij,k-1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{при } U_{x_{i,j,k}} < 0; U_{y_{i,j,k}} < 0; U_{z_{i,j,k}} < 0; \\ &B_x = \frac{A_x}{\Delta x_{j+1}}; \quad B_y = \frac{A_y}{\Delta x_{i+1}}; \quad B_z = \frac{A_z}{\Delta x_{k+1}}; \end{aligned} \quad (9б)$$

$$\begin{aligned} &l_x = \Delta x_{j+1}, \quad l_y = \Delta y_{i+1}, \quad l_z = \Delta z_{k+1}; \\ &A_x = (b_b \cdot \rho_n)'_{ij+1,k}; \quad A_y = (b_b \cdot \rho_n)'_{i+1,j,k}; \quad A_z = (b_b \cdot \rho_n)'_{ij,k+1}; \end{aligned}$$

В уравнениях (5)–(9): знак «прим» обозначает принадлежность какой-либо сеточной функции к моменту времени $t + \Delta t$, где Δt – шаг по времени; Δx , Δy и Δz – размеры ячеек пространственной разностной сетки; индексы « i, j, k » обозначают принадлежность к узлу разностной сетки, а также порядковый номер этого узла.

Решение системы разностных уравнений (5)–(8) осуществляется по следующему алгоритму:

1. По уравнению (6) отыскивается количественное распределение водяного пара в поровом воздухе.

2. Найденное значение плотности водяного пара в поровом воздухе на момент времени $t + \Delta t$ сопоставляется с упругостью насыщения $\rho_{e_{i,j,k}}$ при данной температуре $T'_{i,j,k}$. При этом для узлов разностной сетки, плотность водяного пара в которых достигла упругости насыщения, принимается условие $\rho'_{n_{i,j,k}} = \rho_{e_{i,j,k}}$. Т. е. плотность водяного пара в этих узлах принимается равной упругости насыщения при данной температуре воздуха $T'_{i,j,k}$, а весь «лишний» пар, вносимый в указанные узлы конвекцией, будет выпадать на камни в виде конденсата – сублимационного льда (при $T'_{i,j,k} < 0$) или воды (при $T'_{i,j,k} \geq 0$). Источник водяного пара при сублимации и конденсации будет определяться зависимостью (7). Далее по условию (4) определяется источник льда или воды, и по зависимости (5) вычисляется насыщенность пор наброски льдом или водой на момент времени $t + \Delta t$. Условие $\rho'_{n_{i,j,k}} = \rho_{e_{i,j,k}}$ для указанных узлов будет справедливо до тех пор, пока значения насыщенности пор наброски льдом или водой, определенные по зависимостям (5), не достигнут своих максимальных значений – единицы.

3. Для тех узлов, в которых величина плотности водяного пара не достигла упругости насыщения, отыскиваются величины источников испарения воды или возгонки льда по уравнению [1]:

$$I_{n_{i,j,k}}^{H(B)} = \omega_{i,j,k} \cdot 0,387 \frac{1 + 1,015 \cdot 10^{-2} \cdot T'_{i,j,k}}{\frac{\rho'_{b_{i,j,k}}}{\rho_{e_{i,j,k}} - \rho'_{n_{i,j,k}}} + 0,5} \cdot \frac{(\rho_b \cdot U)_{i,j,k}^{0,86}}{d_{i,j,k}^{0,14}}, \quad (10)$$

где ω – удельная поверхность поровых каналов в наброске, определяемая с учетом занятости их льдом как водой, m^2/m ; d – средний диаметр камней, м.

4. Далее по зависимости (5) вновь определяется насыщенность пор наброски льдом или водой, источник льда или воды при этом определяется из условия (4). Поскольку источник пара при испарении-возгонке имеет положительное значение,

то источник воды или льда согласно условию (4) будет иметь отрицательное значение, т. е. количество льда или воды в порах при возгонке или испарении будет уменьшаться.

5. Значение плотности водяного пара после определения источника пара $I_n^{И(В)}$ пересчитывается по уравнению (8). Причем зависимость (8) справедлива до тех пор, пока существуют источники $I_n^{И(В)}$, а последние будут иметь место до тех пор, пока определяемые по зависимости (5) насыщенности пор льдом или водой не достигнут своих крайних значений – нуля, или до тех пор, пока величина плотности водяного пара, определяемая по уравнению (8), не достигнет упругости насыщения.

Для проверки работоспособности вышеописанной математической модели процессов образования и длительного накопления сублимационного льда в порах наброски автором было выполнено моделирование температурно-криогенного режима модели низовой призмы каменной плотины из щебня, подвергнутой экспериментальным исследованиям в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений доцентом ННГАСУ В. А. Ждановым [4].

В этих экспериментах призма после длительного нахождения в морозильной камере при температуре минус 19°C выдвигалась в камеру теплого (плюс 18°C) и влажного (относительная влажность 47 %) воздуха. С помощью вытяжного вентилятора, вытягивающего воздух из призмы через ее гребень, в призме создавалась вынужденная конвекция влажного воздуха, что вызывало нагревание призмы и образование сублимационного льда в порах наброски. В течение 67 минут (после выдвигания модели из морозильной камеры и включения вентилятора) проводились замеры температуры в фиксированных точках модели (см. рис. 2). Некоторые хронологические графики изменения замеренной в экспериментах температуры, заимствованные из [4], приведены на рис. 1. Эксперимент был повторен дважды, при этом осуществлялась разборка модели для визуального наблюдения за образованием сублимационного льда в порах наброски.

В результате моделирования температурно-криогенного режима модели призмы для условий вышеописанного эксперимента с применением авторской программы NORD [1], реализующей вышеописанную модель процессов льдообразования, были получены хронологические графики изменения температуры порового воздуха и скелета наброски в тех же фиксированных точках модели (см. рис. 1), а также криогенные изополя в различные моменты времени (см. рис. 2).

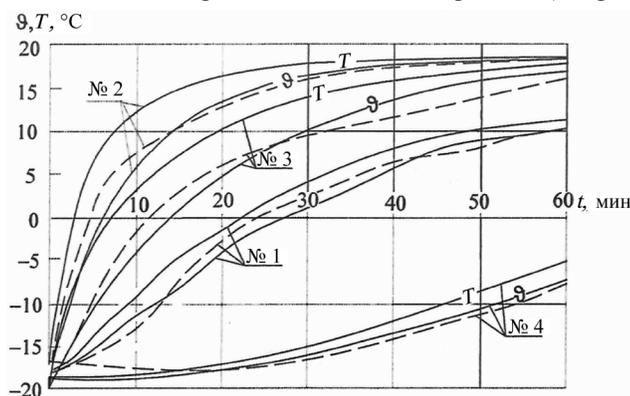


Рис. 1. Хронологические графики температуры в фиксированных точках № 1–4 модели низовой призмы: вычисленная температура порового воздуха T и скелета наброски θ (—); температура, замеренная в экспериментах (----)

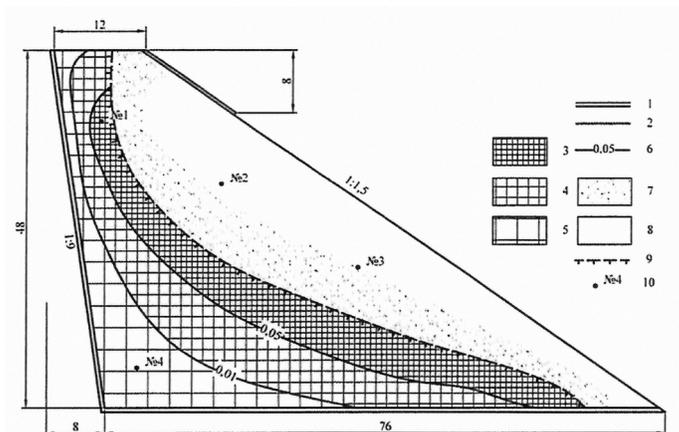


Рис. 2. Криогенное изополе в модели низовой призмы в момент времени $t = 24$ мин по результатам моделирования: 1 – теплоизолированные, воздухонепроницаемые границы; 2 – воздухопроницаемые границы; 3–5 – зоны льдосодержащей наброски с заполнением пор на 5–20, 1–5 и менее 1 %; 6 – изоайсы (линии равной льдонасыщенности, выраженной в долях единицы); 7 – зона влажной наброски (зона испарения – конденсации); 8 – зона сухой наброски; 9 – линия раздела между талой и мерзлой наброской; 10 – точки замера температуры в экспериментах [4]

Анализ полученных результатов моделирования и сопоставление их с результатами экспериментальных исследований позволили сделать следующие выводы:

1. Характер изменения температуры в различных точках призмы, установленный расчетом, достаточно хорошо согласуется с экспериментальными данными (рис. 1). Наибольшее расхождение между вычисленными и измеренными температурами не превышает 12 % (за 100 % принята разность между температурой окружающего воздуха +18 °С и первоначальной температурой щебня минус 19 °С).

2. Характер образования и накопления сублимационного льда в порах, выявленный расчетами, также достаточно близко соответствует результатам эксперимента. Наиболее интенсивно эти процессы происходили вблизи границы между мерзлой и талой зонами наброски (рис. 2). Максимальное заполнение пор наброски льдом достигало 25–30 %, что также соответствует результатам экспериментов [4].

3. Качественное и количественное соответствие результатов расчетов и экспериментов подтверждает правильность и надежность разработанного метода численного учета образования и накопления сублимационного льда в каменной наброске и дает основание рекомендовать этот метод для теплотехнических расчетов каменно-земляных и каменно-набросных плотин в суровых климатических условиях криолитозоны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горохов, Е. Н. Теория и метод расчета температурно-криогенного режима плотин из каменной наброски в криолитозоне / Е. Н. Горохов // Известия вузов. Сер. «Строительство». – 2005. – № 9. – С. 32–39.
2. Горохов, Е. Н. Математическая модель фазовых превращений поровой влаги в каменной наброске / Е. Н. Горохов // Сборник научных трудов Горьковского института инженеров водного транспорта. – Горький, 1989. – Вып. 245. – С. 108–127.
3. Матвеев, Л. Г. Основы общей метеорологии / Л. Г. Матвеев. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1965. – 806 с.



4. Жданов, В. А. Условия моделирования процессов тепло- и массопереноса в низовой призме каменнонабросной плотины в случае вынужденной конвекции / В. А. Жданов // Труды ГИСИ им. В. П. Чкалова. – Горький, 1973. – Вып. 63. – С. 37–42.

GOROKHOV Evgeny Nikolaevich, doctor of technical sciences, associate professor, holder of the chair of bases, foundations and engineering geology

MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESSES OF FORMATION AND LONG-TERM ACCUMULATION OF SUBLIMATION ICE IN PORES OF ROCK-FILL DAMS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St, Nizhny Novgorod, 603950, Russia.
Tel./fax: +7 (831) 430-54-94; e-mail: nn-oif@yandex.ru

Key words: rock-fill dams, cryolithozone, aggregate transformations of steam moisture, enrockment, temperature-filtration regime.

The article offers a numerical method for recording formation and prolonged accumulation of sublimation ice in pores of enrockment in three-dimensional conditions. The method is based on a finite-difference analysis of the enrockment temperature-humidity state. It permits to determine saturation of enrockment pores with ice at different times, taking into account the processes of condensation and sublimation of water vapor contained in the pore air, pore ice sublimation and thawing, water evaporation and freezing.

REFERENCES

1. Gorokhov E. N. Teoriya i metod raschyota temperaturno-kriogenного rezhima plotin iz kamennoy nabroski v kriolithozone [Theory and method of calculating the temperature-cryogenic regime of rock-fill dams in the cryolithozone]. Izvestiya vuzov. Ser. Stroitelstvo [News of higher educational institutions. Construction]. 2005. № 9. P. 32–39.

2. Gorokhov E. N. Matematicheskaya model fazovykh prevrascheniy porovoy vlagi v kamennoy nabroske [Mathematical model of phase transformations of pore moisture in enrockment]. Sbornik nauchnykh trudov Gorkovskogo instituta inzhenerov vodnogo transporta [Collected science works. of Gorky Institute of Water Transport Engineers]. Gorky, 1989. Vyp. 245. P. 108–127.

3. Matveev L. G. Osnovy obschey meteorologii [Fundamentals of general meteorology]. Leningrad. Gidrometeoizdat, 1965. 806 p.

4. Zhdanov V. A. Usloviya modelirovaniya protsessov teplo- i massoperenosa v nizovoy prizme kamennonabrosnoy plotiny v sluchae vynuzhdennoy konveksii [Conditions for modeling the processes of heat and mass transfer in the lower prism of a rock-fill dam in the case of forced convection]. Trudy GISI im. V. P. Chkalov [Works of GISI named after V. P. Chkalov]. Gorky, 1973. Vyp. 63. P. 37–42.

© **Е. Н. Горохов, 2018**

Получено: 20.01.2018 г.



УДК 550.34:627

Л. П. КОГАН¹, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры общей физики и теоретической механики; В. Б. ШТЕНБЕРГ¹, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры общей физики и теоретической механики; О. В. ПОДЧИЩАЕВА², канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры информационных технологий в финансово-кредитной сфере

О ВОЗМОЖНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ ПО УМЕНЬШЕНИЮ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-55-02;
эл. почта: L_kog@list.ru, k_ofm@nngasu.ru

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского»

Россия, 603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, д. 23. Тел.: (831) 430-48-33

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, режим работы, землетрясения, поиск предвестников.

Предлагается способ уменьшения сейсмической нагрузки на гидротехнические сооружения при землетрясениях высокой магнитуды, основанный на изменении режима эксплуатации объекта. Алгоритм принятия решения о подобном рода действиях основан на выявлении процесса начала «финальной подготовки» предстоящего вскоре сильного землетрясения. Приводится теоретическое доказательство значительной вероятности изменения в течение соответствующего периода времени фазы характеристической функции, отвечающей циклу измерений физической величины, потенциально содержащей информацию о предвестнике такого тектонического события. Проводится тестирование полученных результатов на примере многолетних данных по критической частоте ионосферы для Камчатского региона.

Введение

При расчете сейсмической нагрузки, способной воздействовать на гидротехнические сооружения (ГТС), ее максимальное расчетное значение принимается прямо пропорционально глубине воды у сооружения [1–6].

Предлагается алгоритм расчета момента времени, когда вероятность возникновения предстоящего вскоре землетрясения высокой магнитуды оказывается близкой к единице. Знание информации такого рода позволяет проводить частичный сброс уровня водной массы, подпираемой гидротехническим сооружением, тем самым уменьшая возможное сейсмическое действие на объекты ГТС и продлевая их технологический ресурс.

Поиск непосредственных предвестников сильных тектонических событий является актуальной задачей сейсмологии. Предлагается методика выявления предвестников, основанная на исследовании статистики значений характеристической функции, рассчитываемой по измерениям, проводимым в сейсмически активных регионах.

Рассматривается следующая модель процесса. После длительного, включающего годы и десятилетия процесса подготовки крупного землетрясения [7, 8] начинается период его «финальной подготовки» [9]. Первым проявлением перехода к такому этапу, как предполагается, становятся отдельные кратковременные



импульсы сильного сжатия литосферных плит в районе предстоящего события, сопровождаемые, вполне возможно, землетрясениями умеренной магнитуды. Полагаем, что эти импульсы с большой вероятностью отстоят друг от друга как минимум на несколько суток, а от собственно момента крупного землетрясения – на относительно протяженный (порядка хотя бы одной или нескольких недель) промежуток времени. Каждый такой импульс с высокой вероятностью должен вызывать возмущение физических полей, измеряемых в области подготовки будущего землетрясения. В настоящей работе проводится обоснование методики вычисления вероятности связи такого рода возмущений с подготовкой предстоящих в ограниченном интервале времени значительных сейсмических явлений и оценка среднего количества подобных импульсов, приходящихся на одно землетрясение высокой магнитуды. Это позволит сформулировать алгоритм определения отрезка времени, в течение которого желательно минимизировать высоту воды, воздействующей на ГТС.

Обоснование методики расчетов

Как и в работе [10], предполагается, что физические поля, измеряемые с целью выявления предвестников землетрясений, в достаточно большом числе случаев могут быть записаны в следующем виде:

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t). \quad (1)$$

Здесь случайный процесс $x_1(t)$ является фоновым шумом, включая малые землетрясения, а случайный процесс $x_2(t)$ – в среднем малое по сравнению с $x_1(t)$ и вероятностно независимое от него слагаемое, которое в статистически значимом числе случаев связано с непосредственной подготовкой предстоящего вскоре сильного тектонического события. В виде пояснения отметим, что в последнем случае физические явления, вызывающие $x_2(t)$ и порождаемые сверхвысоким механическим напряжением литосферных плит, приводящим к возникновению сети разрывов между ослабленными блоками земной коры, имеют принципиально другую природу по сравнению с теми, что порождают $x_1(t)$. Поэтому считаем справедливой гипотезу о независимости этих двух случайных процессов.

Заметим, что процесс $x_2(t)$ в общем случае может порождаться и многими другими причинами, не связанными с подготовкой сильного землетрясения, вплоть до сбоев измерительной аппаратуры. Но, как будет показано далее, имеет место различие вероятностных свойств значений некоторых статистических функционалов, отвечающих измерениям физических полей и рассчитанных для сейсмически активных областей по сравнению с аналогичными функционалами, вычисленными по данным для тектонически спокойных регионов.

Определение плотности вероятности и характеристической функции для отрезков реализации рассматриваемых случайных процессов

Далее будем называть отдельными отрезками реализации указанных случайных процессов отвечающие им случайные функции на локальных временных интервалах; длительность таких интервалов полагаем одинаковой. Разобьем область значений $[x_{\min}, x_{\max}]$, соответствующую заданному отрезку реализации случайного процесса $x(t)$, где границы являются минимумом и максимумом значений случайной величины (СВ) $x = x(t)$, на этом отрезке, на $N_0 \gg 1$ интервалов с одинаковой длиной Δ :

$$\Delta = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{N_0}. \quad (2)$$



Величина N_0 будет определена далее по результатам численного счета. Сопоставим СВ x и ω , равную номеру m интервала с границами, в который попадает полученное при измерениях значение x

$$x_{\min} + m\Delta \leq x \leq x_{\min} + (m + 1)\Delta; \quad 0 \leq m \leq N_0 - 1. \quad (3)$$

Соответствующая плотность вероятности $\rho(\omega)$ может быть записана в следующем виде:

$$\rho(\omega) = \sum_{m=0}^{N_0-1} P_m \delta(\omega - m), \quad (4)$$

где P_m – вероятность попадания значения x в интервал (3) номер m (очевидно

$$\sum_{m=0}^{N_0-1} P_m = 1), \text{ а } \delta(\omega - m) \text{ – дельта-функция Дирака.}$$

По аналогии определим плотности вероятности $\rho_{1,2}(\omega)$ для значений случайных процессов $x_{1,2}(t)$:

$$\rho_1(\omega) = \sum_{m=0}^{N_0-1} P_{m,1} \delta(\omega - m), \quad \rho_2(\omega) = \sum_{m=0}^{N_0-1} P_{m,2} \delta(\omega - m), \quad (5)$$

где $P_{m,1}$ и $P_{m,2}$ – вероятности попадания в интервалы вида (3) значений СВ x_1 и x_2 , вычисленные по аналогии с P_m при замене x_{\min} на $x_{\{1,2\}, \min} = \min\{x_{1,2}\}$, выполнении условия $\max\{x_{1,2}\} \leq N_0 \Delta$ и сохранении величины интервала разбиения Δ той же, что и в (2). Соответствующие отрезки реализации каждый раз относятся к тому же промежутку времени, на котором проводятся измерения процесса $x(t)$.

Отметим, что эмпирически определяемые зависимости $\rho(\omega)$ и $\rho_{1,2}(\omega)$ отвечают измерениям в течение конечного интервала времени, поэтому они являются случайными функциями от ω , изменяющимися при смене отрезка реализации. Это же свойство относится к значениям введенных далее функционалов от этих функций.

Согласно гипотезе о независимости СВ x_1 и x_2 , получаем:

$$\rho(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \rho_1(\omega - \omega') \rho_2(\omega') d\omega'. \quad (6)$$

Запишем выражение для характеристической функции, отвечающей ансамблю значений случайной величины x , измеренных на соответствующем отрезке реализации:

$$L(p) = \int_{-\infty}^{+\infty} \rho(\omega) \exp(ip\omega) d\omega = \sum_{m=0}^{N_0-1} P_m \exp(ip\omega) \quad (7)$$

и по аналогии определим характеристические функции $L_{1,2}(p)$ для СВ $x_{1,2}$. Тогда, с учетом (6) имеем:

$$L(p) = L_1(p)L_2(p). \quad (8)$$

Далее полагаем, что в формуле (8) аргумент $p = \pi - \tau$ где $\tau = \frac{\pi}{N_0}$. В этом случае, обозначая $\theta = L_2(\pi - \tau)$ получаем:

$$L(\pi - \tau) = L_1(\pi - \tau)\theta, \quad \theta = \sum_{m=0}^{N_0-1} P_{m,2} (-1)^m \exp(-im\tau). \quad (9)$$

Очевидно, что при $x_2(t) \neq 0$ модуль комплексной СВ $\theta = |\theta| \exp(i\Phi_0)$ может быть отличен от единицы, а вещественная фаза $\Phi_0 = \text{Arg}[L_2(\pi - \tau)] = \text{Arg}(\theta)$ – от нуля.

Изменение свойств значений характеристической функции, отвечающей случайному процессу $x(t)$ при возникновении предтектонического состояния

Как было указано ранее, целью настоящей работы является поиск самых первых признаков «финальной подготовки» предстоящего вскоре сильного землетрясения. Их выявление даст возможность принять решение о желательности частичного сброса уровня воды, воздействующей на соответствующее гидротехническое сооружение. Полагаем, что временной интервал дискретизации (то есть промежу-



ток времени между двумя последовательными измерениями значений случайного процесса $x(t)$ для всех циклов измерений составляет μ , и при этом в ходе каждого такого цикла фиксируется одно и то же число значений таких интервалов продолжительностью μ .

Согласно введенной гипотезе завершающая фаза процесса такой подготовки с высокой вероятностью начинается с одного или нескольких сильных, но небольших по длительности и разнесенных по времени импульсов сжатия земной коры в районе предстоящего разлома. Будем называть такие сжатия «предтектоническими состояниями» (ПС). Представляется разумным предположение, из которого исходим далее при проведении расчетов, что за некоторый период времени до крупного тектонического события на протяжении цикла измерений будет с высокой вероятностью фиксироваться не более одного ПС. При возникновении ПС, как следует из проведенных выше вычислений, фаза комплексной СВ $L(\pi - \tau)$ будет изменяться на величину Φ_0 , что должно привести к изменению статистики распределения значений $L(\pi - \tau)$ на комплексной плоскости.

Необходимо определить на этой плоскости область, попадание внутрь которой значений СВ $L(\pi - \tau)$ со статистически значимой вероятностью будет свидетельствовать о возникновении во время цикла измерений предтектонического состояния геофизической системы в соответствующем регионе мира. Отметим, что даже если время t_{eff} проявления возмущений физических полей, возникающих вследствие такого импульса, удовлетворяет условию

$$t_{eff} < \mu \quad (10)$$

и при этом в ходе измерительного цикла процесс $x_2(t)$ фиксируется только на одном временном интервале дискретизации протяженностью μ , то и в этом случае фаза $\text{Arg}(\Theta)$ случайной величины Θ будет с высокой вероятностью отлична от нуля. Действительно, соответствующее значение случайной величины x_2 попадает в интервал разбиения $x_{2,\min} + m\Delta \leq x \leq x_{2,\min} + (m + 1)\Delta$, где $0 \leq m \leq N_0 - 1$, с некоторым номером $m = m_0$. Следовательно, для рассматриваемого отрезка реализации получаем: $P_{m,2} = \delta_{m,m_0}$, где δ_{m,m_0} – символ Кронекера. Поэтому $\theta = (-1)^{m_0} \exp(-im_0\tau)$, см. (9). Очевидно, что в данном случае существование процесса $x_2(t)$ приводит с точностью до отбрасывания целого количества значений 2π к изменению фазы Фурье-образа $L(\pi - \tau) = L_1(\pi - \tau)\theta$ на величину $\Phi_0 = \pi - m_0\tau$ при нечетных m_0 и на $\Phi_0 = -m_0\tau$ – при четных значениях индекса m_0 .

Модуль $|L(\pi - \tau)|$ при этом не изменяется, оставаясь равным $|L(\pi - \tau)|$.

Рассмотрим свойства угла $\Phi_0 = \text{Arg}[L_2(\pi - \tau)]$. Пусть процесс $x_2(t)$ отсутствует на данном отрезке реализации, следовательно

$$L(\pi - \tau) = L_1(\pi - \tau) = S_1 + iS_2,$$

$$\text{где } S_1 = \sum_{m=0}^{N_0-1} P_{m,1} (-1)^m \cos(m\tau), \quad S_2 = \sum_{m=0}^{N_0-1} P_{m,1} (-1)^m \sin(m\tau),$$

При проведении численного счета количество измерений в ходе одного измерительного цикла с точностью до единицы, равное числу интервалов дискретизации, принимаем несколько меньшим, чем число N_0 интервалов разбиения (3) области значений СВ x . Полагаем, что длительность временного интервала дискретизации достаточно велика для того, чтобы измеренные величины $x_1(t)$ и $x_2(t + \mu)$ существенно отличались. В этом случае попадание соответствующих значений СВ $x = x_1(t)$ в интервалы разбиения (3), обладающие разными номерами m , с высокой вероятностью отвечает измерениям, которые оказываются равновероятно разнесены в пределах времени всего соответствующего измерительного цикла. Поэтому для



каждого цикла измерений вероятности $P_{m',1}$ и $P_{m'',1}$, см. (5), при $m' \neq m''$ можем считать независимыми случайными величинами. Следовательно, при усреднении по ансамблю отрезков реализации получаем, что средние значения $\langle S_{1,2} \rangle = 0$, с учетом чего соответствующие дисперсии определяются в виде

$$\sigma_{S_1}^2 = \sum_{m=0}^{N_0-1} \langle P_{m,1}^2 \rangle \cos^2(m\tau) \text{ и } \sigma_{S_2}^2 = \sum_{m=0}^{N_0-1} \langle P_{m,1}^2 \rangle \sin^2(m\tau).$$

Очевидно, что $\sigma_{S_1}^2 \approx \sigma_{S_2}^2 \approx 1/2 \sum_{m=0}^{N_0-1} \langle P_{m,1}^2 \rangle$. Поэтому можем полагать, что при отсутствии процесса $x_2(t)$ угол Φ с наибольшей вероятностью принимает значения из следующих интервалов:

$$|\Phi| \lesssim \operatorname{arctg} \left(\frac{\sigma_{S_2}}{\sigma_{S_1}} \right) \approx \frac{\pi}{4}, \quad |\pi - \Phi| \leq \frac{\pi}{4}. \quad (11)$$

Таким образом, из (11) и проведенных вычислений следует, что при отсутствии процесса $x_2(t)$ мала вероятность попадания значений комплексной СВ $L = |L| \exp(i\Phi)$ в некоторую, состоящую из двух отдельных сегментов часть комплексной плоскости (обозначим данную «запретную область» как Ω), расположенную вне угловых секторов из (11) и определяемую следующими условиями:

$$\Phi \in \left[\frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{3} \right] \cup \left[\frac{4\pi}{3}, \frac{5\pi}{3} \right]; \quad |L(\pi - \tau)| \geq \langle |L(\pi - \tau)| \rangle \quad (12)$$

где $\langle |L(\pi - \tau)| \rangle$ – среднее значение модуля СВ $L(\pi - \tau)$; здесь и далее угловые скобки означают усреднение по ансамблю отрезков реализации. Следовательно, попадание значения $L(\pi - \tau)$ в эту область со статистически значимой вероятностью может рассматриваться как индикатор возникновения ПС во время цикла измерений.

Отметим, что последнее соотношение в (12) связано с тем, что попадание комплексной СВ $L(\pi - \tau)$ в круг радиусом, значительно меньшим $\langle |L(\pi - \tau)| \rangle$, может быть связано с возникновением независимого от фонового шума $x_1(t)$ случайного процесса $x_2(t)$, для которого нарушается условие (10). При этом, как несложно понять, размер существенной зоны распределения $\rho_2(\omega)$ составит не менее нескольких единиц Δ , и в сумме (9) будут присутствовать также несколько слагаемых с ненулевыми значениями коэффициентов $P_{m,2}$. Их значения с большой вероятностью будут соизмеримыми по модулю и при этом попадающими в разные по четности интервалы (3), то есть противоположными по знаку (с учетом наличия в (9) множителя $(-1)^m$). Поэтому модуль θ в большинстве случаев будет значительно меньше единицы и, что более существенно, распределение угла Φ_θ станет близко к равномерному. Соответствующие значения случайной величины $L(\pi - \tau)$ окажутся расположены в круге с радиусом, существенно меньшим $\langle |L(\pi - \tau)| \rangle$. Сюда же попадут значения указанной СВ, отвечающие процессам $x_1(t)$ различной природы с широким вероятностным распределением, на фоне которых будет крайне сложно выделить точки, отвечающие ПС. Именно с этим обстоятельством связано рассматриваемое условие, налагаемое в (12) на $|L(\pi - \tau)|$. Разумеется, в совокупности с (10) это ограничение в итоге приводит к тому, что полученные далее результаты могут рассматриваться только как оценки по минимуму для количества предтектонических состояний.

В итоге на основании проведенных в этом разделе вычислений приходим к выводу, что попадание значений СВ $L(\pi - \tau)$ в «запретную область» Ω на плоскости комплексной переменной $L = \operatorname{Re}(L(\pi - \tau)) + i\operatorname{Im}(L(\pi - \tau))$ со статистически значимой вероятностью может указывать на то, что на протяжении измерительного цикла имело место ПС. Далее, с целью определения числа ПС, после фиксации которого следует принимать решение о понижении уровня воды, подпирающей ГТС, будет проведена апробация полученных результатов на основе численных расчетов.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП II - 7-81*. Строительство в сейсмических районах : строит. нормы и правила : утв. Госстроем СССР 15.06.1981: [ред. от 27.12.1999] : взамен гл. СНиП II-A 12-69* : дата введ. 01.01.1982. – Москва : Госстрой России : ГУП ЦПП, 2000.
2. СП 23.13330.2011. Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85* : строит. нормы и правила : утв. М-вом регион. развития Рос. Федерации 28.12.2010 : дата введ. 20.05.2011. – Москва : Минрегион России, 2011.
3. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов». Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84* : строит. нормы и правила : утв. М-вом регион. развития Рос. Федерации 29.12.2011 : дата введ. 01.01.2013. – Москва : Минрегион России, 2011.
4. СП 40.13330.2012. Плотины бетонные и железобетонные. Актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85* : строит. нормы и правила : утв. М-вом регион. развития Рос. Федерации 29.12.2011 : дата введ. 01.01.2013. – Москва : Минрегион России, 2011.
5. СНиП 2.06.01-86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования [Электронный ресурс] : строит. нормы и правила : утв. Госстроем СССР 28.05.1986 : [ред. от 01.11.1988] : взамен СНиП II-50-74, СНиП II-51-74 : дата введ. 01.07.1987. – Режим доступа : КонсультантПлюс. Технические нормы и правила. Строительство.
6. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик : строит. нормы и правила : утв. Госстроем СССР 15.07.1983 : взамен СН 435-72 : дата введ. 01.07.1984. – Москва : Госстрой России : ГУП ЦПП, 1998.
7. Dobrovolsky, I. P. Estimation of the size of earthquake preparation zone / I. P. Dobrovolsky, S. I. Zubkov, V. I. Myachkin // *Pure and Applied Geophysics*. – 1979. – Vol. 117. – P. 1025–1044.
8. Thermal, Atmospheric and ionospheric Anomalies Around the Time of the Colima M7.8 Earthquake of 21 January 2003 / S. A. Pulinetz, D. Ouzounov, L. Cirao Io [et al.] // *Annales Geophysicae*. –2006. – Vol. 24. – P. 835–849.
9. Единая концепция обнаружения признаков подготовки сильного землетрясения в комплексной системе Литосфера-Атмосфера-Ионосфера-Магнитосфера / С. А. Пулинец, Д. Узунов, А. В. Карелин, К. А. Боярчук, А. В. Тertyшников, И. А. Юдин // *Космонавтика и ракетостроение*. – 2012. – № 3 (68). – С. 135–146.
10. Коган, Л. П. Изменение статистических функционалов от критической частоты слоя F2 ионосферы перед сильными землетрясениями / Л. П. Коган // *Геомagnetизм и аэрoнoмия*. – 2015. – Т. 55, № 4. – С. 525–539.

KOGAN¹ Lev Petrovich, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair of common physics and theoretical mechanics; SHTENBERG¹ Valeriya Borisovna, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair of common physics and theoretical mechanics; PODCHISCHAEVA² Olga Vyacheslavovna, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair of information technologies in the financial and credit sphere

POSSIBLE OPERATIONAL ACTIVITIES FOR REDUCING SEISMIC IMPACTS ON HYDRAULIC STRUCTURES

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-55-02;
e-mail: L_kog@list.ru, k_ofm@nngasu.ru

²Lobachevsky Nizhny Novgorod State University
23, Gagarin St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-48-33

Key words: hydraulic systems, mode of operation, earthquakes, search for precursors.



The article offers a way to reduce seismic load on hydraulic structures during high magnitude earthquakes based on the change of the object operation mode. The algorithm of making decision to undertake actions of this kind is based on identifying the process of the beginning of the "final preparation" of a coming soon strong earthquake. A theoretical proof is given for a significant probability of a change during a corresponding period of time of the phase of a characteristic function corresponding to a measurement cycle of a physical quantity potentially containing information about a precursor of such a tectonic event. The testing of the obtained results is conducted by the example of data on the critical frequency of the ionosphere for the Kamchatka region.

REFERENCES

1. SNiP II - 7-81* Stroitelstvo v seismicheskikh rayonakh [Construction in seismic regions]: stroit. normy i pravila, utv. Gosstroem SSSR 15.06.1981, red. ot 27.12.1999, vzamen gl. SNiP II-A 12-69*, data vved. 01.01.1982. Moscow. Gosstroy Rossii, GUP TsPP, 2000.
2. SP 23.13330.2011. Osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Foundations of waterworks]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.02-85*: stroit. normy i pravila, utv. M-vom region. razvitiya Ros. Federatsii 28.12.2010, data vved. 20.05.2011. Moscow. Minregion Rossii, 2011.
3. SP 39.13330.2012. Plotiny iz gruntovykh materialov [Dams of earth materials]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.06.05-84*: stroit. normy i pravila, utv. M-vom region. razvitiya Ros. Federatsii 29.12.2011, data vved. 01.01.2013. Moscow. Minregion Rossii, 2011.
4. SP 40.13330.2012. Plotiny betonnye i zhelezobetonnye [Concrete and reinforced concrete dams]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.06.06-85*: stroit. normy i pravila, utv. M-vom region. razvitiya Ros. Federatsii 29.12.2011, data vved. 01.01.2013. Moscow. Minregion Rossii, 2011.
5. SNiP 2.06.01-86 Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Osnovnye polozheniya proektirovaniya [Waterworks. Fundamentals of designing]. [Elektronnyy resurs]: stroit. normy i pravila, utv. Gosstroem SSSR 28.05.1986, red. ot 01.11.1988, vzamen SNiP II-50-74, SNiP II-51-74, data vved. 01.07.1987. Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Tekhnicheskie normy i pravila. Stroitelstvo.
6. SNiP 2.01.14-83. Opredelenie paschyotnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Determination of design hydrological characteristics]: stroit. normy i pravila, utv. Gosstroem SSSR 15.07.1983, vzamen SN 435-72, data vved. 01.07.1984. Moscow. Gosstroy Rossii. GUP TsPP, 1998.
7. Dobrovolsky I. P., Zubkov S. I., Myachkin V. I. Estimation of the size of earthquake preparation zone. *PuRe and Applied Geophysics*. 1979. Vol. 117. P. 1025–1044.
8. Pulinets S. A., Ouzounov D., Cirao L. et al. Thermal, atmospheric and ionospheric anomalies around the time of the Colima M7.8 Earthquake of 21 January 2003 // *Annales Geophysicae*. Vol. 24. P. 835–849. 2006.
9. Pulinets S. A., Ouzounov D., Karelin A.V., Boyarchuk K. A., Tertushnikov A. V., Yudin I. A. Edinaya kontseptsiya obnaruzheniya priznakov podgotovki silnogo zemletryaseniya v kompleksnoy sisteme Litosfera-Atmosfera-Ionosfera-Magnitosfera [Unified concept of identifying signs of preparation of a strong earthquake in a complex system Litosphere-Atmosphere-Ionosphere-Magnitosphere]. *Kosmonavtika i raketostroenie* [Cosmonautics and Rocket Engineering]. № 3(68). P.135–146. 2012.
10. Kogan L. P. Izmenenie statisticheskikh funktsionalov ot kriticheskoy chastity sloya F2 ionosfery pered silnymi zemletryasenyami [Change in statistical functionals of critical frequency of ionosphere prior to strong earthquakes]. *Geomagnetizm i aeronomiya* [Geomagnetism and Aeronomy]. Vol. 55. № 4. 2015. P. 525–539.

© Л. П. Коган, В. Б. Штенберг, О. В. Подчищаева, 2018

Получено: 29.12.2017 г.

УДК 712:711.5

Е. В. КАЙДАЛОВА, канд. арх., доц., декан факультета архитектуры и дизайна;
О. А. ЛИСИНА, ст. преподаватель кафедры рисунка и живописи

**ПРИОРИТЕТ РАЗМЕЩЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ
НА ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83;
эл. почта: i_iag@nngasu.ru

Ключевые слова: город, парк, река, рекреация, прибрежная территория, экология.

Рассмотрены различные возможности использования прибрежных территорий в урбанизированной среде. Выявлены основные виды взаимоотношений города с прибрежной территорией в современной отечественной и зарубежной практике градостроительства. Обоснован приоритет создания рекреационных объектов в прибрежной зоне, исходя из их высокой социальной значимости, экологических условий и художественно-эстетической точки зрения. Как апробация оптимального подхода к архитектурной организации прибрежных территорий представлен опыт учебного проектирования в ННГАСУ.

Градостроительство прошло долгий эволюционный путь прежде чем на городских прибрежных территориях появились бульвары, скверы и парки. В данной статье рассмотрены различные возможности использования прибрежных территорий в урбанизированной среде с целью обосновать приоритет создания на них рекреационных объектов исходя из их высокой социальной значимости, экологических условий и художественно-эстетической точки зрения.

В современной отечественной и зарубежной практике градостроительства можно выделить несколько видов взаимоотношений «город – прибрежная территория». Рассмотрим основные.

1. Сохранение существующей, создание новой или воссоздание утраченной водной системы и использование прибрежной территории для рекреации

Примером представленного тезиса может служить *Приморский парк – бульвар в Баку* – многофункциональная зеленая набережная – излюбленное место отдыха и прогулок бакинцев и гостей города (рис. 1.1 цв. вклейки). Соседство с морем изначально играет огромную роль в ее создании и эксплуатации. В начале XX в. была благоустроена небольшая прибрежная территория. В 1950-е гг. длина Приморского бульвара составила 2,7 км. В 1960-е гг. реализован новый проект реконструкции Приморского бульвара. К столетнему юбилею парка была проведена генеральная реконструкция, территория увеличилась в пять раз. В парке открыли музыкальные фонтаны, отреставрировали аттракционы, рестораны, кафе, кинотеатр, детский театр и парашютную вышку. В 2014 г. в новой бульварной части Приморского национального парка состоялось открытие нового колеса обозрения. Протяженность парка на данный момент – 16 км. насыщенность объекта общественными зданиями, сооружениями, видовыми и тематическими площадками, т. е. многофункциональность, делает его привлекательным для всех социально-возрастных групп, местных жителей и гостей города [1].



Потребность защиты природы, восстановление водоемов и прибрежных территорий от вредного влияния городов и после промышленного использования в настоящее время стала насущной. Яркой иллюстрацией этой мысли является *Водно-болотный парк в Гонконге* (рис. 1.2 цв. вклейки). Он создан в 1996 г. с целью развития экологического туризма и сохранения водно-болотных угодий. Общая площадь парка – 61 га. Это экопарк мирового значения, в котором встречаются редчайшие представители флоры и фауны. Здесь ведется экологическое воспитание не только детей, но и взрослых. Туристический центр располагает выставочными залами, 3D-кинотеатром и игровой площадкой. Посетители парка ведут осмотр озер, протоков, мангровых и тростниковых зарослей, передвигаясь по экологическим тропам – деревянным настилам, приподнятым над землей и водой. Внутри парка размещаются выставочные галереи, театр, игровая площадка, сад бабочек и др. В заповеднике можно найти места, где гнездятся водоплавающие птицы. Наблюдение за обитателями парка ведется при помощи подзорных труб, установленных на смотровых площадках и павильонах. Парк решает сразу несколько важных задач: природоохранную, организации познавательного отдыха и обеспечения условий для научной деятельности [2].

В качестве примера создания практически новой водной системы можно рассматривать *водно-зеленый диаметр Минска* (рис. 1.3 цв. вклейки). Его композиционной осью является река Свислочь. Маленькая река не удовлетворяла рекреационные потребности столичного города. На ее основе в 1950–1970-е гг. был создан каскад водохранилищ, искусственная система с подкачкой воды из реки Вилии. Общая протяженность системы составила около 40 км. Всего на территории водно-зеленого диаметра теперь расположено более 20 зеленых зон. На этой территории произрастает более 200 видов растений и обитает не менее 200 видов птиц, из них более 20 видов растений – редкие для городской среды и 10 видов птиц, занесенных в Красную книгу. В городе создана экосистема, где природа поддерживает себя сама и помогает человеку. Это сплошной продольный парк и коридор проветривания. По мнению специалистов, водно-зеленый диаметр Минска является уникальным градостроительным и ландшафтно-рекреационным комплексом [3].

Воссоздание утраченной водной системы и использование прибрежной территории для рекреации рассмотрим на примере *реки Чхонгечхон* в Сеуле (рис. 1.4 цв. вклейки). В середине XX в. реку забетонировали и превратили в автотрассу. К концу XX в. Сеул нельзя было назвать зеленым городом, при этом в обществе формировался запрос на счастливое урбанистическое будущее. Власти решили вернуть воду жителям и сделать из загазованного района центр активности. Два года длились раскопки и преобразования реки. Для связи берегов разработали системы навесных мостов и подземных переходов. Вдоль реки восстановили пешеходную зону, которую поделили на несколько тематических маршрутов. Природную проблему наполняемости реки решили за счет подачи воды из реки Ханган насосами. По сторонам набережной тянутся двухполосные дороги. Автобусные маршруты повторяют траекторию времен магистрали. Важной частью транспортной реформы стало ограничение количества автомобилей в центре. Давление на центр города снизилось: жители на 3 % активнее стали пользоваться метро и на 15 % – автобусами. Экономически река стимулировала деловую активность в окрестностях: число точек бизнеса возросло на 3,5 %, а стоимость земли выросла почти в половину. Река и зеленые насаждения повлияли на климатические условия в центре города. Жители активнее стали селиться в этом районе из-за благоприятной экологической ситуации [4].

**К СТАТЬЕ Е. В. КАЙДАЛОВОЙ
«ПРИОРИТЕТ РАЗМЕЩЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ»
1. Сохранение существующей, создание новой или воссоздание утраченной водной системы,
использование прибрежной территории для рекреации**

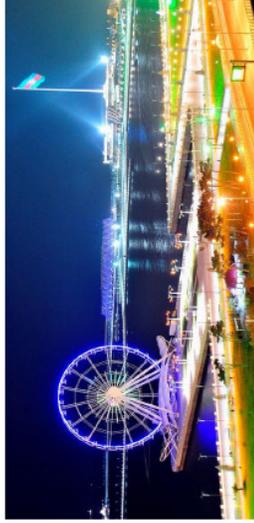


Рис. 1.1. Приморский парк-бульвар в Баку



Рис. 1.2. Водно-болотный парк в Гонконге



Рис. 1.3. Водно-зеленый диаметр Минска



Рис. 1.4. Река Чхонггечхон в Сеуле



2. Ликвидация водного объекта и использование территории для рекреации



Рис. 2. Сады реки Турия в Валенсии



3. Использование существующей акватории и прибрежной территории для хозяйственных нужд города

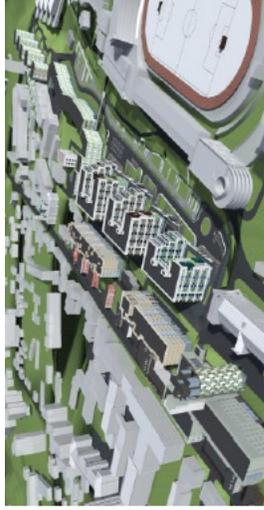


Рис. 1.2. Водно-болотный парк в Гонконге

4. Ликвидация водного объекта и использование территории для строительства и хозяйственных нужд города



Рис. 4. Почаинский овраг в Нижнем Новгороде



5. Отсутствие каких-либо действий по отношению к существующему объекту

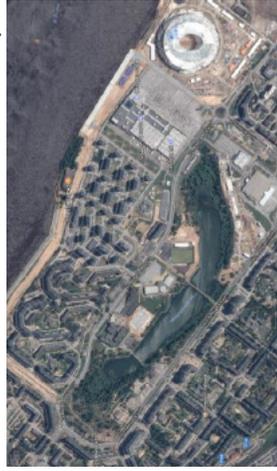


Рис. 5.1. Мешерское озеро в Нижнем Новгороде



Рис. 5.2. Овраг по ул. Лопатина в Нижнем Новгороде

6. Проектные предложения студентов ННГАСУ



Рис. 6.1. Многофункциональный парк по ул. Лопатина, курсовой проект Шумилкина Михаила, 5 курс

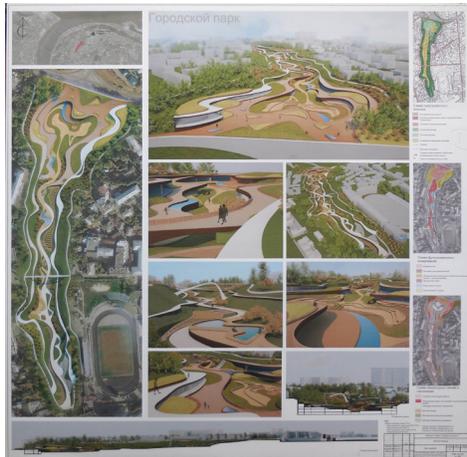


Рис. 6.2. Специализированный парк в Почаинском овраге, курсовой проект Назаровой Ольги, 4 курс



Рис. 6.3. Рекреационная зона «Мещерское озеро», дипломный проект (ВКР) Лисиной Ольги



Рис. 6.4. Лугопарк в Борской пойме, дипломный проект (ВКР(б)) Черненко Анастасии



Представленные факты наглядно демонстрируют состоятельность выбранного подхода в силу не только его экологической, но и социальной, а в отдельных случаях и экономической значимости.

2. Ликвидация водного объекта и использование территории для рекреации

Этот подход можно назвать псевдоэкологичным. К примеру, *сады реки Турия в Валенсии* – это 12-километровая полоса зелени в центре города, общей площадью 110 га (рис. 2 цв. вклейки). В 1957 г. Валенсия пережила трагический эпизод в своей истории – река Турия вышла из берегов, затопив практически весь город и унеся человеческие жизни. Власти города решили отвести русло реки от исторического центра. Работы были закончены в 1973 г. На очищенном месте в 1986 г. появился самый большой в Испании парк. Сады Турии представляют собой огромную зону культуры и отдыха, которая состоит из сложно скомпонованной зеленой парковой территории и монументальных сооружений, спортивных и игровых площадок, мест отдыха, озер, фонтанов и водопадов, мостов, пешеходных и велосипедных дорожек. В самом широком месте бывшего русла реки сейчас находится «Город Наук и Искусств», чуть выше «по течению» – скейт-парк и детский игровой парк, далее – Дворец музыки, спортивные сооружения, музеи, Ботанический сад. Завершают эспланаду Королевские сады и зоопарк [5].

Налицо высокие эстетические качества созданной среды для рекреации, а также высокая социальная значимость объекта.

3. Сохранение существующей акватории и использование прибрежной территории для различных нужд города

Под нуждами города в данном случае и далее подразумевается формирование селитебных территорий, объектов промышленности и транспортной инфраструктуры. В качестве примера рассмотрим *реки и каналы Бангкока*, которые используются как транспортные артерии и играют важную роль в водной транспортной сети мегаполиса (рис. 3 цв. вклейки). Практически всегда вплотную к воде подходят здания, сооружения, которые образуют сплошную каменную стену и исключают возможность создания набережной и озеленения. Для города характерна загазованная атмосфера и мутные, очень грязные воды рек и каналов.

В целом отмечается неэкологичность рассмотренного подхода, неэстетичность территорий и акваторий.

4. Ликвидация водного объекта и использование территории для хозяйственных нужд города

Этот тезис рассмотрим на примере реки Почайна в Нижнем Новгороде и оврага, по тальвегу которого она протекала. По личному указу императора Николая I в 1830–1840-е гг. в городе проводились преобразования по благоустройству, река Почайна была убрана в подземный коллектор. С тех пор овраг был зеленым островком в историческом центре города, однако, парком так и не стал. В настоящее время властями города принято решение засыпать овраг и застроить (рис. 4 цв. вклейки).

Налицо возможность получить единовременную или краткосрочную экономическую выгоду, не задумываясь об экологии крупнейшего города и дальнейшей перспективе.

5. Отсутствие каких-либо действий по отношению к существующему водному объекту и прибрежной территории – последний вид взаимоотношения города с прибрежной территорией

В полной мере это можно представить на примере *территории, окружающей памятник природы регионального значения «Мещерское озеро» в Нижнем Новгороде* (рис. 5.1 цв. вклейки). На протяжении нескольких десятилетий вокруг



запланированного, но необустроенного парка строятся микрорайоны. Еще в 1980-е гг. на берегах озера практически не было никакой растительности. Постепенно песчаные почвы стихийно заросли деревьями и кустарниками – ассортимент бедный, травостой несомкнутый, поскольку при строительстве микрорайонов в качестве насыпного грунта использовался речной песок, слой которого достигает 7–11 м. Можно сказать, что к настоящему времени в урбанизированной среде сформировался природный парк со скудной флорой, но достаточно богатой фауной. На озере кормятся занесенные в Красную книгу чайковые, большое количество диких уток, водится ондатра. В ивниках по берегам озера гнездятся обыкновенный соловей и др. птицы. Ихтиофауна насчитывает 10–12 видов. Озеро используется жителями микрорайонов как рекреационный объект. Берег замусорен, имеются кострища. Осенью 2017 г. начались работы по благоустройству территории [6].

Еще один пример самостоятельно формирующейся природной экосистемы в окружении города – *овраг по ул. Лопатина в Нижнем Новгороде* с прекрасными травостоями и небольшим количеством древесно-кустарниковой растительности (рис. 5.2 цв. вклейки). Этот овраг не единственный, а один из ряда аналогичных, которые выходят к речке Старка и образуют целую систему. Потенциально эта система могла бы стать развитым рекреационным объектом.

В подобных функционально и архитектурно нерешенных «парках» отсутствует сценарий их культурного использования жителями города. Неорганизованный досуг при отсутствии элементов благоустройства обычно ведет к нарушению экологического равновесия территории.

Игнорирование городских территорий не дает максимальный положительный экологический и социально-экономический эффект.

Существующий опыт решения задач формирования архитектурной среды прибрежных территорий показывает целый ряд различных возможностей и подходов. Их выбор должен стремиться к оптимуму: городу необходима не только моментальная экономическая выгода от построенных и проданных «квадратных метров» жилья, «погонных метров» дорог, дающих продукцию фабрик и заводов. В ряде случаев не менее важен долгосрочный социально-экологический эффект, который может быть почувствован опосредованно. Нужно учитывать мировой опыт создания рекреационных объектов, предоставляющих комфортную среду для жителей города, становящихся туристическими центрами, повышающих инвестиционную значимость прилегающих территорий и развивающих сопутствующие сферы обслуживания населения, торговлю и экономику города в целом.

Поставленная проблема в высокой степени актуальна для Нижнего Новгорода – крупнейшего города, обладающего богатыми водными ресурсами. В последнее время городские власти стали уделять серьезное внимание архитектурно-ландшафтному решению городских территорий, в т. ч. прибрежных. Кафедры факультета архитектуры и дизайна ННГАСУ имеют многолетний опыт учебного и реального проектирования рекреационных объектов на прибрежных территориях, выполняемых не только в рамках учебного процесса, но и на конкурсной основе, а также в ответ на обращения общественных организаций, администраций районов города и области. Методика проектирования отработана и изложена в ряде трудов [7, 8, 9]. В свете рассмотренной темы может быть представлен обширный ряд курсовых (рис. 6.1, 6.2 цв. вклейки) и дипломных проектов, многие из которых отмечены высокими наградами смотров-конкурсов различного уровня (рис. 6.3, 6.4 цв. вклейки). Студенческие работы демонстрируют разнообразные творческие взгляды на проблему. Все они имеют неоспоримое достоинство – их



отличает внимательное отношение к природе, стремление максимально сохранить рельеф и водные ресурсы, расширить существующий сортовой состав растительности, облагородить городские территории, наполнить их функционально и дополнить необходимыми элементами благоустройства. Это показывают ориентированность на формирование устойчивой среды. Важно, что подобные проекты наглядно показывают возможность преобразования прибрежных территорий с целью сделать их привлекательными для жителей и незабываемыми для гостей города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приморский бульвар (Баку) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Приморский_бульвар_\(Баку\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Приморский_бульвар_(Баку)).
2. Заболоченный парк Гонконга [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.discoverhongkong.com/ru/see-do/great-outdoors/nature-parks/hong-kong-wetland-park.jsp>.
3. Над главной зеленой артерией Минска сгустились тучи [Электронный ресурс] / Хартыя'97. – 2015. – Режим доступа : <https://charter97.org/ru/news/2015/7/2/158069/>.
4. Как в Сеуле шоссе превратили в реку [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://kak-eto-sdelano.livejournal.com/570821.html5>.
5. Городской парк Турия [Электронный ресурс]: информационный портал города Валенсия. – Режим доступа : http://ilovevalencia.ru/Развлечения_/_городской-парк-турия.
6. Мещерское озеро [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://гордость-нн.рф/ramyatniki/164-mescherskoe-ozero.html>.
7. Кайдалова, Е. В. Учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта на тему: «МАЛЫЙ ПАРК» [Электронный ресурс] / Е. В. Кайдалова, О. А. Лисина ; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т ; Фак. архитектуры и дизайна. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. – Режим доступа : <http://catalog.nngasu.ru/MarcWeb2/>.
8. Кайдалова, Е. В. Ландшафтная архитектура : учеб.-метод. пособие по подгот. к практ. занятиям и орг. самостоят. работы по дисциплине Ландшафтная архитектура [Электронный ресурс] / Е. В. Кайдалова; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т ; Фак. архитектуры и дизайна. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. – Режим доступа : <http://catalog.nngasu.ru/MarcWeb2/>.

KAYDALOVA Elena Valentinovna, candidate of architecture, associate professor, dean of the department of architecture and design; LISINA Olga Anatolevna, senior teacher of the chair of drawing and painting

THE PRIORITY OF RECREATIONAL OBJECTS PLACING ON THE COASTAL AREAS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Ijinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83;
e-mail: i_iag@nngasu.ru
Key words: city, park, river, recreation, coastal territory, ecology.

The article considers different ways of using coastal areas in the urbanized environment. The main types of relations between the city and the coastal territory are revealed in modern native and foreign town-planning practice. The priority of creation of recreational objects in coastal area is justified based on their high social significance, ecological conditions, artistic and aesthetic aspects. The educational design practice in NNGASU as an approbation of an optimal approach to the architectural organization of coastal areas is presented.



REFERENCES

1. Primorskiy bulvar (Baku) [Primorsky boulevard (Baku)]. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Primorskiy_bulvar_\(Baku\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Primorskiy_bulvar_(Baku)).
2. Zabolochenny park Gonkong [Wetland Park in Hong Kong]. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa : <http://www.discoverhongkong.com/ru/see-do/great-outdoors/nature-parks/hong-kong-wetland-park.jsp>.
3. Nad glavnoy zelyonoy arteriey Minska sgustilis tuchi [Clouds have thickened over the main green artery of Minsk]. [Elektronny resurs]. Hartyya'97. 2015. Rezhim dostupa : <https://charter97.org/ru/news/2015/7/2/158069/>.
4. Kak v Seule shosse prevratili v reku [Turning the highway into a river in Seoul]. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa : <http://kak-eto-sdelano.livejournal.com/570821.html5>.
5. Gorodskoy park Turiya [The city park Turia]. [Elektronny resurs]: informatsionny portal goroda Valensiya. Rezhim dostupa : <http://ilovevalencia.ru/Razvlecheniya/gorodskoy-park-turiya>.
6. Mescherskoe ozero [Mescherskoe Lake]. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa : <http://gordost'-nn.rf/pamyatniki/164-mescherskoe-ozero.html>.
7. Kaydalova, E. V., Lisina O. A. Uchebno-metodicheskoe posobie po vypolneniyu kursovogo proekta na temu: «MALY PARK» [Educational and methodical manual for implementation of the course project on the theme: "Small Park"]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t ; Fak. arkhitektury i dizayna. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2016. Rezhim dostupa : <http://catalog.nngasu.ru/MarcWeb2/>.
8. Kaydalova, E. V. Landshaftnaya arkhitektura : ucheb.-metod. posobie po podgot. k prakt. zanyatiyam i org. samostoyat. raboty po distsipline Landshaftnaya arkhitektura [Educational and methodological manual for the preparation to practical classes and organization of independent work for the discipline of Landscape architecture]. [Elektronny resurs]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t ; Fak. arkhitektury i dizayna. Nizhny Novgorod : NNGASU, 2016. Rezhim dostupa : <http://catalog.nngasu.ru/MarcWeb2/>.

© **Е. В. Кайдалова, О. А. Лисина, 2018**

Получено: 19.12.2017 г.

УДК 72.01

Э. В. ДАНИЛОВА, канд. арх., проф. кафедры градостроительства

ГОРОД В АРХИТЕКТУРНЫХ ТРАКТАТАХ ИТАЛЬЯНСКОГО ВОЗРОЖДЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Архитектурно-строительный институт

Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194. Тел.: (846) 339-14-05; факс: (846) 332-19-65; эл. почта: red_avangard@mail.ru

Ключевые слова: теория архитектуры, описание города, идеальный город, фортификации, жилище, универсальный город.

Рассматривается изменение архитектурного дискурса о городе на протяжении Кватроченто и Чинквеченто; анализируются различные аспекты темы города, которые были рассмотрены в архитектурных трактатах от Альберти до Палладио; устанавливается значение темы города в архитектурной теории.

Город – самый большой и самый сложный объект архитектуры. Более того, архитектура не может быть понята и спроектирована автономно за пределами тех



урбанистических условий, которые служат ее окружением. Город определяет архитектурное содержание, устанавливает границы архитектуры и является местом ее экспозиции. Город служит точкой отсчета, и неслучайно, что архитектурный дискурс Возрождения начинается с города и заканчивается им. Проблема, с которой сталкиваются гуманисты в начале Возрождения – это резкий контраст заново открытой античности и реальности современной им эпохи. Остановка в развитии динамичного развивающегося урбанистического мира после чумы определила поиск нового урбанистического идеала, который неизбежно был связан с городом, местом как великого процветания, так и великой катастрофы. Написанные накануне чумы в сиенском Палаццо Пубблико фрески Амброджио Лоренцетти «Аллегии доброго и дурного правления в городе и деревне» (1338–1339) свидетельствовали о непосредственной связи городского благополучия и городских властей. После чумы вопросы устройства города выходят на передний план. В Италии нарождающийся капитализм привел к появлению новых городских функций и, соответственно, необходимости их урбанистической адаптации, презентации и легитимизации. И если формально архитектура устанавливала себя через воссоздание античного ордера в работах Филиппо Брунеллески, то такая сложная среда обитания как город, прежде всего, нуждалась в осмыслении, и, соответственно, в описании гипотетической модели как визуального и содержательного ориентира.

Два трактата, появившиеся почти одновременно, представляют две радикально различные модели такого описания. Первый из них – это трактат Леона Баттиста Альберти «Десять книг о зодчестве», написанный в середине XV века и опубликованный в 1485 году. Альберти – свидетель урбанистического развития: «Сколько городов мы все видели, когда были мальчиками, сплошь состоявших из деревянных домов, и которые теперь оделись в мрамор!» [1]. Его мир – это урбанистическое разнообразие Италии. В трактате Альберти ставит перед собой цель – дать все возможные сведения, которые обеспечат новому рождающемуся каменному урбанизму облик, соответствующий античным представлениям о красоте и гармонии. Исходя из этого, сведения представляют собой собрание фактов из античной литературы и методов современной строительной практики. Такой содержательный коллаж определяет и жанр трактата. Это масштабная картина, которая включает множество сюжетов, объединяемых идеей города. Даже, когда Альберти рассматривает виллы, эти объекты определяются по отношению к городу как логичное продолжение и трансляция городской жизни на загородные территории. Картина – коллаж позволяет Альберти совместить две, не совпадающие во времени эпохи. Одновременно присутствуют древние города – и мы читаем про Тир, Анциум, Мемфис, Фивы и Вавилон – и те, что современны Альберти. Такой подход неудивителен, если мы представим, как часто античные и библейские сюжеты представлялись художникам Возрождения в современных декорациях, а реальные люди соседствовали с героями притч и мифов. Для Альберти античное и реальное сосуществует в Риме, городе, в котором он пишет свой трактат. Античные руины и средневековые башни Рима наглядно свидетельствовали о былом урбанистическом величии и последующем урбанистическом хаосе. Альберти стремится дать такое описание города, в котором все то упорядоченное и структурное, что присутствует в античном городе, может быть возрождено и развито вне зависимости от политического устройства. Разнообразие мира, начиная от разнообразия ландшафта, в котором расположен город, до социального мироустройства по Альберти может быть структурировано через две позиции: коммуникации и объекты. Он описывает дороги, разделяя их на военные и гражданские. Первые – прямые, вто-



рые следуют средневековому паттерну извилистых улиц, поскольку это делает путь длиннее, позволяя раскрыть архитектуру зданий. Площади, перекрестки и мосты являются узлами в сети коммуникаций и должны быть оформлены архитектурно.

Альберти дает описание улиц и площадей, которые являются геометрически правильными объектами архитектуры, оформленными в соответствии с системой ордеров. Он вносит в пространство современного города те античные объекты, которые, как ему представляется, могут и должны быть инкорпорированы с целью привнесения ценностей античной эпохи. Так, наряду с монастырями, больницами и башнями, в гипотетическом городе появляются форумы, цирки, театры, амфитеатры, палестры и термы. Каждому объекту Альберти, тщательно отбирая образцы, дает свою модель: «Мы опишем то сооружение, которое, по нашему мнению, будет совершеннейшим» [2]. Местоположение объектов определяется Альберти в соответствии с их значимостью и общественным доступом. Все рекомендации остаются общими – трактат не предполагает наличие какой-либо схемы или плана. В терминологии Альберти это описание является скорее очертанием, чем планом. Визуальный образ города, который в результате дается в тексте, скорее похож на город, изображенный на Плана Рима Алессандро Строцци (1474). Такой город выглядит как коллекция отдельных артефактов, объединенная скорее внешними стенами, чем внутренней структурой. Дороги существуют отдельно и не связаны в общую систему.

Трактат об архитектуре Антонио Аверлино (Филарете) написан в форме диалога о добродетелях архитектуры. Филарете доказывает силу профессии на примере строительства города Сфорцинда, который он предлагает построить герцогу Миланскому Сфорца. Трактат, как и созданная за пятьдесят лет до этого «Утопия» Томаса Мора, обращен к городу, который не имеет конкретного участка, но который представляет собой социальный идеал, реализованный в абстрактном урбанистическом пространстве. В отличие от Мора Филарете рассказывает о том, как этот город может быть построен – он описывает конкретные стадии строительства города и сопровождает текст рисунками. На плане Сфорцинда представляет собой восьмиугольник, состоящий из двух повернутых квадратов. Центр города – площадь, окруженная общественными зданиями, среди которых собор и дворец Герцога являются наиболее значимыми. В центре площади расположено самое высокое здание – башня. К центральной площади примыкают две торговые площади меньшего размера. Город имеет восемь улиц и восемь каналов. Но в схеме города существуют противоречия – размеры, которые Филарете указывает для зданий, превышают в несколько раз размеры территории, отведенной для них в городе. Второе противоречие обнаруживается в самой планировке. Ортогональная планировочная система, предложенная им для центральной зоны, не увязана с лучевой системой улиц, которые по описанию направлены к центру города. Из плана невозможно получить представление о форме кварталов и характере урбанистической сетки. Сфорцинда – первая попытка создать план идеального города в длинной истории последующих планов. Дух трактата передает исторически свойственные архитекторам амбиции создать город как идеальную модель мироустройства и полностью реализовать все профессиональные желания и возможности: «У меня был замысел предпринять постройку города, в котором мы соорудили бы все здания ему принадлежащие, каждое со своим расписанием и мерой» [3].

Другой подход к городу, основанный на решении практических и утилитарных задач, был развит в трактатах более поздних. Начало было положено сиенским архитектором и инженером Франческо ди Джорджо Мартини, который имел боль-



шой опыт в возведении сакральных и гражданских зданий, фортификаций, систем водоснабжения. Он создает трактат «О военной и гражданской архитектуре», книга третья в котором посвящена крепостям и планировке городов. Ди Джорджо дает несколько примеров планов городов, в которых изображены и фортификации, и внутренняя разбивка улиц на основе шахматной планировки. Ди Джорджо предложил несколько различных типов городского жилища, сопроводив их схемами различных планов. Центр города – площадь. Общественные здания выстроены в иерархической системе. Ди Джорджо предлагает зонирование для различных ремесленных и торговых гильдий. Две из трех известных картин «Идеальный город» приписываются архитектору. Расчерченное в клетку основание обеспечивает строгость центральной перспективы. В центре одной из картин изображена площадь, на которой находится круглый храм. Уличный фронт образован преимущественно трехуровневыми зданиями с аркадами на первом уровне. Застройка следует очевидной красной линии, но не зарегулирована по вертикали. Как и трактат с большим количеством рисунков, так и картины дают представление о новом образе города Ренессанса. Последующее развитие военной инженерии привело к расхождению гражданской и военной архитектуры, что нашло отражение в разделении архитектурной теории. Пьетро Катанео был последним архитектором, который соединял оба типа знания в одном трактате. Катанео применял шахматную планировку, что отличало его от военных инженеров – в их планах интерьер города оставался пустым, а фортификации изображались рельефно и детально. Из всех объектов архитектуры Пьетро Катанео отдает приоритет городу: «Прекраснейший аспект архитектуры будет, несомненно, в том, чтобы иметь дело с городами» [4].

Насущные потребности в жилище и упорядочивании урбанистической структуры определяют характер трактата Себастьяна Серлио (1475–1554). В шестой книге он дает иллюстрированный каталог жилища для всех социальных классов горожан: ремесленников, купцов, аристократов, городских чиновников и высшей знати [5]. Каждый класс подразделяется в соответствии с уровнем дохода на бедных, средних и богатых. Впервые в теории архитектуры появляются проекты домов для самых беднейших. Серлио представляет типы блокированной застройки, что указывает на изменившийся подход к строительству. В это время индустриальное строительство массового жилища становится актуальным. Для Серлио приоритетами являются комфорт и региональные особенности. Город Серлио не является идеальным, его трактат отражает существующую урбанистическую реальность. Существует еще один важный аспект, опосредованно относящийся к городу: в книге второй, посвященной перспективе, Серлио создает знаменитые иллюстрации трагических, комических и сатирических сцен в соответствии с Витрувием. Город, изображенный в трагической сцене, появляется как масштабная презентация в картине знакомого с трактатом Якопо Тинторетто «Омовение ног» (1545). Этот ставший классическим образ улицы получил свое распространение не только в театре, но и в урбанизме последующих столетий.

Неопубликованный трактат Алвизе Корнаро (1484–1566), одного из патронов Андреа Палладио (1508–1580), был посвящен жилищу для среднего класса. Корнаро, который, как и Серлио, больше заинтересован в решении практических задач современному его города, несомненно, повлиял на подход Палладио к содержанию «Четырех книг об архитектуре». Вслед за Альберти он обращается к идее структурной взаимосвязи дома и города: «...город – не что иное как некий большой дом и, наоборот, дом – некий малый город» [6]. В своем трактате Палладио соединяет сведения об античных постройках, концепции чтимых им Витрувия и



Альберти вместе с собственным опытом, своими проектами и постройками. Город Палладио – универсален так же как универсальная его архитектура. Это город, который создан на основании всех лучших идей античной архитектуры и в силу своего гармоничного содержания может быть реализован повсюду в любых фрагментах. Палладио реализует такой универсальный город в Виченце, где возводит базилику и палаццо новой знати, акцентируя исторические античные оси кардо и декуманус; в Венеции, где он утверждает урбанистическое совершенство своими церквями; и, наконец, на терраферме, где сеть загородных вилл – урбанистических центров – образует символический культурный ландшафт. Архитектура достигает по мысли Палладио в его работах достойного античности качества, и новый гармоничный город может быть реализован в структуре любых старых городов. Городской проект Палладио «тактически открыт множеству местных условий, но неизменен в принципах формообразования» [7]. Таков же и образ города в самом трактате. Очертания, данные Альберти в начале архитектурного Возрождения, обретают зримые материальные основания в трактате Палладио, завершающего эпоху.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альберти, Л. Б. Десять книг о зодчестве / Л. Б. Альберти. – Москва : Изд-во Всесоюз. акад. архитектуры, 1935–1937. – 276 с.
2. Альберти, Л. Б. Десять книг о зодчестве / Л. Б. Альберти. – Москва : Изд-во Всесоюз. акад. архитектуры, 1935–1937. – 288 с.
3. Филарете А. А. Трактат об архитектуре / А. А. Филарете. – Москва : Рус. ун-т, 1999. – 36 с.
4. Krufft H.-W. History of Architectural Theory / H.-W. Krufft. – New York : Princeton Architectural Press, 1997. – 79 p.
5. Serlio S. Serlio on domestic architecture / S. Serlio, M. N. Rosenfeld. – New York : Dover Publications, 1997. – 176 p.
6. Палладио А. Четыре книги об архитектуре / А. Палладио. – Москва : Архитектура-С, 2014. – 47 с.
7. Аурели, П. В. Возможность абсолютной архитектуры / П. В. Аурели. – Москва : Strelka Press. – 2014. – 118 с.

DANILOVA Elina Viktorovna, candidate of architecture, professor of the chair of town-planning

A CITY IN THE ARCHITECTURAL TREATISES OF THE ITALIAN RENAISSANCE

Institute of Architecture and Civil Engineering of Samara State Technical University
194, Molodogvardeyskaya St., Samara, 443001, Russia. Tel.: +7 (846) 339-14-05;
fax: +7 (846) 332-19-65; e-mail: red_avangard@mail.ru

Key words: architectural theory, city description, ideal city, fortifications, dwelling, universal city.

The article examines how the architectural discourse of the city has changed over the course of Quattrocento and Cinquecento. Various aspects of the theme of the city, which were considered in architectural treatises from Alberti to Palladio, are analyzed. The meaning of the theme of the city in the architectural theory is established.

REFERENCES

1. Alberti L. B. Desyat knig o zodchestve [Ten books on architecture]. Moscow, Izd-vo Vsesoyuz. akad. arkhitektury, 1935–1937. 276 p.



2. Alberti L. B. Desyat knig o zodchestve [Ten books on architecture]. Moscow, Izd-vo Vsesoyuz. akad. arkhitektury, 1935–1937. 288 p.
3. Filarete (Antonio Averlino). Traktat ob arkhitekture [Treatise on architecture]. Moscow, Rus. un-t, 1999. 36 p.
4. Krufft H.-W. History of Architectural Theory. New York, Princeton Architectural Press, 1997. 79 p.
5. Serlio S., Rosenfeld M. N. Serlio on domestic architecture. New York, Dover Publications, 1997. 176 p.
6. Palladio A. Chetyre knigi ob arkhitekture [Four books on architecture]. Moscow, Arkhitektura-S, 2014. 47 p.
7. Aureli P.V. Vozmozhnost absolyutnoy arkhitektry [The possibility of an absolute architecture]. Moscow, Strelka Press, 2014. 118 p.

© Э. В. Данилова, 2018

Получено: 16.10.2017 г.

УДК 72.035 (470.341-25)

А. С. ШУМИЛКИН, канд. арх., доц. кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования¹, гл. архитектор²

РЕСТАВРАЦИЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА И ПРОБЛЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ И СОВРЕМЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ (НА ПРИМЕРЕ ЗДАНИЯ РЕМЕСЛЕННОЙ УПРАВЫ)

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-37; эл. почта: ist_arh@nngasu.ru

²ООО «Асгард»

Россия, 603093, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 81. оф. 7. Тел.: (831) 434-21-07; эл. почта: info@asgard-arch.ru

Ключевые слова: объект культурного наследия, градостроительное развитие, историко-культурная среда, научная реставрация.

Рассматривается актуальная проблема взаимодействия исторической и современной застройки в условиях интенсивного архитектурно-градостроительного развития центров крупных городов. На примере объекта культурного наследия – здания Ремесленной управы в Нижнем Новгороде – показывается значение комплексной научной реставрации для восстановления исторического памятника и его эстетической роли в современном городском пространстве.

Актуальной проблемой градостроительства является взаимодействие исторической и современной застройки в структуре развивающихся городских центров. В условиях качественного подчас кардинального изменения функционально-эстетического контекста меняется и отношение к наследию прошлого, понимание его градообразующего значения, которое часто недооценивается. Сегодня это взаимодействие, как правило, сводится к противостоянию, в котором историческая застройка обречена на уничтожение. Вместе с тем существуют примеры, когда грамотно проведенная научная реставрация дает не только новую жизнь памятнику, но и способствует его органичному включению в современный градостроительный контекст, становится вектором общей гармонизации среды.



Решение этой задачи во многом определяет особенности методологии сохранения объектов наследия. Однако при всей вариативности комплексного подхода и широте спектра реставрационных направлений, основным методом должна оставаться документально обоснованная научная реставрация, направленная в первую очередь на сохранение подлинности памятника. Осмысление и обобщение опыта сохранения культурного наследия является важным для понимания возможностей научно-реставрационной деятельности в условиях современного развития градостроительной среды [1].

В контексте рассмотрения данной проблемы обратимся к примеру реставрации здания бывшей Ремесленной управы в Нижнем Новгороде (дом № 25 по улице Октябрьской), известного многим горожанам как Нижегородский Дом ученых. Здание входит в границы историко-культурной территории «Старый Нижний Новгород» и расположено в квартале, ограниченном историческими улицами: Алексеевской, Грузинской (быв. Болотов пер.), Октябрьской (быв. Дворянской) и Ошарской. Памятник входит в структуру исторической усадебной двух-трехэтажной преимущественно каменной застройки улицы Октябрьской и северным фасадом формирует ее красную линию. Предназначавшийся для солидного учреждения и обладающий характерной объемно-пространственной композицией особняк в кирпичном стиле являлся значимым архитектурным акцентом в застройке улицы.

Сейчас эту часть исторического центра в районе Черного пруда затронули значительные градостроительные изменения. Была снесена застройка XIX – XX веков противоположной стороны ул. Октябрьской, а на ее месте возведен многофункциональный центр, занявший почти весь исторический квартал. Внедрившись в историческую ткань, современное здание стало новой архитектурной доминантой и подавило сложившийся градостроительный ансамбль чуждыми ему пространственными, масштабными и стилевыми характеристиками (рис. 1 цв. вклейки). Особенно это коснулось отрезка нечетной стороны улицы Октябрьской, где застройка имеет дисперсную структуру и представлена типологически разнообразными зданиями. Каменное здание Ремесленной управы, сохраняющее значение архитектурного акцента, в сложившемся противостоянии уравнивает исторические и современные параметры среды.

Идея возведения собственного дома возникла в среде ремесленной корпорации в конце 1890 года. Для поднятия ремесленной производительности в нем предполагалось организовать училище для обучения различным ремеслам. Проектные чертежи дома были утверждены 17 апреля 1891 года, надзор за строительством поручался городскому архитектору Николаю Дмитриевичу Григорьеву. К сожалению, проектные материалы, о которых идет речь, в настоящее время не обнаружены. Неизвестен и автор проекта здания.

Строительство дома было завершено в 1892 году. Здание стало наиболее удачным строительным проектом Нижегородского цехового общества, возведенным на средства его членов и пожертвования ремесленников. В годы Первой мировой войны в здании размещался лазарет для воинов. После национализации в нем находился Нижегородский деловой клуб, а с 1929 года – Дом инженерно-технических работников, позже сменившийся Горьковским Домом ученых. Сегодня здесь размещается Нижегородский научно-информационный центр. За более чем вековую историю здание сохранило репрезентативный облик солидного общественного учреждения (рис. 2 цв. вклейки).

Трехэтажный кирпичный нештукатуренный основной объем здания под вальмовой крышей первоначально имел симметричное решение и был выстроен

**К СТАТЬЕ А. С. ШУМИЛКИНА
«РЕСТАВРАЦИЯ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА И ПРОБЛЕМА
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИСТОРИЧЕСКОЙ И СОВРЕМЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ
(НА ПРИМЕРЕ ЗДАНИЯ РЕМЕСЛЕННОЙ УПРАВЫ)»**



Рис. 1. Ансамбль застройки Октябрьской улицы, 2016 г.



Рис. 2. Здание Ремесленной управы (ул. Октябрьская, 25) до реставрации, 2016 г.



Рис. 3. Здание Ремесленной управы, начало XX в. Фото М. П. Дмитриева



Рис. 4. Здание Ремесленной управы (ул. Октябрьская, 25) после реставрации, 2017 г.



в форме буквы «Т». Ось симметрии со стороны дворового (южного) фасада подчеркивалась ризалитом, в котором помещалась лестничная клетка. Впоследствии композиция здания несколько изменилась: с юго-западной стороны заподлицо с историческими фасадами был пристроен трехэтажный оштукатуренный объем, повторяющий их декоративное решение. Со стороны восточного фасада примкнул поздний двухэтажный оштукатуренный пристрой из силикатного кирпича.

Главный фасад в целом сохранил первоначальное декоративно-художественное решение в духе рационального направления эклектики (кирпичный стиль) (рис. 3 цв. вклейки). На его центральной оси расположен парадный вход в здание. Средняя часть девятиосевого фасада выделена поэтажными лопатками и акцентирована прямоугольным аттиком. Аналогичные лопатки, декорированные «под руст» в уровне первого и второго этажей и дополненные вертикальными нишами на третьем этаже, подчеркивают углы здания. Фасад разделен по горизонтали кирпичными междуэтажными поясами. Выступающие горизонтальные ширинки и орнамент в виде сухариков дополняют пояс над вторым этажом.

Кирпичный декор основной плоскости фасада образует геометрический рисунок, обрамляющий проемы и заполняющий простенки элементами в виде узких лопаток. Прямоугольные окна в рамочных наличниках в уровне первого этажа дополнены навершиями лучкового очертания, над пониженными оконными проемами третьего этажа помещены замковые камни. Боковые и дворовый фасады имеют более сдержанное декоративное решение. Боковые фасады основного объема оформлены поэтажными лопатками, окна декорированы рамочными наличниками. Профилированный венчающий карниз дополнен поребриком.

Обследование технического состояния памятника выявило фрагментарные разрушения кирпичного декора на главном и дворовых фасадах (междуэтажных поясов, лопаток, аттика) и утраты первоначальных деталей (угловые декоративные на кровле). Часть окон южного и восточного фасадов были заложены, отчасти изменены их первоначальные размеры. Разнохарактерное заполнение оконных проемов было выполнено не в соответствии с историческим обликом объекта культурного наследия. В процессе расчистки стен от поздних окрасочных наслоений (толщина до 5 мм) выявилось их неудовлетворительное состояние: выкрашивание подлинного кирпича, следы поздних ремонтов, цементно-песчаные докомпоновки, выходы солей, поражение домовым грибом.

Основные задачи проекта реставрации были направлены на возвращение зданию утраченного значения архитектурного акцента исторического ансамбля застройки Октябрьской улицы (выполнен ООО «Асгард» под руководством главного архитектора А. С. Шумилкина в 2016 году) [2]. Прежде всего была проведена работа по восстановлению подлинной открытой кирпичной кладки, зафиксированной на фотографии начала XX века (рис. 3 цв. вклейки). Поздние пристройки советского периода из силикатного кирпича выделены нейтральным цветом и оштукатурены. Выполнена докомпоновка утрат и сколов оконных наличников. Обновлен фасадный декоративный наличник двери парадного входа, произведена замена поздних дверных полотен.

С целью возвращения здания к историческому облику были раскрыты два подлинных окна бокового фасада и восстановлена шестичастная расстекловка окон. Утраченное после 1917 года декоративное заполнение аттика (герб Ремесленной управы) заменено современным гербом Нижегородской области. Восстановлены инженерно-технические элементы и системы оснащения (отмостка, организованный водоотвод). Вдоль главного фасада здания смонтировано защитное ограждение.



Задача максимального сохранения исторических подлинных элементов и материалов потребовала применения обширного комплекса высококачественных реставрационно-технологических мероприятий. Памятник был оснащен системой ночной подсветки, подчеркнувшей рельефность фасадов и пластику архитектурных деталей (рис. 4 цв. вклейки). Комплекс ремонтно-реставрационных работ на памятнике проводился нижегородской специализированной организацией ООО «Гефест».

Таким образом, средствами научной реставрации были выявлены историческая значимость и своеобразие художественного решения здания, а также особенности его облика на разных этапах. Не нарушая исторической подлинности памятника, была акцентирована его градостроительная роль в историческом ансамбле одной из центральных улиц Нижнего Новгорода. Современные технологические решения позволили включить здание в новый контекст городского пространства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шумилкин, А. С. К проблеме сохранения культурного наследия. Актуальные задачи реставрационной деятельности / А. С. Шумилкин // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2017. – № 2. – С. 203–208.
2. Дом ученых – связь времен // Поиск-НН. – 2017. – № 12-1 (198-199). – С. 28–29.

SHUMILKIN Aleksandr Sergeevich, candidate of architecture, associate professor of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design¹, chief architect²

RESTORATION IN THE BEGINNING OF THE XXI CENTURY AND THE PROBLEM OF INTERACTION OF HISTORICAL AND MODERN BUILDINGS (BY THE EXAMPLE OF THE CRAFT COUNCIL BUILDING)

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Pjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-37;
e-mail: ist_arh@nngasu.ru

²JSC «Asgard»
81, Pjinskaya St., office 7, Nizhny Novgorod, 603000, Russia. Tel.: +7 (831) 434-21-07;
e-mail: info@asgard-arch.ru

Key words: cultural heritage object, urban development, historical and cultural environment, scientific restoration.

The article considers an actual problem of historical and modern buildings interaction in the conditions of intensive architectural and urban development of the centers of large cities. By the example of a cultural heritage object – the Craft Council building in Nizhny Novgorod the importance of complex scientific restoration for historical monument rehabilitation and its aesthetic role reestablishment in contemporary urban space is shown.

REFERENCES

1. Shumilkin A. S. K probleme sokhraneniya kulturnogo naslediya. Aktualnye zadachi restavratsionnoy deyatelnosti [To the problem of cultural heritage preservation. Actual tasks of restoration activities]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2017. № 2. P. 203–208.
2. Dom uchyonykh – svyaz vremyon [The House of scientists – the link of times]. Poisk-NN. № 12-1 (198–199). P. 28–29.

© А. С. Шумилкин, 2018

Получено: 29.12.2017 г.



УДК 725.826

Е. В. ШИРЧКОВ, преп. кафедры архитектуры и дизайна

ГОРОДСКОЙ АМФИТЕАТР В ОБЩЕСТВЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ СОВРЕМЕННЫХ РОССИЙСКИХ ГОРОДОВ

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарева»

Россия, 430000, г. Саранск, ул. Советская, д. 24. Тел.: +7 (8342) 48-25-64;
эл. почта: localstudy13@gmail.com

Ключевые слова: общественное пространство, городской амфитеатр, городской дизайн, малая архитектурная форма, современная архитектура России

В современной практике благоустройства российских городов амфитеатр становится востребованным элементом. Выявляются причины популярности амфитеатра в дизайне городской среды. Найдены прототипы современных амфитеатров. Определены три основные функции городского амфитеатра: зрительское место, место для отдыха, символ современного общественного пространства. Сформулирована сущность амфитеатра как зрительного зала, обращенного в общественное пространство. Приведены краткие рекомендации по применению амфитеатров в проектировании городских общественных пространств.

За последние десять лет в российской архитектурной и градостроительной практике отчетливо наблюдается смена приоритетов. Все большую роль играет не строительство новых зданий или комплексов, а создание и благоустройство городских общественных пространств. В информационном поле наибольшей популярностью пользуются именно общественные пространства и их преобразование: примером этому служит ажиотаж, который вызвал открытый в сентябре 2017 г. парк «Зарядье».

Исследователи подчеркивают, что в этом Россия следует современному западному тренду. Г. И. Ревзин в своем выступлении на Московском урбанистическом форуме в 2014 г. отмечал: «Мировой кризис 2008 года переориентировал города со зданий-аттракционов вроде Гуггенхайма в Бильбао на общественные пространства. Город тратит миллионы долларов на общественные пространства, это самое яркое, что происходит в последние годы» [1].

Начавшись с отдельных знаковых точек в столице (парк им. Горького, Крымская набережная), волна переустройства общественных пространств вылилась в крупномасштабные проекты, которые затрагивают не только территорию Москвы, но и многие регионы страны. Среди них можно выделить проект «Моя улица» (г. Москва), который включает в себя благоустройство улиц, набережных, бульваров и парков, а также создание системы новых стандартов благоустройства [2]. Среди регионов России выделяется Татарстан с программой благоустройства парков [3], где реконструкции подвергаются участки небольших городов и сел Татарстана. И, наконец, наибольший масштаб имеет приоритетный проект «Формирование комфортной городской среды», запущенный в 2017 г. Согласно проекту, в период 2017–2020 гг. в субъектах РФ будут реализованы 400 комплексных проектов по благоустройству. Общий бюджет проекта составит более 124 млрд рублей [4].

На фоне исключительно государственных заказов на благоустройство общественных пространств выделяется феномен Краснодара, где новый парк был соз-



дан на частные средства. Этот факт подчеркивает востребованность тенденций по преобразованию общественных пространств. Новое общественное пространство выступает как своеобразный подарок городу и его жителям, поскольку обладает свойством демократичности – находиться на улице или в парке может любой человек независимо от его доходов и социального положения.

Одним из элементов проекта «Формирование комфортной городской среды» является благоустройство общественных пространств в 40 городах страны к предстоящему Чемпионату мира по футболу. Отличительной чертой этого проекта является его колоссальный масштаб – города, в которых проводится благоустройство, расположены по всей стране: от Калининграда до Владивостока. Работы по проектированию общественных пространств в этих городах ведет консалтинговое бюро «Стрелка».

Поводом для написания данной статьи стала работа автора в составе КБ «Стрелка», где в составе группы архитекторов он занимался проектированием общественных пространств г. Саранска. Внимание автора привлекла характерная особенность проектов – большое количество амфитеатров. В частности, в проекте нового бульвара в микрорайоне «Тавла» в г. Саранске коллеги предложили два амфитеатра – в ландшафте и на небольшой площади, а для реконструкции Советской площади был рассмотрен вариант с амфитеатром посередине площади. Таким образом, в двух проектах общественных пространств были предложены три амфитеатра, что чрезвычайно контрастировало с реальной ситуацией – в городе на данный момент нет ни одного подобного объекта.

В последнее время амфитеатры в Москве стали распространенным элементом городской среды (рис. 1–3 цв. вклейки).

Впрочем, регионы тоже внедряют амфитеатры в обновленные общественные пространства. Так, амфитеатры построены в новом парке в Краснодаре, в парках Татарстана, на обновленной площади 1905 г. в Екатеринбурге (рис. 4 цв. вклейки). Происходит распространение нового элемента городского дизайна из столицы в провинцию, причем сначала в города-миллионники. По-видимому, появление новых амфитеатров в прочих городах страны будет связано с реализацией проектов КБ «Стрелка», о которых было сказано выше.

Задачей данной работы является выяснение причин популярности амфитеатров в современной практике благоустройства в России. Для этого необходимо рассмотреть историю появления этих объектов в современной отечественной архитектуре, определить их основные функции, преимущества и недостатки перед другими объектами уличного дизайна. Представляется важным ответить на вопрос: что стоит за распространением амфитеатров – мода или естественная необходимость?

Прежде всего, необходимо уточнить терминологию. Под общественным пространством будет пониматься участок городского пространства, свободный для доступа людей, не являющихся собственниками данной территории, и основная функция которого напрямую подразумевает присутствие этих людей. Такими пространствами являются улицы, площади, набережные, скверы, парки, нежилые дворы и т. д.

Городской амфитеатр – это сооружение, состоящее из крупных ступеней, предназначенных для времяпрепровождения на открытом воздухе. Эти ступени могут иметь разнообразную конфигурацию в плане: прямую, ломаную, изогнутую, смешанную. Решающее значение для функционирования амфитеатра имеет высота ступеней: она должна быть удобна для сидения и, как правило, составляет 45–50 см. Амфитеатр также может быть частью здания или комплекса зданий.

**К СТАТЬЕ Е. В. ШИРЧКОВА
«ГОРОДСКОЙ АМФИТЕАТР В ОБЩЕСТВЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ
СОВРЕМЕННЫХ РОССИЙСКИХ ГОРОДОВ»**



Рис. 1. Амфитеатр на Хохловской площади, г. Москва (фото автора)



Рис. 2. Амфитеатр на Крымской набережной, г. Москва (фото автора)



Рис. 3. Амфитеатр в парке «Зарядье», г. Москва (фото автора)



Рис. 4. Амфитеатр на площади 1905 года, г. Екатеринбург (фото автора)



Рис. 5. Амфитеатр института «Стрелка», г. Москва
[<https://medium.com/@eKortev/strelka-introduction-3e1b1ac6c90b>]



Рис. 6. Амфитеатры во дворе ЖК «Каменный ручей», г. Екатеринбург (фото автора)



Следует отметить, что данный тип объектов не является новым в архитектурной практике. Так, современный полукруглый амфитеатр с пространством для сцены в точности повторяет схему построения античного театра, вписанного в склон. Амфитеатры прямой конфигурации, по-видимому, берут свое начало с монументальных лестниц городских ансамблей античности (акрополь в Линдосе, Пергамский алтарь) и Нового времени (Испанская лестница в Риме). В русской архитектуре монументальные лестницы, схожие с длинными прямыми амфитеатрами, использовались для оформления спусков к воде (набережная Академии Художеств в Санкт-Петербурге). Также нельзя не упомянуть знаменитую лестницу-амфитеатр Ивана Леонидова в санатории Наркомтяжпрома в Кисловодске [5].

Первым современным амфитеатром в России стал объект во дворе Института медиа, архитектуры и дизайна «Стрелка», построенный по проекту бюро Wowhaus в 2010 г. Основатели института вспоминают, что хотели создать из института публичное общественное пространство [6]. Им стал внутренний двор «Стрелки» с деревянным амфитеатром, рассчитанным на публичные мероприятия института. В остальное время он служит местом работы, отдыха и общения для студентов и гостей института. Своей популярностью амфитеатр обязан нескольким причинам. Во-первых, будучи первым, он неизбежно послужил прототипом для следующих проектов в Москве. Во-вторых, амфитеатр стал частью бренда института «Стрелка», который активно продвигал себя в медиа-среде. Одним из инструментов запуска этого бренда стало приглашение такого влиятельного архитектора как Рэм Колхаас для создания образовательной программы института. Авторитет голландского мастера отразился и на образе всей среды «Стрелки», в том числе ее амфитеатра. И самая важная причина, на наш взгляд, связана с тем, что указанный двор действительно стал очень заметным и модным общественным пространством столицы. Будучи его неотъемлемой частью, амфитеатр стал рифмоваться с любым общественным пространством. Более того, сам термин «общественное пространство» появился в профессиональной культуре во многом благодаря «Стрелке». В частности, такое название носила одна из студий первого года обучения в институте. Затем, выступив в качестве консультанта при реконструкции ЦПКиО им. Горького в 2011 г., институт утвердился в качестве главного специалиста по нововведенным общественным пространствам, а бюро Wowhaus, построившее там большинство новых парковых объектов, в числе которых и два амфитеатра (летний кинотеатр и деревянный пляж) – в качестве главных специалистов по проектированию общественных пространств (рис. 5 цв. вклейки).

На наш взгляд, вышеупомянутые проекты оказали наибольшее влияние на популярность городских амфитеатров в России. Двор института «Стрелка» стал первым толчком к развитию общественных пространств в Москве. Решающую роль сыграл эпохальный успех Парка Горького. Обновленный парк превратился в образец для всех парков как в Москве, так и в прочих городах, в умах современников он стал идеальным образом общественного пространства. В свою очередь, городской амфитеатр как одна из частей идеального парка стал важной составляющей частью этого образа.

Исходя из этого, можно предположить, что амфитеатры появляются в проектах новых общественных пространств не столько вследствие утилитарных потребностей, сколько как повторение чужих успешных образцов. Но так ли это? Может быть, в современном общественном пространстве действительно формируется потребность в таких сооружениях как городские амфитеатры? Нельзя ответить на этот вопрос, не определив их основные функции.



Во-первых, амфитеатр может служить местом отдыха. Габариты его ступеней позволяют сидеть и лежать на них, а также в отличие от городской мебели собираться большим компаниям. Вторая и главная функция амфитеатра – зрительские места. Они могут быть востребованы на городских видовых точках, откуда открывается эффектная панорама города или природы. Помимо красивого вида объектами наблюдения становятся мероприятия на открытом воздухе: театрализованные представления, концерты, киносеансы и т. д. Но вместе с этим присутствует еще один аспект зрелища, на котором хотелось бы остановиться подробнее.

Активное общественное пространство – существенная часть городской культуры. Идеальное общественное пространство воспринимается оживленным, наполненным всевозможной деятельностью людей, в которой можно участвовать и за которой можно наблюдать. Это свойство приобретает вследствие пространственной интеграции функций, которая естественным образом образуется в городских центрах [7, с. 18]. Функциональная насыщенность городской ткани и интенсивность использования общественных пространств образуют положительную обратную связь, благодаря которой формируется насыщенная городская среда, характерная для центров современных городов. Ян Гейл отмечает: «Городское пространство является местом для двух видов деятельности – передвижения и времяпрепровождения. <...> В экономически более развитых странах городская жизнь и в частности времяпрепровождение в значительно большей степени связаны с необязательной деятельностью. Люди гуляют, стоят и сидят там, где качество городского пространства позволяет это делать» [8, с. 134]. Снова появилась культура фланерства, свободного времяпрепровождения в городе, когда объектом потребления становится городская среда сама по себе, которая приобретает качества зрелища, городской сцены [9].

Общественное пространство неотделимо от окружающей застройки и связано с ней тесными отношениями, которые носят дуалистический характер [10]. Г. И. Ревзин подчеркивает, что в общественном пространстве формируются некоторые городские функции: «Цирк, религиозные массовые шествия, ярмарки, праздники – все это сначала возникает в общественном пространстве, а потом, когда в достаточной степени оформляется, убегает оттуда и становится отдельным зданием, то есть создает самостоятельную функцию» [11]. Однако в современном городе происходит и обратный процесс: функции выходят за пределы зданий и оказывают сильное влияние на общественное пространство. Формируется запрос на места наблюдения за городской жизнью, в частности на городские амфитеатры. Таким образом, если городское пространство предстает в виде сцены, то современный городской амфитеатр – зрительный зал, обращенный в общественное пространство.

Однако для наблюдения за городской жизнью не обязательно применять амфитеатры. Уличная мебель, открытые террасы кафе, поручни и перепады рельефа, ниши или навесы перед фасадами, а подчас даже поверхность улицы или площади тоже можно использовать для наблюдения за происходящим. В чем преимущества городских амфитеатров перед прочими малыми архитектурными формами и уличной мебелью?

Обеспечить комфорт общественного пространства может некая граница или стена, находясь спиной к которой можно чувствовать защищенность как физическую (осадки, ветер), так и психическую. Ян Гейл называет это эффектом границы [8, с. 137]. Городской амфитеатр удовлетворяет этому условию, причем он дает возможность разместиться с комфортом большему числу людей, чем аналогичный



по длине участок фасада. Психический комфорт человека выражается не только в чувстве защищенности, но и в соблюдении личного пространства – определенной зоны вокруг человека, в которой нежелательно находиться посторонним людям. На наш взгляд, в этом смысле городской амфитеатр более удобен по сравнению с прочими малыми формами, поскольку предоставляет возможность более компактного размещения пользователей без ущерба для их личного пространства. Можно предположить, что амфитеатр позволяет пользователям достигнуть еще одного уровня психического комфорта – возможности находиться над уровнем окружающего пространства. Такое расположение доставляет человеку дополнительное чувство защищенности, поскольку обзор становится лучше, что повышает контроль над ситуацией.

Следующий фактор – качество вида, который открывается с конкретного места. Как было определено ранее, смотреть в городе с интересом можно либо на привлекательный ландшафт, либо на привлекательных людей. В данном случае выявить существенное преимущество амфитеатра перед другими малыми архитектурными формами не удастся: и то, и то можно размещать в равных видовых условиях. Только на видовых точках со склонами рельефа амфитеатры могут быть предпочтительнее: врезать амфитеатр в склон может быть легче, чем расположить на нем уличную мебель.

Городской амфитеатр от прочих малых архитектурных форм отличает его многофункциональность. При должной высоте амфитеатра закрытое пространство под ступенями могут заполнить дополнительные функции: торговый павильон, туалет, склад, кафе и т. д. Сами ступени требуют лишь небольшой модификации, чтобы превратиться в игровую площадку, горку для катания, основу для городского огорода и т. д.

Пристроенный к зданию амфитеатр позволяет, помимо прочего, размыть четкие границы архитектуры и общественного пространства, создать так называемую «мягкую границу», которая считается важным условием качества общественного пространства [8, с. 75]. Благодаря функциональному потенциалу, а также особенностям конструкции (четкая ориентация объема и глухая стенка с заднего фасада), амфитеатр со встроенными функциями может стать средством пространственного расчленения площадей преувеличенного масштаба, типичных для российских городов. Подобным образом амфитеатр, в ряду прочих инструментов, использован в проекте реконструкции площади Азатлык в Набережных Челнах [12].

Еще одним преимуществом амфитеатра служит его эффектный внешний вид, вследствие которого амфитеатр может стать локальной доминантой. В терминологии Кевина Линча, это потенциальный ориентир, относительно которого человек может определить свое местоположение [13]. Кроме того, форма амфитеатра одновременно удовлетворяет таким важным паттернам общественного пространства как рецепция и релаксация, которые выделяет А. Л. Гельфонд [14]. На его ступенях одинаково удобно как наблюдать за зрелищем, так и расслабленно отдыхать.

Таким образом, городской амфитеатр обладает многими преимуществами перед прочими малыми архитектурными формами. Почему же он пока не применяется настолько широко, чтобы стать нормой для каждого общественного пространства? Причиной тому определенные особенности объекта. Городской амфитеатр тяжело выполнить индустриальными методами. Подобный объект сугубо индивидуален, его нельзя заказать у поставщиков уличной мебели. Он сложнее в производстве, чем типовая мебель, и требует специального проектирования. Амфитеатр чувствителен к непогоде. Дождь, холод или сильный ветер отпугнут



потенциальных пользователей, а дополнительные усилия по временной трансформации амфитеатра в иной функциональный объект связаны с интеллектуальными и финансовыми затратами.

Объект подобного типа доступен для всех групп населения, в том числе и маргинальных. В практике проектирования и городского управления этот довод часто оказывается весомым: чтобы избежать присутствия асоциальных элементов, решается не применять городскую мебель и малые формы вообще. Кроме того, эффектная форма городского амфитеатра может сыграть негативную роль в городской среде. Перед тем как устанавливать амфитеатр в городе, необходимо тщательно удостовериться, не явится ли объект излишне вызывающим среди существующей застройки, не окажет ли он отрицательного влияния на панорамы и видовые коридоры.

Основная функция амфитеатра как трибуны диктует его ограниченную применимость. Не имеет никакого смысла проектировать амфитеатры в местах, лишенных эффектного вида на природу или городскую застройку. Также амфитеатр неуместен в пространствах, где нет интенсивной уличной активности или предпосылок для ее развития.

Итак, рассмотрены основные функции городского амфитеатра. Однако помимо утилитарного назначения объект несет определенный символический смысл, который также входит в общее понятие функции. А. В. Иконников определяет функцию как комплекс решаемых архитектурой задач, материально-практических и информационных [15, с. 12]. С этой точки зрения мода на амфитеатры приобретает новый смысл. Объекты данного типа становятся не просто повторением чужого опыта, но символом современного общественного пространства и приобщения места проектирования к современной городской культуре, особенно если утилитарные предпосылки для их появления отсутствуют. Амфитеатры играют роль знаков современности, эмблем насыщенной городской жизни, которая могла бы возникнуть в данном конкретном месте. Заказчиком таких символов может выступать как государственная власть, рассматривающая новое общественное пространство в качестве проекции современного мегаполиса на провинцию (проекты КБ «Стрелка», программа развития парков Татарстана), так и частный застройщик, который использует современное благоустройство для обогащения бренда инновационной жилой среды. В качестве примера последнего подхода можно привести ЖК «Каменный ручей» в Екатеринбурге, где два амфитеатра на небольшой территории транслируют жителям комплекса образ «продвинутого» жилья, которое отличается высоким уровнем благоустройства, сравнимым с западными образцами (рис. 6 цв. вклейки).

Таким образом, в работе выделены три функции городского амфитеатра. Первая функция – городская трибуна, места для наблюдения за ландшафтом или уличной активностью. Вторая функция – место отдыха. Помимо основных объектов наблюдения, таких как массовые мероприятия, отмечен новый объект, характерный для современных развитых городов – неформальная уличная жизнь. Третьей и немаловажной функцией современного городского амфитеатра является образ современного общественного пространства, органически связанного с амфитеатром вследствие ориентации на значимые прототипы. В таком случае вопрос, поставленный в начале работы, разрешается парадоксальным образом: мода и практическая необходимость не противоречат, а дополняют друг друга.

В заключение сформулируем рекомендации по размещению амфитеатров в городской среде. Амфитеатр уместно располагать на видовой точке. Также он мо-



жет быть запроектирован в общественном пространстве, предполагающем проведение массовых мероприятий. И, наконец, амфитеатры могут применяться в оживленных общественных пространствах с целью повышения их качества. В таком случае рекомендуется внедрять в объект дополнительные функции сервиса и торговли. Поскольку российский климат предполагает сильно выраженную сезонность использования общественных пространств, необходимо предусматривать смену функции, конфигурации или полный демонтаж амфитеатра в зимнее время.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ревзин, Г. Высокое искусство архитектуры требует фаворитизма, тишины, тайны и фундаментальной непорядочности [Электронный ресурс] / Г. Ревзин. – Режим доступа : <https://strelka.com/ru/magazine/2014/12/12/revzin-forum>.
2. Моя улица. Городская программа благоустройства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.mos.ru/city/projects/my2017/>.
3. Парки Татарстана [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://park.tatar/>.
4. Паспорт приоритетного проекта «Формирование комфортной городской среды» : утв. президиумом Совета при Президенте Рос. Федерации по стратегическому развитию и приоритетным проектам 18.04.2017 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://legalacts.ru/doc/pasport-prioritetnogo-proekta-formirovanie-komfortnoi-gorodskoi-sredy-utv-prezidiumom>.
5. Хан-Магомедов, С. О. Иван Леонидов / С. О. Хан-Магомедов. – Москва : Рус. авангард, 2009. – 368 с.
6. Мельникова, В. Институт «Стрелка» – все еще стартап [Электронный ресурс] / В. Мельникова. – Режим доступа : <http://www.the-village.ru/village/city/city/112925-varvaramelnikova>.
7. Гутнов, А. Э. Эволюция градостроительства / А. Э. Гутнов. – Москва : Стройиздат, 1984. – 256 с.
8. Гейл, Я. Города для людей : пер. с англ. / Я. Гейл. – Москва : Альпина Паблишер, 2012. – 276 с.
9. Blum, A. The imaginative structure of the city / A. Blum. – Montreal & Kingston : McGill-Queen's University Press, 2003. – 368 p.
10. Гельфонд, А. Л. Общественное здание и общественное пространство. Дуализм отношений / А. Л. Гельфонд // АСADEMIA. Архитектура и строительство. – 2015. – № 2. – С. 18–31.
11. Место неопределенных функций [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://strelka.com/ru/magazine/2017/02/28/grigory-revzin-about-public-spaces>.
12. Проект одобрен: как будет выглядеть площадь Азатлык [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://entermedia.io/news/proekt-odobren-kak-budet-vyglyadet-ploshhad-azatlyk/>.
13. Линч, К. Образ города : пер. с англ. / К. Линч ; под ред. А. В. Иконникова. – Москва : Стройиздат, 1982. – 328 с. : ил.
14. Гельфонд, А. Л. Общественное пространство как чередование зон рецепции и релаксации (на примере исторического центра Нижнего Новгорода) / А. Л. Гельфонд // Наука, образование и экспериментальное проектирование : материалы междунар. науч.-практ. конф. / Моск. архитектур. ин-т. – Москва : МАРХИ, 2014. – С. 397–402.
15. Иконников, А. В. Функция, форма, образ в архитектуре / А. В. Иконников. – Москва : Стройиздат, 1986. – 288 с.



SHIRCHKOV Evgeny Vasilevich, teacher of the chair of architecture and design

URBAN AMPHITHEATRE IN CONTEMPORARY RUSSIAN CITIES' PUBLIC SPACES

Ogaryov Mordovian State University

24, Sovetskaya St., Saransk, 430000, Russia. Tel.: +7 (8342) 48-25-64;

e-mail: localstudy13@gmail.com

Key words: public space, urban design, urban amphitheatre, small architectural form, contemporary Russian architecture.

In the today's practice of the Russian cities' development the amphitheatre becomes a demanded element of urban design. The article discusses reasons for the popularity of that type of objects in the contemporary public spaces design. The main prototypes of modern Russian amphitheatres are found. Three main functions of the city amphitheatre are defined: a viewing place, a recreation place, a symbol of the contemporary public space. The essence of the amphitheatre as an auditorium turned into public space is formulated. Brief recommendations on the use of amphitheatres in the public spaces design are given.

REFERENCES

1. Revzin G. Vysokoe iskusstvo arkhitektury trebuets favoritizma, tishiny, tayny i fundamentalnoy neporyadochnosti [The high art of architecture requires favoritism, silence, mystery and fundamental dishonesty]. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: <https://strelka.com/ru/magazine/2014/12/12/revzin-forum>.
2. Moya ulitsa. Gorodskaya programma blagoustroystva [My street. The city programme of improvement]. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.mos.ru/city/projects/my2017/>.
3. Parki Tatarstana [Parks of Tatarstan]. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: <http://park.tatar.ru>.
4. Paspport prioritetnogo proekta «Formirovanie komfortnoy gorodskoy sredy» [The passport of the priority project "Formation of comfortable urban environment"]: utv. prezidiumom Soveta pri Prezidente Ros. Federatsii po strategicheskomu razvitiyu i prioritetnym proektam 18.04.2017. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: <http://legalacts.ru/doc/pasport-prioritetnogo-proekta-formirovanie-komfortnoi-gorodskoi-sredy-utv-prezidiumom>.
5. Khan-Magomedov S. O. Ivan Leonidov. Moscow. Rus. avangard, 2009. 368 p.
6. Melnikova V. Institut „Strelka“ – vsyo escho startap [Strelka Institute is still a startup]. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.the-village.ru/village/city/city/112925-varvaramelnikova>.
7. Gutnov A. E. Evolyutsiya gradostroitelstva [Evolution of urban planning]. Moscow. Stroyizdat. 1984. 256 p.
8. Gehl J. Goroda dlya lyudey [Cities for people]. Per. s angl. Moscow. Alpina Publisher. 2012. 276 p.
9. Blum A. The imaginative structure of the city. Montreal & Kingston: McGill-Queen's University Press, 2003. 368 p.
10. Gelfond A. L. Obschestvennoe zdanie i obschestvennoe prostranstvo. Dualizm otnosheniy [Public building and public space. Dualism of relations]. ACADEMIA. Arkhitektura i stroitelstvo. № 2. Moscow, 2015. P. 18–31.
11. Mesto neopredelyonnykh funktsiy [Place of uncertain functions]. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: <http://strelka.com/ru/magazine/2017/02/28/grigory-revzin-about-public-spaces>.
12. Proekt odobren: kak budet vyglyadet ploschad Azatlyk [The project is approved: how the square of Azatlyk will look like]. [Elektronny resurs]. Rezhim dostupa: <http://entermedia.io/news/proekt-odobren-kak-budet-vyglyadet-ploshhad-azatlyk/>.
13. Lynch, K. Obraz goroda [The image of the city]. Per. s angl. Pod red. A. V. Ikonnikova. Moscow. Stroyizdat. 1982. 328 p.: il.



14. Gelfond A. L. Obschestvennoe prostranstvo kak cheredovanie zon retseptsii i relaksatsii (na primere istoricheskogo tsentra Nizhnego Novgoroda) [The public space as an alternation of zones of reception and relaxations (by the example of the historical centre of Nizhny Novgorod)]. Nauka, obrazovanie i eksperimentalnoe proektirovanie. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Science, education and experimental designing. Proceedings of the scientific conference]. Mosk. arkhitektur. in-t. Moscow. MARKhI, 2014. P. 397–402.

15. Ikonnikov, A. V. Funktsiya, forma, obraz v arkhitekture [Function, form, image in architecture]. Moscow. Stroyizdat, 1986. 288 p.

© **Е. В. Ширчков, 2018**

Получено: 23.12.2017 г.

УДК 72.03(571.14)

Д. Ю. КИСЕЛЬНИКОВА, аспирант кафедры архитектуры

ПОСТМОДЕРНИЗМ В АРХИТЕКТУРЕ НОВОСИБИРСКА 1990–2010-х ГОДОВ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств»
Россия, 630099, г. Новосибирск, Красный проспект, д. 38. Тел. (383) 209-17-50;
эл. почта: kiselnikova.darya@yandex.ru

Ключевые слова: постмодернизм, архитектура Новосибирска, стилистика

Анализируется влияние постмодернизма на архитектуру Новосибирска 1990-2010-х гг. Сравнительный анализ ряда построек позволил выделить ключевые особенности развития идей постмодернизма в городе и сравнить их с сибирскими примерами.

Стремительная история развития модернистской архитектуры XX века завершилась появлением постмодернизма – течения, которое стало популярным среди западных архитекторов с середины 1970-х годов.

Отечественная архитектура в силу исторических обстоятельств поздно присоединилась к этому движению. До 1990-х гг. подавляющее большинство жилых и общественных зданий строилось по типовым проектам, разработанным в центральных институтах СССР. Конечно, в конце 70-х и в 80-е гг. XX века были отдельные проекты, которые иллюстрировали интерес отечественных архитекторов к западным «мейнстримам». Это хорошо заметно по проектам поколения «бумажных архитекторов» (в том числе новосибирских), которые успешно выступали на международных конкурсах. Но архитектурная практика в своей массе оставалась в русле «советского модернизма».

Смена политической и экономической ситуации, случившаяся в 1990-е годы, повлекла за собой формирование строительного рынка с множеством заказчиков и независимых проектных организаций. Эти изменения вернули архитекторам возможность художественного поиска. Вырвавшись за рамки «советского модернизма», долгое время главенствующего в отечественной архитектуре, архитекторы, вынужденные во многом следовать запросам заказчиков (воспринимающих «историчность» как добавленную стоимость здания, способную обеспечить коммерческий успех строительства), стали экспериментировать в русле «постмодернизма».

Для исторических городов, таких как Москва, Санкт-Петербург или Нижний Новгород, в этот период «постмодернистские» искания были направлены на сохранение многоликой исторической среды (что порой выливалось в откровенный эклектизм). Перед архитекторами в этих городах часто стояла задача «интегрироваться в исторический контекст» [1]. Среди всех направлений постмодернизма «наибольшее распространение получили: историзм, частичный историзм и контекстуализм» [2].

Задачи, связанные с историческим контекстом, в меньшей степени стояли перед архитекторами Новосибирска – города, в котором сохранилось сравнительно немного фрагментов исторической застройки XIX–XX вв., а основная часть представлена постройками второй половины XX века. Однако местное архитектурное профессиональное сообщество живо интересовалось происходящим в мире, поэтому идеи «историзма» также нашли свое отражение в архитектуре Новосибирска, причем в своей несколько специфичной форме.

В проектах новосибирских архитекторов 1990-х гг. видны попытки стилизации и заимствований из исторических примеров. В это время в городе начинается уплотнительная застройка кварталов центра, возводятся относительно небольшие жилые дома, которые дополняют или формируют фронт улиц. Архитекторы экспериментируют с объемно-планировочными и архитектурно-художественными решениями. Примером служат дома по ул. Щетинкина, 32, (рис. 1 цв. вклейки, арх. А. Лаптяйкин), организующие часть улицы «тихого центра» города. Комплекс состоит из одноподъездного пятиэтажного жилого блока, шести блокированных домов и пристроенного административного блока. В решении фасада используются фронтоны, подчеркивающие вставки блокированных домов; секционные части увенчаны башенками, своей формой отсылающие нас к дореволюционным городским постройкам А. Д. Крячкова. В решении комплекса заметно стремление к разнообразию и противопоставление «новых форм» монотонности типовых решений жилых зданий.

Другое жилое здание, построенное в тот же период в центральной части Новосибирска по проекту архитектора А. Фомина, использует совершенно иной пластический язык: это пристройка к музыкальному колледжу по ул. Ядринцевская, 46а (рис. 2 цв. вклейки). Акцентированные вертикальные объемы лестничных клеток, с большими вставками остекления; простой объем основной части; угловые балконы – все это излюбленные приемы конструктивистов 1930-х гг. Можно найти много параллелей с проектами Б. А. Гордеева и С. П. Тургенева (жилой комбинат «Динамо» 1930–32 гг. или жилой дом Крайснабсбыта 1931–34 гг.), реализованными в Новосибирске в первой половине XX века.

На фоне явных заимствований, отсылающих нас к недавнему историческому прошлому города, интересным примером жилищного строительства для Новосибирска является жилой дом по ул. Кирова, 46 (рис. 3 цв. вклейки). Близость широкой магистрали нового центра города подтолкнула автора проекта архитектора А. Андрианова к решению монументального кубистического объема с артикулированными массивными углами и крупной рустовкой первых двух этажей. Галерейная планировка дома позволила по-иному решить уличные фасады: витражные вставки высотой в несколько этажей усиливают впечатление «столичного масштаба» здания. Этот объект – один из немногих (из построенных именно в 1990-е гг. в Новосибирске), ближе всего «приблизившихся» к западному постмодернизму: историко-стилистические аллюзии не столь явны, также не столь четко выражена функция, но заметно акцентированы монументальность и отход от модернистских планировочных схем.



Постепенно с ростом спроса на недвижимость в середине 2000-х гг., в Новосибирске начинают осваивать новые площадки под строительство на территориях, прилегающих к центральной части города. Также увеличивается объем строительства и повышается этажность новых объектов. Так, среди пятиэтажной застройки левого берега в 2006 году появляется здание, резко выделяющееся по своему масштабу – 12–16-этажный жилой дом по ул. Блюхера, 71Б (рис. 4 цв. вклейки), разработанный группой архитекторов (И. Поповский, М. Поповская, С. Траутвейн, А. Долнаков, А. Баранов, Е. Перепечина). Он имеет явные отсылки к «классицистическим» архитектурным примерам. Здесь они носят нарочито бутафорский характер. Стилизованные «портики античных храмов» увенчивают центральную часть здания, а также украшают объемы боковых блоков. Группа этих «портиков», раскинувшихся по «искусственному рельефу» дома, отсылает нас к архитектуре Акрополя, а сам объем дома превращает в подобие скалы.

В 2010-х гг. стремление к монументальности сменяется усилением тенденций эклектизма. Это ярко проявилось в архитектуре отеля «Marriott» по ул. Орджоникидзе, 31, построенному по проекту архитекторов: В. Фефелова, М. Фефеловой, Т. Голяковской (рис. 5 цв. вклейки) – облик этого здания был тепло встречен горожанами. В одном из своих интервью архитектор В. Фефелов, описывая процесс создания образа гостиницы, указал на интерес к «питерскому модерну» начала XX века и даже употребил в качестве описания здания понятие «неомодерн» [3]. Подобное «самоназвание», однако, в большей степени фиксирует «источник вдохновения» архитектора и говорит о вкусе заказчика, но плохо вписывается в привычную терминологию. Здание гостиницы, несмотря на явные исторические отсылки к архитектуре «русского модерна» (форма окон, растительные мотивы в декоре фасада и т. д.), представляет собой типичную «постмодернистскую» постройку, в которой на современный объем «навешены» атрибуты историчности («декорированный сарай» в терминологии Р. Вентури). Достаточно взглянуть на решение девятиметровой консоли, конструкция которой была уникальна для того времени в Новосибирске. На фасаде эта конструкция никак не выделяется, наоборот, тщательно маскируется в решении основного объема – сохраняется даже укрупненный руст нижнего яруса, который висит в нескольких метрах над землей.

Публичный успех здания отеля «Marriott», который неожиданно (как выяснилось и для архитектора тоже) открыл для городского обывателя и заказчиков формы и декор «русского модерна», тут же привел другого застройщика к мысли применить «успешную» стилистику к другому объекту, расположенному в центре города, на месте снесенных исторических «Федоровских бань». Однако главный архитектор города (один из соавторов здания отеля «Marriott») В. Фефелов благоразумно отказался согласовывать проект, который в худшем варианте развивал тему «русского модерна». Архитектор В. Филиппов, разработавший новый вариант фасадов бань (рис. 6 цв. вклейки), в несколько ироничной форме ответил на вопрос о стилистике здания: «...над аркадой сделали мощный карниз <...> Такой прием характерен для итальянского ренессанса. <...> Красно-бурый клинкерный кирпич <...> – это атрибуты новониколаевской купеческой архитектуры конца XIX – начала XX века. В этом смысле архитектура «Федоровских бань», конечно, эклектична. Если все-таки вернуться к конкретике стиля и выразить это одним словом, то пусть это будет “неоренессанс”» [4].

Архитектор, таким образом, продолжает «постмодернистскую игру» со смыслами и знаками даже в вопросе трактовки стилистики здания. В самой же построй-

**К СТАТЬЕ Д. Ю. КИСЕЛЬНИКОВОЙ «ПОСТМОДЕРНИЗМ В
АРХИТЕКТУРЕ НОВОСИБИРСКА 1990–2010-Х ГОДОВ»**



Рис. 1. Жилые дома по ул. Щетинкина, 32 в Новосибирске (арх. А. Лаптяйкин), 1997 г.



Рис. 2. Жилой дом ул. Ядринцевская, 46а в Новосибирске (арх. А. Фомин), 1998 г.



Рис. 3. Жилой дом по ул. Кирова, 46 в Новосибирске (арх. А. Андрианов), 2001 г.



Рис. 4. Жилой дом по ул. Блюхера, 71Б в Новосибирске (арх. И. Поповский, М. Поповская, С. Траутвейн, А. Долнаков, А. Баранов, Е. Перепечина), 2006 г.



Рис. 5. Отель «Marriott», ул. Орджоникидзе, 31 в Новосибирске (арх. В. Фефелов, М. Фефелова, Т. Голяковская), 2014 г.



Рис. 6. «Федоровские бани», Советская, 36 в Новосибирске (решение фасада – В. Филиппов, Д. Плаксин), 2015–2017 гг.



Рис. 7. Торговый центр «Амстердам» в Новосибирске (арх. В. Филиппов, Е. Филиппов, Д. Кирюхин), 2016 г.



Рис. 8. Жилой дом «Старая крепость» в Омске (арх. А. Бегун), 2009 г.



Рис. 9. Административное здание на ул. Думской в Омске (арх. С. Хусаинов, Н. Сухорукова, А. Сергеев, А. Бааль, Н. Ромазанова), 2010 г.



Рис. 10. Жилой дом на пересечении пр. Ленина и ул. Партизанской в Барнауле (арх. В. Золотов), 2000 г.



Рис. 11. Жилой дом на ул. Молодежной в Барнауле (арх. В. Золотов), 2003 г.



Рис. 12. Жилой дом по пр. Ленина, 12 в Барнауле (арх. А. Деринг, С. Тисленко), 2005 г.



ке используются приемы разных архитектурных стилей, что позволяет объекту органично вписаться в окружение, перекликаясь с исторической застройкой площади.

Развитие подобного использования «историзма» в архитектуре можно увидеть в решении фасада торгового центра «Амстердам» (рис. 7 цв. вклейки), архитекторы: В. Филиппов, Е. Филиппов, Д. Кирюхин, где декорации из «домов» европейской улицы контрастируют с ультрасовременной стеклянной структурой центрального атриума. Кирпичные и оштукатуренные «фасады» нависают над сплошным остеклением, даже не касаясь земли. Архитектура, навеянная «европейскими улицами», играет роль «вывески» на современном здании, превращаясь в постмодернистский «знак». Это здание окончательно порывает с попытками воссоздать или привнести «историчность» и переходит к постмодернистской иронии и гротеску.

Выражение идей постмодернизма в Новосибирске в 1990–2010 гг. таким образом прошло путь от частичного историзма и цитирования до «ироничных» включений элементов из мирового архитектурного наследия.

Схожий путь развития идей постмодернизма можно проследить и в архитектуре других сибирских городов. Однако в исторических городах, таких как Омск или Барнаул (которые старше Новосибирска в два раза), значение «историзма» как попытки поиска местной аутентичности имеет большее значение.

Одной из таких попыток «учитывать дух места», как пишет в своей статье А. Н. Гуменюк, в Омске можно считать возвращение в 1990–2000-е гг. к «модерну» начала XX века. Но даже в статье, посвященной «неомодерну», отмечается, что «в ретроспективные поиски оптимального архитектурного языка вплетается эклектичная компонента постмодернизма»[5]. В дальнейшем тенденции эклектизма в архитектуре Омска только усиливались. На региональных конкурсах в 2010-х гг. привлекают внимание проекты омских архитекторов, где уже не так сильно влияние местных традиций, но заметнее вклад идей постмодернизма и ориентация на мировые образцы. Можно отметить жилой дом «Старая крепость», построенный по проекту архитектора А. Бегун в 2009 г. (рис. 8 цв. вклейки) и административное здание на ул. Думской, созданное авторским коллективом «Омскгражданпроекта» (арх. С. Хусаинов, Н. Сухорукова, А. Сергеев, А. Бааль, Н. Ромазанова) в 2010 г. (рис. 9 цв. вклейки). Последнее представляет особый интерес, так как в композиции объекта использованы фрагменты исторических построек начала XX века. Архитекторы справились со сложной задачей включения объекта в историческую застройку, создав современное функциональное здание, учитывая при этом сложный контекст, и заслуженно получили главную награду конкурса «Золотая капитель» в 2010 году.

Этот региональный конкурс, который проводится в Новосибирске с 1996 года, стал настоящим барометром изменений, происходящих в архитектуре сибирских городов. В начале 2000-х гг. лидерами этих «архитектурных соревнований» часто становились барнаульские мастера.

Экономика Барнаула тяжелее переживала кризис 1990-х гг., объемы строительства намного уступали и Новосибирску, и Омску, однако это не помешало (а, возможно, отчасти способствовало) созданию ряда объектов, резко выделяющихся на фоне архитектуры других сибирских городов.

Говоря об этом феномене, в первую очередь следует упомянуть проекты В. Золотова начала 2000-х гг. В работах этого барнаульского архитектора особое значение приобретает пластичность и метафоричность создаваемых образов (рис. 8–9 цв. вклейки). Описывая использование метафор в архитектуре постмо-



дернизма, Ч. Дженкс указывает на частое стремление к антропоморфности. И хотя в постройках Золотова нет прямых антропоморфных метафор, нередко его объекты получают у горожан «очеловеченные» названия, например «Три богатыря» (рис. 8 цв. вклейки).

Другой архитектор Барнаула, проекты которого нередко получали награды на региональных и общероссийских конкурсах – А. Деринг. В начале 2000-х гг. в проектах его мастерской (например, жилой дом по пр. Ленина 12, арх. А. Деринг, С. Тисленко, 2005 г., рис. 10 цв. вклейки) тоже можно отметить стремление к пластичности и метафоричности, однако здесь в отличие от проектов В. Золотова оно получило более сдержанное и лаконичное выражение.

Подводя итоги, можно отметить, что в архитектуре сибирских городов, как и в других российских городах, в период 1990–2010-х гг. наблюдается влияние идей постмодернизма. На раннем этапе это выражается в историзме и поисках аутентичности через цитирования и ссылки на местные исторические примеры. А с середины 2000-х гг. перерастает в постмодернистскую иронию и использование в создании образа здания не только элементов из словаря местной архитектуры, но и ссылок на мировые «знаки».

В отличие от исторических городов Сибири (таких как Омск и Барнаул) в Новосибирске не было столь ярких поисков новой пластичности и экспериментов в области формообразования.

Несмотря на общие тенденции изменения отношения к местным традициям и источникам вдохновения, которые можно проследить в творчестве новосибирских архитекторов, значительным остается значение авторского почерка и вкуса заказчика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Худин, А. А. Постмодернизм в архитектуре Москвы и Санкт-Петербурга: черты сходства и отличия / А. А. Худин // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2015. – № 3. – С. 161–166.
2. Орельская, О. В. Постмодернизм в архитектуре Нижнего Новгорода / О. В. Орельская // Предмет архитектуры: искусство без границ : сб. науч. тр. – Москва, 2011. – С. 470–488.
3. Иванеко, Т. Ю. Немного модерна в холодных снегах: Отель Marriott в Новосибирске / Т. Ю. Иванеко // Современная архитектура etc. – Новосибирск, 2014. – № 6. – С. 90–115.
4. Сафонова, Е. Первые два этажа получит мэрия [Электронный ресурс] / Е. Сафонова // N1.ru. – Новосибирск, 2013. – Режим доступа : https://novosibirsk.n1.ru/articles/pervye_dva_etazha_poluchit_meriya-1565348 (дата обращения: 30.05.2017).
5. Гуменюк, А. Н. Современные интерпретации историко-культурного наследия: неомодерн в архитектуре Омска / А. Н. Гуменюк // Гуманитарные исследования в Восточной Сибири и на Дальнем востоке. – 2013. – № 2. – С. 83–86.

KISELNIKOVA Darya Yusufovna, postgraduate student of the chair of architecture

POSTMODERNISM IN THE ARCHITECTURE OF NOVOSIBIRSK IN 1990–2010

Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts
38, Krasny prospect, Novosibirsk, 630099, Russia. Tel.: +7 (383) 209-17-50;
e-mail: kiselnikova.darya@yandex.ru
Key words: postmodernism, architecture of Novosibirsk, style.

The article analyzes the postmodernism of the 1990-2010 in the architecture of Novosibirsk. A comparative analysis of a number of postmodern buildings makes it possible to identify the key features of the development of this trend in the city, and compare them with other Siberian examples.



REFERENCES

1. Khudin A. A. Postmodernizm v arkhitekture Moskvy i Sankt-Peterburga: cherty skhodstva i otlichiya [Postmodernism in the architecture of Moscow and St.Petersburg: similarities and differences]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegor. gos. arkhitektura.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2015. № 3. P.161–166.
2. Orelskaya O. V. Postmodernizm v arkhitekture N. Novgoroda [Postmodernism in the architecture of Nizhny Novgorod]. *Predmet arkhitektury: iskusstvo bez granits [Subject of the architecture: the art without borders]*. Sb. nauch. tr. Moscow. 2011. P. 470–488.
3. Ivaneko T. Yu. Nemnogo moderna v kholodnykh snegakh: Otel Marriott v Novosibirske [A bit of the Art Nouveau in cold snows: The Marriott Hotel in Novosibirsk]. *Sovremennaya arkhitektura etc. [Modern architecture etc.]*. Novosibirsk. 2014. № 6. P. 90–115.
4. Safonova E. Pervye dva etazha poluchit meriya [The first two floors will be given to the municipality]. [Elektronny resurs]. Novosibirsk, 2013. Rezhim dostupa: https://novosibirsk.n1.ru/articles/pervye_dva_etazha_poluchit_meriya-1565348/ (data obrascheniya : 30.05.2017).
5. Gumenyuk A. N. Sovremennye interpretatsii istoriko-kulturnogo naslediya: neomodern v arkhitekture Omska [Modern interpretations of historical and cultural heritage: the neomodern in Omsk architecture]. *Gumanitarnye issledovaniya v Vostochnoy Sibiri i na Dalnem vostoке [Humanity research in the Russian Far East]*. 2013. № 2. P. 83–86.

© Д. Ю. Кисельникова, 2018

Получено: 16.10.2017 г.

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 728.2

Е. М. ГЕНЕРАЛОВА, канд. арх., проф. кафедры архитектуры жилых и общественных зданий

ОБСЛУЖИВАЮЩИЕ ЗОНЫ В ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСАХ

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Архитектурно-строительный институт

Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194. Тел.: (846) 339-14-42; эл. почта: generalova-a@yandex.ru

Ключевые слова: высотные жилые здания, жилые комплексы с обслуживанием, кондоминиумы, комфортность жилой среды.

Рассматриваются вопросы, связанные с поиском новой типологии высотных зданий, учитывающей текущие приоритеты развития городской среды в условиях интенсивной урбанизации. Обоснована актуальность строительства высотного жилья как ответ на глобальные вызовы современного развития городской инфраструктуры. Раскрываются объемно-планировочные и функциональные особенности высотных жилых комплексов с обслуживанием, тенденции и перспективы их развития в процессе гуманизации жилой среды городов.

На современном этапе развития высотных зданий возникает целый ряд вопросов, связанных с адаптацией различных типологических групп к изменяющимся потребностям общества. Формирование типологии небоскребов основано на таких классификационных признаках как: высота, этажность, функция, материал, конструкция и др. Рассмотрим «функцию» как один из самых важных критериев оценки любого объекта. В последнее время именно функциональная структура высотных зданий и комплексов находится под пристальным вниманием исследователей, осознающих необходимость поиска новой типологии небоскребов, способных стать решением самых острых проблем нашего времени [1–10].

Выделяют две основные группы высотных зданий: монофункциональные (single-function tall buildings) и многофункциональные (mixed-use tall buildings). Несмотря на то, что именно многофункциональность делает высотную застройку эффективным средством повышения плотности городской среды и соответствует концепции «трехмерного» многослойного развития города, монофункциональные высотные здания не теряют своей актуальности. Среди них выделяют три основные группы: «жилье», «офисы» и «гостиницы». В данной статье внимание сфокусировано на высотных жилых зданиях.

Обратимся к статистике. За более чем 100-летний период развития высотного строительства (1885–2000 гг.) было построено 1 110 зданий выше 150 метров. По функции в процентном отношении они распределились таким образом: офисы – 71 %; жилье – 13 %; гостиницы – 1 %; многофункциональные – 5 %. Интерес к высотному строительству в XXI веке растет чрезвычайно быстрыми темпами. Об этом свидетельствуют следующие цифры. За период 2001–2017 гг., т. е. всего за неполные 17 лет было построено 2 774 здания выше 150 м. Существенно изменилось соотношение типологических групп по функциям: офисы – 32 %; жилье – 44 %; гостиницы – 4 %; многофункциональные – 19 %.



Видно, что актуальность высотного жилья выросла, появился даже такой термин – «высокая жизнь» («the high life»), который характеризуется целым рядом признаков. В данной статье поставлена задача: выявить современные объемно-планировочные и функциональные особенности данной типологии жилья, определить тенденции и перспективы ее развития. Как правило, жилые небоскребы называют кондоминиумами («condominium»), сокращенно – «condo» или комплексами апартаментов («apartment complex»). Следует уточнить сущность этих понятий. Кондоминиум в зарубежной практике – это многоквартирный дом или группа зданий вместе с земельным участком, представляющие собой единый комплекс, в котором квартиры являются собственностью жильцов, а остальное имущество дома и земля являются их совместной собственностью (без выделения долей) и находятся в управлении компанией, выбранной от имени домовладельцев. В «комплексах апартаментов» квартиры представляются жильцам на правах аренды. Т. е. разница между «комплексом апартаментов» («apartment complex») и «кондоминиумом» («condominium») является чисто юридической, затрагивает права собственности и, как правило, не отражается на функциональных и объемно-планировочных особенностях.

Поэтому в дальнейшем предлагается использовать понятие **«высотный жилой комплекс с обслуживанием»**, включающий два основных функционально-планировочных компонента: «жилые ячейки» и «обслуживание». Процесс адаптации к современным потребностям общества, безусловно, затрагивает оба компонента, но в рамках данного исследования предлагается сфокусировать внимание на «обслуживании» и объемно-планировочных приемах его взаимодействия с «жилыми ячейками». Изучая передовой зарубежный опыт проектирования современных высотных жилых комплексов, следует отметить, что этот функционально-планировочный компонент (группа помещений, обеспечивающих выполнение определенного процесса) определяется как «amenities» или «facilities».

Несмотря на то, что номенклатура «элементов обслуживания» может изменяться в зависимости от региона и уровня планировочного стандарта, анализ показал, что их можно объединить в следующие основные группы:

- 1) отдых-общение (открытые террасы с озеленением, библиотека, гостиная с камином, помещения для проведения праздников и мероприятий, открытая смотровая площадка на крыше и т. п.);
- 2) развлечения (детские игровые комнаты и площадки, бильярд, кинозал и т. п.);
- 3) спорт (бассейн, тренажерный зал, спортивные площадки: теннис, баскетбол, волейбол, гольф-симулятор, альпинистская стена и т. п.);
- 4) оздоровление (сауна, хаммам, джакузи, массаж, йога и т. п.);
- 5) питание (обеденный зал с кухней для организации званых обедов с участием приглашенного шеф-повара, площадки для барбекю, кафе, рестораны);
- 6) торговля (супермаркет, бутики или торговый центр);
- 7) паркинг (подземный, встроенно-пристроенный, автоматизированный, при каждой квартире).

В основном «обслуживание», перечисленное выше, предназначено только для жителей комплекса и их гостей. Однако некоторые элементы, входящие в группы «питание» и «торговля», могут быть «открытого типа» и находиться в открытом доступе для всех горожан. В условиях сверхплотной городской среды, когда высотные жилые комплексы строятся на минимальных по площади земельных участках, следует говорить о развитии тенденции распределения

К СТАТЬЕ Е. М. ГЕНЕРАЛОВОЙ
«ОБСЛУЖИВАЮЩИЕ ЗОНЫ В ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСАХ»

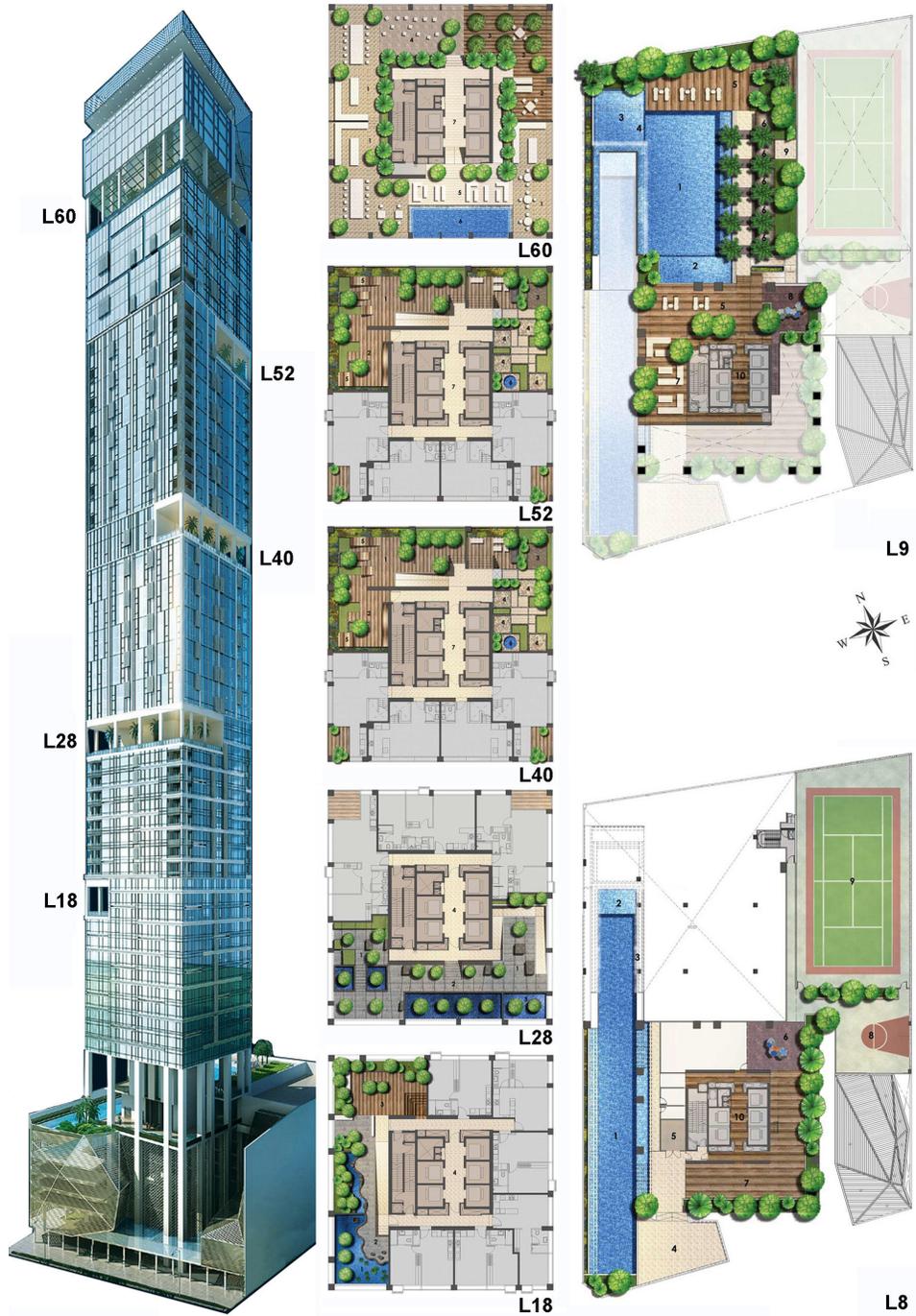


Рис. 1. Жилой комплекс «Altez» (62 этажа, 280 квартир), Сингапур, 2014 г.
[<http://www.altez.cos.sg/site-map/>]

Sky Gardens

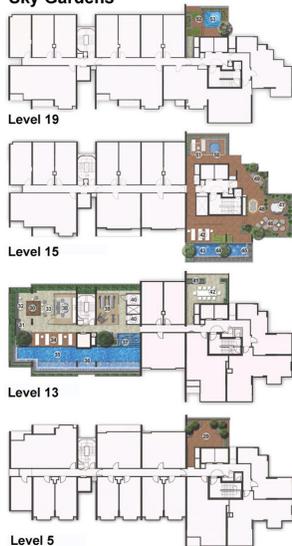


Рис. 2. Жилой комплекс «Fulcrum» (24 этажа, 128 квартир) [<http://www.fulcrum-condo.com.sg>]



a



б

Рис. 3. Жилые комплексы: *a* – «New Futura» (36 этажей, 124 квартиры), Сингапур, 2015 г. [<http://www.newfuturaadl.com.sg/>]; *б* – «Nouvel 18» (36 этажей, 156 квартир), Сингапур, 2014 г. [<http://www.thepenthousecollections.com/nouvel-18.html>]



обслуживающих функций в структуре здания на разных этажах, а не только в стилобате, расположенном в основании небоскреба. Для определения данного феномена формирования неоднородной структуры жилого небоскреба, имеющего сложную пространственную организацию, предлагается использовать термин «принцип инкорпорирования», который объединяет различные приемы внедрения и распределения «элементов обслуживания» среди «жилых ячеек».

Для обозначения этажей с «элементами обслуживания» для жильцов используются термины «клубный этаж», «sky garden» или «sky terraces», их количество и месторасположение может варьироваться достаточно в широком диапазоне. На сегодняшний день наиболее активно в этом направлении развивается проектирование городского многоквартирного жилья в Сингапуре. Например, в жилом комплексе «Altez» (250 м, 62 этажа, 280 квартир, 2014 г.) продвигается концепция вертикального самодостаточного города и предлагается современная трактовка термина «высокая жизнь», сочетающая напряженный ритм и энергию городской жизни с уединением, спокойствием и неприкосновенностью частных резиденций.

Квартиры начинаются только с 10-го этажа и варьируются от 1-, 2- и 3-комнатных лофтов до пентхаусов. В основании башни (с 1-го по 7-й этажи) расположен торговый центр и паркинг, обеспечивающий связь кондоминиума с городской средой.

Над торговым центром начинается территория только для жильцов; на 8-м и 9-м этажах предусмотрены различные виды бассейнов (50-метровый, детский, для релаксации), водопады, площадка для отдыха на солнце, спортзал, детская фитнес-зона, терраса для аэробики и фитнес-зал, баскетбольная площадка, теннисный корт, игровая зона для детей и т. п.

Помимо этого в структуре здания на 18-м, 28-м, 40-м, 52-м и 60-м этажах организовано еще несколько зон социальных и досуговых удобств. На 18-м этаже создано идеальное место для отдыха с декоративным ручьем, с площадками для отдыха на берегу, открытой террасой для пикника и пышным озеленением. Терраса на 28-м этаже трактуется как бульвар для прогулок, а 40-й этаж занимает общественное пространство для занятий тай-чи, йогой и танцами с мини-амфитеатром для творческих встреч. Пространство на 52-м этаже – это место для отдыха, включающее зеленую зону, декоративные водоемы, спа-бассейн с подогревом и зону рефлексологии. В завершение на 60-м этаже, находясь в саду с водопадом и наслаждаясь потрясающим панорамным видом на город и море, можно воспользоваться помещениями с кухонным оборудованием и обеденными зонами, идеально подходящими для проведения семейных праздников и организации вечеринок (рис. 1 цв. вклейки).

Это не единственный сингапурский пример «многослойной» интеграции обслуживающих функций в структуре высотных кондоминиумов. Жилой комплекс «Fulcrum» (24 этажа, 128 квартир) состоит из одной башни, в которой, кроме цокольного и первого этажей, обслуживание гармонично инкорпорировано на 5-м, 13-м, 15-м и 19-м уровнях (рис. 2 цв. вклейки).

Похожую структуру имеет еще один сингапурский жилой комплекс – «New Futura» (36 этажей, 124 квартиры). Он состоит из двух башен («Блок 16» и «Блок 18»). Помимо мест для отдыха, развлечений и спортивных занятий, расположенных на компактной территории комплекса и в структуре цокольного этажа, имеются развитые обслуживающие функции еще на 7 различных уровнях (по 3 этажа в каждой башне). В «Блоке 16» – это 10-й, 23-й, 28-й, а в «Блоке 18» – 14-й, 23-й и 30-й этажи. На уровне 3-го этажа всю композицию объединяет фитнес-терраса (рис. 3а цв. вклейки).



Жилой комплекс «Nouvel 18» (36 этажей, 156 квартир) получил 8 тематических террас с удобствами. Объемно-планировочной особенностью «sky terraces» как в данном комплексе, так и в примерах, перечисленных выше, является то, что на плане этажа они занимают лишь часть его площади, а в объеме здания они решаются как «многосветные» пространства, охватывающее от двух до семи этажей (рис. 3б цв. вклейки).

Выводы

Со времени появления первых небоскребов в конце XIX века их типология активно развивается, претерпевая значительные изменения. Высотные здания являются эффективным инструментом в борьбе с разрастанием городов в процессе интенсивной урбанизации. Высокая плотность застройки может обеспечить требования к высокому качеству жизни. На сегодняшний день уплотнение городской среды за счет строительства высотного жилья опирается на поиск новой структуры высотной жилой башни, основанной на *принципах инкорпорирования* многочисленных и разнообразных зон общественного обслуживания в массиве «жилых ячеек», с целью гуманизации пространства внутри небоскреба. Это позволяет создавать удобную и комфортную жилую среду, способствуя формированию и полноценному развитию личности, улучшая экологическое и экономическое состояние существующих городов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гельфонд, А. Л. Архитектурная типология в аспекте жизненного цикла здания / А. Л. Гельфонд // ACADEMIA. – 2011. – № 2. – С. 40–47.
2. Генералов, В. П. Инновационные решения жилой застройки для условий сдерживания территориального роста городов / В. П. Генералов, Е. М. Генералова // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 3. – С. 23–28.
3. Генералова, Е. М. Супертонкие жилые небоскребы в Нью-Йорке как новое направление в типологии высотных зданий / Е. М. Генералова, В. П. Генералов // Градостроительство и архитектура. – 2016. – № 4 (25). – С. 85–91.
4. Жоголева, А. В. Этапы развития гуманной жилой среды как устойчивой средовой системы / А. В. Жоголева, А. Н. Терягова // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2016. – № 2. – С. 138–144.
5. Генералов, В. П. Выявление отличительных особенностей понятий «комфорт проживания» и «комфортная жилая среда» / В. П. Генералов, Е. М. Генералова // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2016. – № 2 (23). – С. 85–90.
6. Modi, S. Improving the Social Sustainability of High-Rises / S. Modi // CTBUH Journal. – 2014. – Issue I. – P. 24–30.
7. Генералов, В. П. Устойчивая архитектура. Энергоэффективность и экологичность массового доступного жилья на примере Гонконга / В. П. Генералов, Е. М. Генералова // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2015. – № 4 (21). – С. 32–38.
8. Wood, A. Rethinking the Skyscraper in the Ecological Age: Design Principles for a New High-Rise Vernacular / A. Wood // Future Cities: Towards Sustainable Vertical Urbanism : proceedings of the CTBUH 2014 Shanghai Conference. Shanghai, China. 16-19 September 2014. – P. 26–38.
9. Вавилова, Т. Я. Международный опыт реабилитации депрессивных жилых территорий в интересах устойчивого развития [Электронный ресурс] / Т. Я. Вавилова // Архитектон: известия вузов. – 2015. – № 1 (49). – Режим доступа : http://archvuz.ru/2015_1/4.
10. Маевская, М. Высотная Азия / М. Маевская // Высотные здания. – 2017. – № 1. – С. 18–27.



GENERALOVA Elena Mikhaylovna, candidate of architecture, professor of the chair of Architecture of residential and public buildings

SERVICE ZONES IN HIGH-RISE RESIDENTIAL COMPLEXES

Institute of Architecture and Civil Engineering of Samara State Technical University
194, Molodogvardeyskaya St., Samara, 443001, Russia. Tel.:+7 (846) 339-14-42;
e-mail: generalova-a@yandex.ru

Key words: high-rise residential buildings, residential complexes with services, condominiums, comfort living environment.

The article is devoted to the issues related to the search for a new typology of high-rise buildings that takes into account current urban environment development priorities under intense urbanization. The importance of building high-rise housing as a response to the global challenges of modern urban infrastructure development is justified. The article provides space planning and functional characteristics of high-rise housing complexes, the trends and prospects for their development in making the living environment of cities more humane.

REFERENCES

1. Gelfond A. L. Arkhitekturnaya tipologiya v aspekte zhiznennogo tsikla zdaniya [Architectural typology in terms of the life cycle of the building]. ACADEMIA. 2011. № 2. P. 40–47.
2. Generalov V. P., Generalova E. M. Innovatsionnye resheniya zhiloy zastroyki dlya usloviy sderzhivaniya territorialnogo rosta gorodov [Innovative solutions of residential development for restraining territorial growth of cities]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]. 2017. № 3. P. 23–28.
3. Generalova E. M., Generalov V. P. Supertonkie zhilye neboskryoby v Nyu-Yorke kak novoe napravleniye v tipologii vysotnykh zdaniy [Super-slender residential skyscrapers in New York as a new direction in high-rise buildings typology]. Gradostroitelstvo i arkhitektura [Town planning and architecture]. 2016. № 4(25). P. 85–91.
4. Zhogoleva A. V., Teryagova A. N. Etapy razvitiya gumannoy zhiloy sredy kak ustoychivoy sredovoy sistemy [Stages of development of humane residential environment as a sustainable environmental system]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2016. № 2. P. 138–144.
5. Generalov V. P., Generalova E. M. Vyyavlenie otlichitelnykh osobennostey ponyatiy «komfort prozhivaniya» i «komfortnaya zhilaya sreda» [Revealing the special features of the concepts «comfortable living» and «comfortable living environment»]. Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arkhitektura [Vestnik of SSUACE, Town Planning and Architecture]. 2016. № 2(23). P. 85–90.
6. Modi S. Improving the social sustainability of high-rises. CTBUH Journal. 2014. Issue I. P. 24–30.
7. Generalov V. P., Generalova E. M. Ustoychivaya arkhitektura. Energoeffektivnost i ekologichnost massovogo dostupnogo zhilya na primere Gonkonga [Sustainable architecture. Energy efficiency and sustainability of affordable housing on the example of Hong Kong]. Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arkhitektura [Vestnik of SSUACE. Town Planning and Architecture]. 2015. № 4(21). P. 32–38.
8. Wood A. Rethinking the skyscraper in the ecological age: design principles for a new high-rise vernacular. Proceedings of the CTBUH 2014 Shanghai conference «Future cities: Towards sustainable vertical urbanism». Shanghai, China. 16th-19th September 2014. P. 26–38.
9. Vavilova T. Ya. Mezhdunarodny opyt rehabilitatsii depressivnykh zhilykh territoriy v interesakh ustoychivogo razvitiya [International experiences in urban rehabilitation to ensure sustainable development of depressed residential areas]. [Elektronnyy resurs]. Arkhitekton: izvestiya vuzov [Architecton]. 2015. № 1(49). Rezhim dostupa: http://archvuz.ru/2015_1/4.
10. Maevskaya M. Vysotnaya Aziya [Asian Heights]. Vysotnye zdaniya [Tall Buildings]. 2017. № 1. P. 18–27.

© **Е. М. Генералова, 2018**

Получено: 09.12.2017 г.



УДК 728.1:72.023+72.01

Н. О. ПРОХОЖЕВ, магистрант кафедры архитектурного проектирования;
О. А. ПРОХОЖЕВ, доц. кафедры дизайн-проектирования и изобразительных искусств

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНДУСТРИАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ИЗ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-03-91, (831) 430-17-83;
эл. почта: artpress100399@gmail.com, nikiarch94@gmail.com

Ключевые слова: холодногнутой профиль, объемно-блочное домостроение, индустриализация, архитектурное проектирование.

Рассмотрены особенности архитектурного формообразования жилых зданий из легких стальных тонкостенных конструкций в условиях индустриализации строительства. Раскрываются основные особенности архитектурного формообразования жилых зданий из ЛСТК: технологичность, квалитетричность, структурная и эстетическая целостность.

Металлические конструкции являются структурной основой многих крупных городских сооружений. Гибкая и универсальная промышленная технология выражается в соответствующей системе архитектурных форм. Согласованность междуновой промышленной технологией и архитектурной формой устанавливается в непрерывном процессе ее эстетического переосмысления. Процесс внедрения в строительную практику индустриальных технологий вызвал глубокие изменения в области архитектурного формообразования жилых зданий. В условиях практического освоения эффективных методов производства строительных элементов особое место занимают факторы, влияющие на технологичность проектного решения. Достигнутый высокий уровень стандартизации и типизации сборных строительных элементов дает необходимые основания для переноса опыта повышения технологичности проектных решений из сферы машиностроения в сферу строительства.

Одним из тех, кто призывал к почти полному отказу от веками проверенных архитектурных приемов формообразования, был архитектор Н. А. Ладовский. В 1931 г. он получил авторское свидетельство (патент) № 21406 на каркасное жилище, собираемое из заранее заготовленных стандартных элементов, а именно из оборудованных жилых ячеек (кают-кабин) нескольких типоразмеров. До 1950-х годов предложения по укрупнению строительных элементов и применению объемных блок-комнат в индустриальном домостроении не получили развития из-за отсутствия технологии изготовления блоков, способов их транспортировки и установки в проектное положение. Ситуация изменилась, когда Совет Министров СССР 3 февраля 1969 г. принял специальное постановление, согласно которому в стране должно быть построено 25 заводов объемно-блочного домостроения [1, с. 4]. Было разработано несколько серий жилых домов с учетом климатических и сейсмических особенностей, где монолитная железобетонная пространственная пятиплоскостная конструкция после дополнительной комплектации перегородками и оборудованием определяла формальную структуру жилой ячейки серий домов БКР-1, БКР-2 и других. Каркасные конструктивные решения жилых



зданий из легких металлических конструкций не стали приоритетными и не получили широкого распространения в отечественной строительной индустрии. Американская инженерная школа конструирования из металла исторически отличалась от европейской и опиралась на иные принципы, основанные на опыте эксплуатации высотных зданий и сооружений. В данном случае расход металла играл второстепенную роль, поскольку основной задачей было увеличение темпа строительно-монтажных работ за счет унификации и простоты компоновки конструктивных элементов. Отечественная и европейская инженерные школы в конструктивных решениях применяли преимущественно «статически ясные» расчетные схемы, которые давали необходимые технико-экономические преимущества при оптимизации веса конструктивных элементов в зависимости от их места в конструктивной системе. Впоследствии советская конструкторская школа взяла курс на снижение трудоемкости монтажа в сочетании с требованием экономии стали, что стало отправной точкой развития отрасли легких стальных конструкций с 1970-х гг. В зарубежной практике индустриального домостроения архитектурно-конструктивные элементы из холодногнутой стали широко не применялись до 1940-х гг.

Существует прямая качественная связь между спецификой социально-функциональных требований, предъявляемых к архитектурному проекту жилого здания, и степенью технологичности конструктивных решений. Несмотря на схожесть геометрических характеристик и показателей веса комплекса строительных элементов, сгруппированных по принципам типизации и стандартизации, сборные элементы приобретают отличные друг от друга свойства в условиях производства строительно-монтажных работ. На современном этапе развития структуры строительного производства, технологичность архитектурного проекта в области индустриального домостроения следует рассматривать в трех аспектах [4, с. 60]:

- технологичность строительных элементов, изделий и деталей в процессе их заводского изготовления (заводская технологичность);
- технологичность строительных элементов, изделий и деталей в процессе их транспортирования, складирования и укрупнительной сборки (транспортбельность);
- технологичность строительных элементов, изделий и деталей в процессе возведения зданий и сооружений (строительная технологичность).

На данный момент формообразование жилых зданий, направленное на снижение трудоемкости производства, материалоемкости и стоимости конструктивных решений, развивается в разных направлениях. Растет спрос на рентабельные и технологичные конструктивные решения, в связи с чем присутствие «мокрых» процессов на строительной площадке отрицательно влияет на быстровозводимость и качество жилых зданий. Одним из направлений повышения быстровозводимости и технологичности может стать применение легких металлических конструкций. Особое место в данной отрасли строительной индустрии занимают конструкции из тонкостенных холодногнутых оцинкованных профилей. К легким стальным тонкостенным конструкциям (ЛСТК) принято относить холодногнутые профили толщиной от 0,5 до 2,0 мм, выполненные из рулонной оцинкованной стали с цинковым покрытием по ГОСТ 14918-80* [3, с. 3]. Широко распространенные в отечественном производстве профили швеллерного, С-образного, Z-образного и Ω-образного сечений являются необходимой основой для формирования несущего остова архитектурного объекта. Неоспоримыми



достоинствами данной технологии являются сокращение сроков строительства, уменьшение собственного веса конструкций, высокая точность сборки каркаса из унифицированных элементов, разнообразие архитектурных форм. Потенциал, заключенный в конструктивных элементах и строительных изделиях, выполненных из холодногнутой стали, позволяет сформировать устойчивые архитектурно-конструктивные структуры «... и будет заключаться в изготовлении методом массового производства готовых жилищ, которые не будут теперь возводиться на строительной площадке, но будут изготавливаться на специальных предприятиях в форме составных частей или комплектов, подлежащих сборке...» [2, с. 189]. В данном аспекте индустрия легких стальных тонкостенных конструкций имеет ряд преимуществ:

- высокие архитектурно-эстетические качества и адаптация к индивидуальным требованиям заказчика;
- широкие возможности для унификации и стандартизации всех элементов каркаса;
- высокий уровень автоматизации профилегибочных линий производства при минимальном времени переналадки оборудования;
- отсутствие необходимости в складских площадях на строительных площадках;
- сокращение сроков выполнения строительно-монтажных работ ввиду отсутствия «мокрых» процессов.

Исходной формой при осуществлении формообразования каркаса на основе ЛСТК является форма поперечного сечения холодногнутого стального профиля. Следует отметить, что «при конструировании элементов из гнутых профилей необходимо, как правило, проектировать сечения стержней, приспособленные для конкретного назначения <...> Поэтому не может быть профиля с универсальным сечением» [5, с. 16]. На данный момент сборка каркаса здания из укрупненных элементов реализована в каркасно-щитовой и объемно-модульной строительной системах. Закономерным итогом развития крупнопанельного строительства является объемно-блочное домостроение. Внешний облик жилых домов из объемных блоков может быть самым разнообразным благодаря возможности гибко изменять композиционную структуру архитектурного объекта, способности выявить пластичность и скульптурность ячеистой структуры жилого здания.

Как правило, в процессе архитектурного проектирования на основе легких стальных конструкций автор или творческая группа последовательно рассматривают всю эволюцию архитектурной формы от исходных геометрических характеристик сборочных элементов каркаса до устойчивой конструктивной структуры здания в целом, поскольку технико-экономические результаты применения холодногнутого профилей во многом зависят от условий их изготовления и применения. Объективной причиной контроля всех стадий укрупнения сборочных элементов является сложность работы холодногнутого профилей на устойчивость и необходимость их полной стандартизации. Сочетание технической идеи с архитектурно-художественной концепцией является отличительной чертой процесса формообразования зданий и сооружений из легких стальных конструкций. Иными словами, классификация строительных элементов должна производиться не только по существенным формальным признакам, но также включать критерии качественного единства, подобия, иерархии, которые необходимы для комплексной оценки степени согласованности между тектоническими и эстетическими связями архитектурного объекта. Исходя



из заданных типологических признаков проектируемого здания или сооружения, технологически отработанный комплекс строительных элементов приобретает системные качества и становится морфологизированным продуктом – изделием. Важность данной идеи заключается в том, что кажущаяся недолговечность быстровозводимого жилого здания нивелируется технико-эстетическими качествами конструктивных элементов, тем самым решается аксиологическая проблема, свойственная, как правило, архитектуре временных зданий и сооружений.

Перенос технико-эстетической формы деятельности из сферы машиностроения в архитектурную практику активно включает в процесс создания архитектурной формы специальных системных условий, влияющих на повышение эффективности производства и качества промышленной продукции. Система может быть определена как совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и материально-пространственной средой. Следовательно, специфика условий проектирования и производства строительных элементов, блоков и изделий из легких стальных тонкостенных конструкций опирается на особые интегрирующие положения, выраженные в принципе поэлементного строения технико-процессуальной системы. Данный принцип утверждает самостоятельность и индивидуальную значимость компонентов системного объекта в зависимости от их положения в иерархии структурно-этапного процесса проектирования. Более того, используя системно-интегрирующий подход, возникает объективная возможность оценки проектных решений на разных уровнях материализации архитектурно-художественной концепции. Таким образом, перспективы индустриального домостроения на основе строительных элементов из холодногнутой стали заключаются в возможности представления сборочных единиц жилого здания в виде *физического модуля* как структурного элемента материально-пространственной среды и *культурного модуля* как системы опорных технико-эстетических свойств, характерных для сложившейся общественно-культурной среды [6]. Чтобы преодолеть монотонность, свойственную современной индустриальной жилой застройке, важно определить качественные особенности архитектурного формообразования жилых зданий из легких стальных тонкостенных конструкций:

- *технологичность*: сумма свойств конструктивных элементов здания или сооружения, влияющих на эффективность и качество строительного производства;
- *квалиметричность*: системное качество, позволяющее раскрыть назначение объекта проектирования через набор технико-эстетических параметров;
- *структурность*: качественная характеристика объекта проектирования, выражающая принцип поэлементного строения технико-процессуальной системы;
- *эстетичность*: дефиниция архитектурно-художественной концепции, которая содержит технико-эстетические условия возникновения признаков системы в заданном комплексе сборочных единиц здания или сооружения.

Таким образом, качественные отношения между процессуальными и физическими элементами среды группируются в единую концептуально-художественную конструкцию, которая находит свое выражение в двойственной природе технологически отработанного набора строительных элементов, соответствующего новой промышленной технологии в архитектуре.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бронников, П. И. Объемно-блочное домостроение / П. И. Бронников. – Москва : Стройиздат, 1979. – 160 с.
2. Гропиус, В. Границы архитектуры / В. Гропиус ; под ред. В. И. Тасалова. – Москва : Искусство, 1971. – 287 с.
3. Быстровозводимые малоэтажные жилые здания с применением легких стальных тонкостенных конструкций / А. Б. Павлов, Э. Л. Айрумян, С. В. Камынин, Н. И. Каменщиков // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 9. – С. 51–53.
4. Сабаничев, З. М. Справочник технолога и механизатора строительно-монтажных работ / З. М. Сабаничев, А. Л. Маилян ; под общ. ред. Л. Р. Маиляна. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2012. – 249 с.
5. Брудка, Я. Легкие стальные конструкции / Я. Брудка, М. Лубиньски ; под ред. С. С. Кармилова. – 2-е изд., доп. – Москва : Стройиздат, 1974. – 344 с.
6. Валькова, Н. П. Дизайн: очерки теории системного проектирования / Н. П. Валькова, Ю. А. Грабовенко, Е. Н. Лазарев. – Ленинград : Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. – 185 с.

PROKHOZHEV Nikita Olegovich, undergraduate student of the chair of architectural design; PROKHOZHEV Oleg Alekseevich, associate professor of the chair of design and fine arts

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL CONSTRUCTION OF RESIDENTIAL BUILDINGS OF LIGHT STEEL THIN-WALLED STRUCTURES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 433-03-91, +7 (831) 430-17-83;
e-mail: artpress100399@gmail.com, nikiarch94@gmail.com
Key words: cold-formed profile, modular building, industrialization, architectural design.

The article describes features of the architectural shaping of residential buildings of light thin-walled steel structures in conditions of full industrialization of construction. The main features of the architectural shaping of residential buildings of cold-formed steel structural members are revealed: manufacturability, quality controllability, structural and aesthetic integrity.

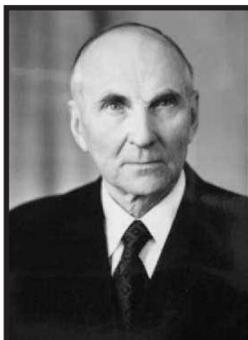
REFERENCES

1. Bronnikov P. I. Obyomno-blochnoe domostroenie [Modular housing constructions]. Moscow: Stroyizdat, 1979. 160 p.
2. Gropius V. Granitsy arkhitektury [Scope of total architecture]; pod red. V. I. Tasalova. Moscow: Iskusstvo, 1971. 287 p.
3. Pavlov A. B., Ayrumyan E. L., Kamynin S. V., Kamenshikov N. I. Bystrovozvodimye maloetazhnye zhilye zdaniya s primeneniem lyogkikh stalnykh tonkostennykh konstruksiy [Prefabricated low-rise residential buildings with application of light steel thin-walled structures]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]. 2006. № 9. P. 51–53.
4. Sabanichev Z. M., Mailyan A. L. Spravochnik tekhnologa i mekhanizatora stroitelno-montazhnykh rabot [Handbook of the technologist and mechanic of construction and installation works]; pod obsch. red. L. R. Mailyana. Rostov-on-Don: Feniks, 2012. 249 p.
5. Brudka Ya., Lubinski M. Lyogkie stalnye konstruksii [Lightweight steel structures]; pod red. S. S. Karmilova. 2-e izd., dop. Moscow, Stroyizdat, 1974. 344 p.
6. Valkova N. P., Grabovenko Yu. A., Lazarev E. N. Dizayn: ocherki teorii sistemnogo proektirovaniya [Design: essays on the theory of system design]. Leningrad. Izd-vo Leningr. unta, 1983. 185 p.

© Н. О. Прохожев, О. А. Прохожев, 2018

Получено: 19.12.2017 г.

ПАМЯТИ ПЕТРА АЛЕКСЕЕВИЧА БОГОСЛОВСКОГО



4 марта 2018 г. минуло 105 лет со дня рождения доктора технических наук, профессора Петра Алексеевича Богословского.

Его жизнь и деятельность служат примером для студентов, аспирантов, коллег. С нами рядом работал неутомимый труженик, яркий пропагандист своего дела.

Трудовая деятельность П. А. Богословского началась в 1929 г. на Северном Кавказе и в Донбассе в качестве старшего рабочего и десятника изыскательской партии. Затем – учеба в Новочеркасском инженерно-мелиоративном институте. После его окончания в 1936 г. – работа в этом институте, затем изыскательская работа в институте Гидропроект им. С. Я. Жука, служба в Красной Армии в 1938–1941 гг. Как специалист-гидротехник он служил в составе инженерных войск, в 1941 г. участвовал в строительстве оборонительных сооружений под Москвой, был награжден орденом Отечественной войны II степени, медалью «За оборону Москвы». Но и гражданское строительство нуждалось в руководителях, и П. А. Богословский был отозван в Гидропроект, где прошел путь от инженера до руководителя группы и начальника экспедиции.

Его внимание в эти годы привлекла одна из острых проблем работы ГЭС – проблема внутреннего оледенения трубопроводов. Будучи аспирантом МИСИ им. В. В. Куйбышева, он без отрыва от производства завершил исследования в этой области защитой кандидатской диссертации. А в 1950 г. вышла в свет монография П. А. Богословского «Ледовый режим трубопроводов».

С неисчерпаемым багажом практического работника и ученого-исследователя Петр Алексеевич в 1949 г. перешел на работу в наш университет – тогда Горьковский инженерно-строительный институт имени В. П. Чкалова (ГИСИ), где возглавил кафедру использования водной энергии; с 1964 г. по 1989 г. заведовал кафедрой гидротехнических сооружений, на которой затем до конца своих дней трудился профессором.

Понимая исключительно большое значение гидротехнического строительства во вновь осваиваемых северо-восточных районах страны, П. А. Богословский в ГИСИ посвятил свою научную деятельность исследованиям температурного режима гидротехнических сооружений в условиях вечной мерзлоты. В 1959 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук, вовлек в эту работу своих учеников, под его руководством были защищены около 20 кандидатских диссертаций. Он оставил после себя более 100 печатных научных трудов.



Сформулированное доктором технических наук, профессором П. А. Богословским новое научное направление становится все более актуальным в связи с неуклонным продвижением гидроэнергетического строительства в северо-восточные районы страны. Результаты исследований температурного режима гидротехнических сооружений, выполненных П. А. Богословским и его учениками, нашли применение при проектировании и строительстве Горьковской, Вилюйской, Усть-Хантайской, Колымской, Адычанской, Светлинской, Курейской, Тельмамской, Амгуэмской и других ГЭС, а также гидроузлов в Якутии, на Чукотке, в Магаданской области.

Профессор П. А. Богословский был прекрасным педагогом. В ГИСИ им была основана и успешно функционирует в ННГАСУ специализация по северному гидротехническому строительству. Лекции П. А. Богословского всегда отличались высоким теоретическим и методическим уровнем, ясным и четким изложением, большой доходчивостью и вызвали живой интерес слушателей. Петр Алексеевич уделял много времени и внимания воспитанию инженерных и научных кадров не только в нашей стране, но и по линии ЮНЕСКО за рубежом.

П. А. Богословский вел большую общественную работу. Он являлся членом секции научного совета по криологии Земли АН, членом НТС Минвуза РСФСР, долгое время работал в редколлегии журнала «Известия вузов». «Строительство и архитектура».

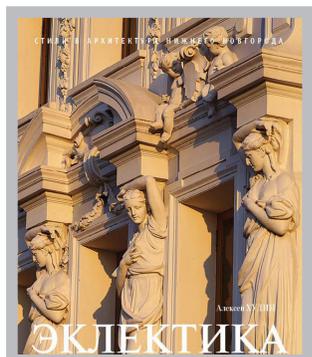
Петра Алексеевича отличали исключительное трудолюбие, требовательность в работе лично к себе и к своим сотрудникам, коллегам, ученикам, доброжелательность и отзывчивость.

Светлая память о П. А. Богословском, видном ученом, педагоге и патриоте нашей Родины остается в сердцах гидротехников и специалистов.

*Заведующий кафедрой гидротехнических и транспортных сооружений ННГАСУ,
д-р техн. наук, профессор С. В. Соболев*



НОВЫЕ ИЗДАНИЯ



Худин А. А. Эклектика. Серия Стили в архитектуре Нижнего Новгорода : монография / А. А. Худин – Н. Новгород: ООО «БегемотНН», 2017. – 256 с., илл. ISBN 978-5-9909255-4-0

В издательстве «БЕГЕМОТНН» в декабре 2017 г. вышла в свет первая книга из новой серии «Архитектурные стили Нижнего Новгорода».

Издательский проект осуществлен при содействии Правительства Нижегородской области в рамках программы финансовой поддержки регионального книгоиздания. Издание осуществлено при финансовой поддержке Феде-

рального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России (2012–2018 годы)».

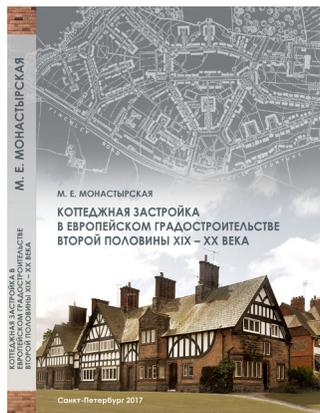
В монографии рассматриваются основные стилистические направления в нижегородской архитектуре указанного периода, а именно разновидности эклектики как сложного господствующего стилистического явления. Дается определение каждого из рассматриваемых стилистических течений внутри эклектики, приводятся их характерные черты и особенности. Анализируются архитектурные произведения эпохи эклектики (ранней, зрелой и поздней), относящиеся к творчеству известных российских и нижегородских архитекторов, лидеров того или иного направления. В приложении приводятся краткие биографические справки о жизни и деятельности мастеров архитектуры, выполнявших проекты и постройки в Нижнем Новгороде; словарь архитектурных терминов и таблицы особенностей композиции фасадов и декора в произведениях эклектики в Нижнем Новгороде на всех этапах ее эволюции.

Книга полезна историкам, архитекторам, реставраторам, искусствоведам, специалистам всех гуманитарных профессий, а также для студентов высших учебных заведений Нижнего Новгорода и других регионов России, обучающихся по направлению и специальности «Архитектура», в качестве учебного пособия по истории архитектуры. Она представляет интерес также и для широкого круга читателей.

Книга иллюстрирована, снабжена ссылками на литературные источники и может быть использована в качестве пособия по истории архитектуры и краеведению.

РЕЦЕНЗИЯ

на монографию кандидата архитектуры, доцента, Почетного архитектора России, советника РААСН Монастырской Марины Евгеньевны
«Коттеджная застройка в европейском градостроительстве второй половины XIX – XX века»



Монография, посвященная историко-методологическим закономерностям формирования коттеджного строительства и, как следствие, коттеджной среды, является, на наш взгляд, *актуальным* научным трудом. Это объясняется тем, что на основе развития новых социально-экономических условий меняется отношение к архитектурной среде, культурным ландшафтам, типологии зданий и общественных пространств, эту среду формирующих. Этот процесс требует выработки единого научного подхода к градостроительной политике в отношении коттеджного строительства.

Это определило *цель* настоящей монографии, которая состоит, прежде всего, в определении специфических особенностей регулирования коттеджной среды в историко-градостроительном контексте.

Структурно-пространственные *границы исследования* охватывают все уровни обустройства социального пространства – от городского ландшафта до локальных жилых модулей. Хронологические границы исследования: конец XVI в. (время зарождения коттеджной застройки как элемента градостроительной композиции) – конец XX в. – для исследования и фиксации проблемных аспектов регулирования коттеджной субурбанизации и определения современных тенденций ее развития. Территориальные границы очерчены соответственно ареалам распространения коттеджных объектов на городских и внегородских территориях на уровне каждого рассматриваемого временного среза. Географические границы: материал изучается автором, главным образом, на примерах западно-, северо-, восточноевропейской практики с привлечением отечественных образцов.

Автор монографии справедливо указывает на «неразработанность инструментов градостроительного регулирования коттеджной субурбанизации», что приводит к самоорганизации коттеджной застройки вдоль межгородских транспортных магистралей, хаотичному скоплению коттеджей в виде периферийных поясов городских поселений. Такое положение приводит к деградации ценных природных и антропогенных ландшафтов, деформации рекреационных зон, в т. ч. исторических садово-парковых ансамблей, необоснованной трансформации функционального зонирования городских территорий. Единственным фактором, регулирующим коттеджное строительство на всех уровнях его территориальной организации, является, по автору, реальный потребительский спрос.

Основными *объектами исследования*, изученными в монографии, являются комплексы и поселения коттеджной застройки, размещенные в структуре крупнейших, крупных, больших городов и их агломераций; сопутствующими – городские и внегородские системы коттеджных территорий, коттеджные домовладения.



В работе предлагается концепция системно-динамического анализа и качественно-количественной оценки планировочно-пространственных форм коттеджной субурбанизации, основанная на дифференцированном и совокупном изучении всего комплекса условий формирования коттеджной среды, комплексной оценке потенциала опорной градостроительной ситуации и потенциала нового социального заказа. Это позволяет осуществлять предпроектные исследования и проводить профессиональную экспертизу архитектурно-градостроительных решений на всех стадиях и уровнях моделирования коттеджной среды.

Монография имеет четкую, понятную *структуру*: материал излагается последовательно в соответствии с поставленной целью и авторскими гипотезами. Первая глава «Теоретико-методологические основы изучения коттеджной субурбанизации» посвящена рассмотрению в историко-эволюционном контексте имманентных свойств объектов исследования и разработке операционной версии анализа и оценки архитектурно-планировочных решений территориальных коттеджных образований. Сравнительный анализ индивидуальных форм жилья позволил автору выявить:

- совокупность критериев, которые идентифицируют различия феноменологических свойств жилых домов и домовладений: ансамблевость, аттрактивность, изолированность, утилитарность;
- сформировать иерархический ряд исторически сложившихся типов малоэтажного индивидуального домостроения и обозначить в нем место коттеджа: индивидуальный городской дом, дача, коттедж, особняк, вилла;
- установить, что базовым фактором, определяющим специфику перечисленных объектов, служит доминантная социально-функциональная ориентация домовладений.

Вторая глава «Эволюция методов градостроительного регулирования коттеджной среды вторая половина XIX – 90-е гг. XX вв.» нацелена на изучение исторически сложившихся закономерностей профессионального обустройства коттеджного ландшафта на расселенческом и объектном уровнях моделирования социального пространства и ориентирована на подтверждение (опровержение) историко-эволюционной, историко-методологической, нормативно-регламентационной рабочих гипотез. На основании изучения европейского опыта профессионального регулирования коттеджной субурбанизации в монографии:

- выявлена специфика и тенденции развития субурбанизации по социально-имущественному, функциональному, территориально-градостроительному, ситуационно-генезисному, градотипологическому и методологическому аспектам; установлена направленность эволюционирования этого процесса во времени и пространстве;
- определены позитивные, т. е. соответствующие контекстуальности коттеджного домостроения и потому гарантированно эффективные, закономерности профессионального обустройства коттеджной среды дифференцированно к расселенческому и объектному уровням организации социального пространства – исторически сложившиеся концепции, традиции, критерии экспертной оценки, принципы, сценарии, приемы проектного моделирования коттеджного ландшафта;
- сформирована совокупность проектов-эталонов коттеджных образований объектного ранга (поселений, комплексов); разработаны нормативно-оценочные «портреты» образцовых планировочных и архитектурно-градостроительных моделей;



– установлена структура и определено наполнение потребительских качеств коттеджной среды, обеспечивающие достижение общеевропейского стандарта проживания (элитарного, социально-массового, специализированного) в границах городских комплексов и жилых групп;

– разработана совокупность вариантных градотипологических параметров жилищного стандарта, предоставляемого в границах индивидуальных домовладений ранжированными по приоритетной социально-функциональной ориентации формами малоэтажного домостроения: индивидуальным городским домом, дачей, коттеджем, особняком, виллой.

Таким образом, были проведены комплексный анализ, многокритериальная экспертная оценка и теоретическое обобщение исторического опыта коттеджного средообразования на всех структурно-иерархических уровнях организации социального «поля» – от моделирования городского (агломерационного) ландшафта до предметного наполнения локальных пространств.

Рукопись сопровождается необходимым *графоаналитическим материалом*, выполненным на высоком профессиональном уровне.

В заключение необходимо отметить, что в 1998 году М. Е. Монастырской была успешно защищена кандидатская диссертация на тему «Историко-методологические закономерности формирования коттеджной среды» по специальности 18.00.01 «Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия» в СПбГИЖСиА им. И. Е. Репина. Эта работа была рекомендована ВАК РФ к опубликованию. Настоящая монография является существенно переработанным и дополненным логическим продолжением указанного исследования.

Считаю монографию М. Е. Монастырской «Коттеджная застройка в европейском градостроительстве второй половины XIX – XX века» добротным и законченным исследованием, посвященным актуальной теме, которое вносит вклад в архитектурно-градостроительную науку.

Заведующая кафедрой архитектурного проектирования
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет»,
доктор архитектуры, профессор,
член-корреспондент РААСН

А. Л. Гельфонд



РЕЦЕНЗИЯ

на опубликованную в порядке обсуждения научную статью
О. В. Раскаткиной «Влияние местоположения отвеса на точность определе-
ния крена дымовой трубы фотографическим способом»,
журнал «Геодезия и картография», № 1, 2017 г.

В настоящее время сочетание любительских неметрических цифровых фотокамер с компьютерной техникой позволяет кардинально изменить ряд технологий инженерно-геодезических работ по контролю пространственного положения строительных конструкций.

Статья посвящена решению актуальной задачи использования цифровых фотокамер с целью получения не только иллюстративного материала, но и большого объема объективной семантометрической информации о пространственном положении инженерных сооружений. Для этого автор предлагает сфотографировать сооружение и решить две задачи. Во-первых, на снимке должна присутствовать референтная линия, от которой будут производиться все необходимые измерения. И, во-вторых, снимок должен быть масштабирован для получения результатов измерений в метрической системе единиц.

В работе рассматривается методика использования шнурового отвеса в качестве вертикальной референтной прямой, расположенной перед объективом фотокамеры. На примере башенного сооружения круглой формы рассмотрены все возможные варианты расположения этой прямой относительно его оси и показана методика вычисления крена сооружения по результатам обработки его фотоснимков. Подобная методика обладает научной новизной и является наглядной, объективной, доступной и информативной.

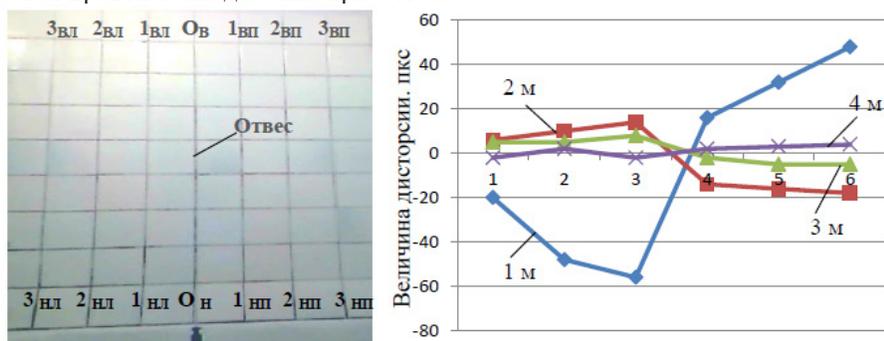
Теоретические положения статьи подтверждены результатами экспериментальных исследований на реальном объекте, в качестве которого выступала дымовая труба. В статье изложен порядок обработки снимков, выведенных на экран монитора с помощью Paint, с целью определения крена трубы в зависимости от местоположения отвеса относительно ее оси. С позиций теории ошибок исследована степень влияния расположения отвеса на точность определения крена.

В результате автор приходит к важному выводу о том, что наиболее оптимальным является местоположение отвеса по центру верхнего сечения трубы, позволяющее максимально упростить как методику полевых измерений, так и повысить точность определения крена за счет исключения влияния дисторсии объектива фотокамеры.

В целом статья написана строгим научным языком. Полученные результаты сведены в таблицу и в полной мере иллюстрированы 6 рисунками. Аннотация и ключевые слова отражают ее основное содержание, библиографический список включает 6 источников, ссылка на которые полностью обоснована. На основании вышесказанного считаю, что приведенные в статье методика и результаты исследований отличаются новизной, теоретической и практической значимостью и будут полезны инженерно-техническим работникам и студентам технических вузов. С помощью этой методики можно надежно и просто получить максимум информации об искривлении ствола трубы без каких-либо материальных затрат и решения различных организационных вопросов.

Поскольку статья О. В. Раскаткиной опубликована **в порядке обсуждения**, то позволю себе сделать ряд замечаний и предложений. Автор ограничился фотографированием сооружения только с одной точки стояния фотокамеры и при

одном и том же расстоянии от отвеса до ее объектива. Рекомендуем исследования продолжить с целью установления аналитических зависимостей дисторсии объектива от расстояния фотокамеры до объекта фотографирования и от отвеса до объектива и влияние на дисперсию использования функции приближения. Основанием для этой рекомендации является тенденция уменьшения дисторсии с увеличением расстояния фотографирования. В качестве примера приводим результаты обработки выполненных нами фотокамерой COOLPIX S9100 снимков кафельной стены с размерами плиток 150×150 мм с расстояний 1, 2, 3 и 4 м при положении отвеса на расстоянии 0,7 м от стены. С помощью Paint измерялись отрезки $O_B - 1, 2, 3_{в.л. вп}$ и $O_H - 1, 2, 3_{н.л. нп}$ и их верхние значения сравнивались с соответствующими нижними. По полученным разностям построенные графики (см. рисунок), иллюстрирующие как влияние дисторсии с 50–60 пкс при 1 м снижается практически до 0 пкс при 4 м.



Образец снимка и графики зависимости дисторсии от расстояния фотографирования

Полезно также выполнение исследований возможности и точности использования программы Plumb-bob (<http://www.assysto.com/>), о которой упоминается в работе [3], приведенной в списке литературы в рецензируемой статье. Здесь в процессе фотографирования всегда имеем на экране смартфона, планшета изображение вертикальной линии, то есть отпадает надобность в шнуровом отвесе. Эту линию можно использовать в качестве вертикальной референтной прямой, от которой производить различные измерения.

Д-р техн. наук, профессор
кафедры геоинформатики,
геодезии и кадастра ННГАСУ

Г. А. Шеховцов



ПЕРЕЧЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И УСЛОВИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ НАУЧНОЙ СТАТЬИ В ПЕРИОДИЧЕСКОМ НАУЧНОМ ИЗДАНИИ «ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ»

1. Список материалов, необходимых для публикации научной статьи

1.1. Автор (авторы) в соответствии с приведенными ниже требованиями должен оформить материалы научной статьи: рукопись статьи и сопроводительные документы к ней. Журнал является двуязычным и материалы научной статьи могут подаваться в редакцию на русском или на английском языках (здесь имеется в виду язык основного текста статьи, т. к. часть материалов статьи должна оформляться на обоих языках).

1.2. Рукопись статьи представляется в двух экземплярах в печатном виде на листах формата А4 (оформление – см. п. 2) и в электронном виде (оформление – см. п. 3). **Печатный и электронный варианты рукописи статьи должны быть идентичны.**

1.3. Сопроводительные документы к рукописи статьи должны включать в себя:

1.3.1. Сопроводительное письмо в двух экземплярах в печатном виде на листе формата А4 **по утвержденной форме**, которая приведена на интернет-сайте журнала: <http://www.pnj.nngasu.ru> Данное письмо подписывается руководителем организации (юридического лица), откуда исходит рукопись статьи. Если автор статьи не является работником какой-либо организации, не является аспирантом, докторантом, соискателем ученой степени, то сопроводительное письмо подписывается им лично (в этом случае к сопроводительному письму должны прилагаться документы, подтверждающие статус безработного). Для работников ННГАСУ, а также для аспирантов, докторантов, соискателей ученой степени, официально оформленных в ННГАСУ, сопроводительное письмо представлять не требуется.

1.3.2. Выписку из протокола заседания кафедры (отдела, научно-технического совета или иного правомочного органа) с рекомендацией статьи к публикации в Приволжском научном журнале в двух экземплярах в печатном виде на листах формата А4. Если статья представляется не от лица какой-либо организации, а непосредственно физическим лицом, то вместо выписки представляется рекомендация к опубликованию, подписанная научным работником, имеющим ученую степень по соответствующей специальности (определяется по номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной Минобрнауки России).

1.3.3. Экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати в двух экземплярах в печатном виде на листах формата А4. Данный документ оформляется по форме, утвержденной в организации, откуда исходит рукопись статьи. Форма экспертного заключения, утвержденная в ННГАСУ, размещена на интернет-сайте журнала: <http://www.pnj.nngasu.ru> (для работников ННГАСУ, а также для аспирантов, докторантов, соискателей ученой степени, официально оформленных в ННГАСУ, данный документ оформляется в отделе интеллектуальной собственности и трансфера технологий (корпус II, каб. 213-а, тел.: (831) 430-19-34)).

Если в организации, откуда исходит рукопись статьи, нет утвержденной формы экспертного заключения, то в качестве образца может использоваться форма ННГАСУ (при этом автор должен внести соответствующие изменения в наименования должностей и Ф.И.О. ответственных лиц). Если статья представляется не от лица какой-либо организации, а непосредственно физическим лицом, то экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати представлять не требуется.

1.3.4. Документ (копия бланка подписки), подтверждающий оформление подписки на Приволжский научный журнал на 2 (два) номера или более (ин-



декс 80382 в каталоге Агентства «Роспечать»). Подписка может быть оформлена физическим или юридическим лицом. Требование по оформлению подписки **не распространяется** на следующие категории лиц: 1) на аспирантов (статус аспиранта подтверждается справкой из организации, в которой проходит обучение в аспирантуре); 2) на штатных сотрудников ННГАСУ; 3) на членов редакционной коллегии Приволжского научного журнала. *Примечание:* если соавтором статьи является лицо, не относящееся ни к одной из вышеуказанных категорий, то требование по оформлению подписки на журнал сохраняется.

1.4. Если авторами статьи являются работники различных организаций (юридических лиц), то сопроводительные документы оформляются от одной из организаций (по усмотрению авторов), а от остальных необходимо представить выписки из протоколов заседаний кафедр (отделов, научно-технических советов или иных правомочных органов) с рекомендацией статьи к опубликованию с учетом сформированного авторского коллектива. Данные выписки должны быть подписаны руководителем организации, которая заверяется печатью организации.

2. Правила оформления рукописи научной статьи в печатном виде

2.1. Рукопись статьи (при оформлении основного текста статьи **на русском языке**) должна включать в себя следующие составные элементы:

- индекс УДК (универсальная десятичная классификация);
- фамилии, инициалы авторов **на русском языке**;
- ученые степени и ученые звания авторов **на русском языке** (звания в негосударственных академиях наук не указывать);
- должности авторов (по основному месту работы, а также по совместительству (если имеется)) **на русском языке** (если автор является аспирантом, докторантом или соискателем ученой степени, то необходимо указать название кафедры, на которой он оформлен);
- название статьи **на русском языке**;
- полное наименование организации (юридического лица), являющегося местом работы автора (основное место работы и совместительство (если имеется)) **на русском языке**;
- контактная информация для переписки (основное место работы и совместительство (если имеется)) **на русском языке**: почтовый адрес организации (с указанием индекса); номер телефона, номер факса (с указанием кода города), адрес электронной почты;
- ключевые слова **на русском языке** (3 – 5 слов и (или) словосочетаний);
- аннотация статьи **на русском языке** (общий объем не более 0,3 стр.);
- основной текст статьи **на русском языке**;
- библиографический список **на русском языке** (не менее трех источников);
- фамилии, имена, отчества (полностью) авторов **на английском языке**;
- ученые степени и ученые звания авторов **на английском языке** (звания в негосударственных академиях наук не указывать);
- должности авторов (по основному месту работы, а также по совместительству (если имеется)) **на английском языке** (если автор является аспирантом, докторантом или соискателем ученой степени, то необходимо указать название кафедры, на которой он оформлен);
- название статьи **на английском языке**;
- полное наименование организации (юридического лица), являющегося местом работы автора (основное место работы и совместительство (если имеется)) **на английском языке**;



- контактная информация для переписки (основное место работы и совместительство (если имеется)) **на английском языке**: почтовый адрес организации (с указанием индекса); номер телефона, номер факса (с указанием кода города), адрес электронной почты;

- ключевые слова **на английском языке** (3 – 5 слов и (или) словосочетаний);
- аннотация статьи **на английском языке** (общий объем не более 0,3 стр.);
- библиографический список **на английском языке** (не менее трех источников);
- знак охраны авторского права, состоящий из следующих элементов: латинская буква «С» в окружности, фамилии, инициалы авторов на русском языке, год направления статьи в редакцию.

Расположение и оформление вышеперечисленных частей рукописи статьи должно соответствовать образцу оформления научной статьи, который размещен на интернет-сайте журнала: <http://www.pnj.nngasu.ru>.

2.2. Рукопись статьи (при оформлении основного текста статьи **на английском языке**) должна включать в себя те же составные элементы, которые указаны в п. 2.1. При этом русскоязычное написание заменяется на англоязычное, а англоязычное – на русскоязычное.

2.3. При оформлении рукописи статьи необходимо соблюдать следующие требования:

2.3.1. Текст рукописи статьи набирается на компьютере в текстовом редакторе «Microsoft Word» и распечатывается на принтере на листах бумаги формата А4 с одной стороны. Плотность бумаги 80 г/м². Размеры полей страниц: верхнее 25 мм, нижнее 25 мм, левое 25 мм, правое 25 мм. Страницы должны быть пронумерованы в нижней правой части.

2.3.2. Текст рукописи статьи набирается шрифтом Times New Roman Cyr. Шрифт № 14 с межстрочным интервалом 1,0 (одинарный) используется для набора следующих частей рукописи: индекс УДК, Ф.И.О. авторов, ученые степени и ученые звания авторов, должности авторов, название статьи. Шрифт № 14 с межстрочным интервалом 1,5 (полуторный) используется для набора следующих частей рукописи: основной текст статьи, знак охраны авторского права. Шрифт № 12 с межстрочным интервалом 1,0 (одинарный) используется для набора следующих частей рукописи: наименование организации (места работы авторов), контактная информация (адрес организации и др.), аннотация статьи, ключевые слова, библиографический список.

2.3.3. Буквы русского и греческого алфавитов (в том числе индексы), а также все цифры (в том числе индексы) необходимо набирать прямым шрифтом, а буквы латинского алфавита – курсивом. Аббревиатуры, стандартные функции (Re, sin, cos и т. п.) и символы химических элементов набираются прямым шрифтом.

2.3.4. Текст статьи может включать формулы, которые должны набираться **только с использованием редактора формул «Microsoft Word»**. При этом необходимо использовать редактор формул «MathType 6» или «Microsoft Equation 3.0». При использовании текстового редактора «Microsoft Word, Office-2010» не допускается использование редактора формул, открывающегося по команде «Вставка – Формула» (кнопка « π » на панели быстрого доступа). В данной версии необходимо в меню «Вставка» нажать кнопку «Объект» и в выпадающем меню выбрать тип вставляемого объекта – «Microsoft Equation 3.0». Шрифт формул должен соответствовать требованиям, предъявляемым к основному тексту статьи (см. выше). В статье должен быть необходимый минимум формул, все второстепенные и промежуточные математические преобразования при необходимости могут выноситься в приложение к статье (в качестве поясняющей информации для рецензента).

2.3.5. Текст статьи может включать таблицы, а также графические материалы (рисунки, графики, фотографии и др.). Данные материалы должны иметь сквоз-



ную нумерацию и названия. На все таблицы и графические материалы должны быть сделаны ссылки в тексте статьи. При этом расположение данных объектов должно быть после ссылок на них. Шрифт таблиц должен соответствовать требованиям, предъявляемым к тексту статьи (см. выше). Шрифт надписей внутри рисунков, графиков, фотографий и др. графических материалов Times New Roman Суг, размер № 12, межстрочный интервал 1,0 (одинарный). В случае использования в статье цветных графических материалов (рисунки, графики, фотографии и др.) их необходимо скомпоновать на четном количестве страниц – либо на двух, либо на четырех отдельных страницах (но не более четырех страниц). К данным рисункам должны быть сделаны подписи, а в тексте статьи на них должны быть ссылки. Использование цветных графических материалов должно быть оправданным (в тех случаях, когда их нельзя заменить черно-белым аналогом).

2.3.6. Библиографический список должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008 (с учетом вступления в силу последующих версий данного документа). Нумерация литературных источников в списке дается в порядке последовательности ссылок. На все литературные источники должны быть ссылки в тексте статьи (в квадратных скобках). В библиографический список включаются только те работы (документы), которые опубликованы в печати на момент представления рукописи статьи в редакцию. Количество литературных источников в списке должно быть не менее 3-х. В качестве цитируемых литературных источников должны использоваться научные статьи, опубликованные за последние 5 лет в российских и зарубежных рецензируемых научных периодических изданиях. Не допускается ссылаться на учебники и учебные пособия, научно-популярную литературу, если они не являются объектом исследования. В англоязычном варианте библиографического списка русскоязычные литературные источники должны быть представлены в транслитерации, на латинице. Кроме того названия статей и названия журналов переводятся на английский язык (перевод указывается в квадратных скобках). Библиографические описания англоязычных изданий приводятся в оригинальном виде. Для изданий на других языках названия статей и названия журналов должны быть переведены на английский язык (перевод указывается в квадратных скобках).

2.3.7. Объем рукописи статьи (включая черно-белые и цветные графические материалы), оформленной с учетом вышеперечисленных требований, **не должен превышать**: а) 11 (одиннадцать) страниц при наличии в тексте не менее 3-х графических материалов (рисунков, графиков, фотографий); б) 8 (восемь) страниц во всех остальных случаях.

2.4. Рукопись статьи должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (лично) с обратной стороны последней страницы с указанием даты представления рукописи в редакцию (число.месяц.год).

3. Правила оформления рукописи научной статьи в электронном виде

3.1. В электронном виде необходимо представить файл, подготовленный в редакторе «Microsoft Word» (тип файла «doc» или «docx» или «rtf»). Данный файл должен включать рукопись статьи (подготовленной в соответствии с п. 2) со вставленными в текст графическими материалами (если они имеются). В названии файла должна присутствовать фамилия автора статьи. Файл должен быть записан на компакт-диск (CD-R или CD-RW).

3.2. Каждый отдельный графический материал (рисунок, график, фотография и др.) должен быть записан в виде отдельного файла, при этом названия файлов должны соответствовать нумерации данных материалов (например: «Рис.1»). Все графические материалы должны быть доступны для редактирования, для



этого они должны быть представлены **в исходном формате** (например, для рисунков, созданных в графическом редакторе «CorelDraw», необходимо представление файлов в формате «cdr»). Представление графиков, рисунков и т. п. графических материалов в виде отсканированных изображений **не допускается**. Файлы фотографий должны иметь расширение «jpg». Качество всех графических материалов должно быть высоким (не ниже 300 dpi).

4. Порядок представления в редакцию материалов научной статьи

Подготовленные с учетом всех вышеперечисленных требований материалы научной статьи (рукопись статьи и сопроводительные документы к ней) должны быть запечатаны в конверт формата А4, на котором указывается адрес редакции: *Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65. ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет». Ответственному секретарю Приволжского научного журнала Моничу Д. В.*

Конверт с материалами может быть отправлен по почте, с использованием курьерской доставки или доставлен лично автором (доверенным лицом автора). В случае отправки с использованием курьерской доставки, а также в случае личной доставки, конверт необходимо сдавать в канцелярию ННГАСУ (г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65, ННГАСУ, корпус I, 1-й этаж, каб. 127).

5. Порядок рассмотрения редакцией материалов научной статьи и ее рецензирования

5.1. После получения материалов научной статьи ответственный секретарь журнала проводит оценку их достаточности и правильности оформления. В случае отклонений от установленных требований, автору по электронной почте направляется письмо с уведомлением: «Материалы научной статьи не соответствуют требованиям, установленным редакцией журнала».

5.2. Материалы статей, оформленные в соответствии с установленными требованиями, ответственный секретарь регистрирует и направляет для рассмотрения члену редакционной коллегии журнала, который имеет соответствующую специальность (по номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной Минобрнауки России). Член редакционной коллегии организует рецензирование (экспертную оценку) рукописи научной статьи в соответствии с порядком, установленным редакцией журнала. С составом редакционной коллегии, в т. ч. с научными специальностями ее членов, а также с «Порядком рецензирования научных статей» можно ознакомиться на интернет-сайте Приволжского научного журнала: <http://www.pnj.nngasu.ru>

5.3. Если на статью получена положительная рецензия, то она включается в план публикации соответствующего тематического раздела журнала. Автору статьи по почте, а также по электронной почте направляется копия рецензии (без указания личности рецензента) и уведомление «Включено в план публикации». Сроки и очередность опубликования устанавливаются редакцией с учетом количества статей, находящихся в плане публикации соответствующего тематического раздела журнала. Как правило, дата приема статей для издания очередного номера устанавливается не позднее, чем за 4 (четыре) месяца до месяца выхода (например, для № 1 (март) этот срок должен быть не позднее 01 ноября). При этом дата устанавливается по дате получения редакцией положительной рецензии на статью.

5.4. Если на статью получена рецензия с замечаниями, но рецензент указывает на возможность публикации статьи после доработки, то автору статьи по почте направляется копия рецензии (без указания личности рецензента) и уведомление «На доработку». Порядок оформления, представления и рассмотрения



доработанных рукописей статей такой же, как для вновь поступающих материалов статей. К доработанной рукописи статьи необходимо приложить документ «Ответы на замечания рецензента», оформленный в печатном виде на листах формата А4, в двух экземплярах. Ответы даются на каждое замечание (по пунктам), внизу ставятся личные подписи всех авторов с указанием даты представления доработанной рукописи в редакцию (число.месяц.год). Подписи авторов должны быть заверены канцелярией или отделом кадров организации, откуда исходит рукопись статьи. Сопроводительные документы к рукописи статьи (по п. 1.3.) переоформляются только в том случае, если при доработке изменяется название статьи и (или) изменяется авторский коллектив.

5.5. Если на статью получена отрицательная рецензия (рецензия с замечаниями, без указания на возможность публикации статьи после доработки), то автору статьи по почте направляется копия рецензии (без указания личности рецензента) и уведомление «Не рекомендуется к публикации».

6. Общие требования и условия публикации

6.1. Редакцией не принимаются к рассмотрению: 1) научные статьи, не соответствующие тематическим направлениям журнала, по которым осуществляется рецензирование (экспертная оценка). Данные направления соответствуют научным направлениям членов редакционной коллегии журнала (по номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной Минобрнауки России); 2) научные статьи, публиковавшиеся ранее; 3) материалы, не соответствующие установленным редакцией требованиям; 4) рекламные материалы.

6.2. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения рукописей статей. Редакция имеет право частично или полностью предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования, а также размещать данные материалы на интернет-сайте журнала.

6.3. Авторский коллектив, направляющий научную статью в редакцию журнала, несет ответственность за неправомерное использование объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права или «ноу-хау» в полном объеме, в соответствии с действующим законодательством.

6.4. Авторские права на каждый номер журнала (в целом) принадлежат учредителю журнала – федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ). Перепечатка материалов «Приволжского научного журнала» без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

6.5. Материалы научных статей, направляемые в редакцию журнала, авторам не возвращаются. Вознаграждение (гонорар) за опубликованные научные статьи не выплачивается.

6.6. Оплата за рассмотрение научной статьи редакцией взимается путем оформления автором подписки на журнал (условия – см. п. 1.3.4 выше). Плата за аспирантов за публикацию научных статей не взимается.



ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА
на I полугодие 2018 г.
НА ПЕРИОДИЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ
«ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ»

Основан в 2006 году

Периодичность – ежеквартально

Журнал рассчитан на профессорско-преподавательский состав, аспирантов, а также студентов старших курсов вузов, работников научно-исследовательских и проектных институтов, инженерно-технический персонал организаций и предприятий.

Журнал имеет разделы:

- Строительные конструкции, здания и сооружения (05.23.01);
- Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (05.23.03);
- Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (05.23.04);
- Строительные материалы и изделия (05.23.05);
- Гидротехническое строительство (05.23.07);
- Гидравлика и инженерная гидрология (05.23.16);
- Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (05.23.19);
- Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (05.23.20);
- Архитектура зданий и сооружений.
Творческие концепции архитектурной деятельности (05.23.21);
- Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (05.23.22).

В ЖУРНАЛЕ ПУБЛИКУЮТСЯ

статьи о результатах научных исследований по группе научных специальностей 05.23.00 «Строительство и архитектура». Статьи рецензируются.

Каталожная цена за 6 месяцев – 1000 руб.
Цена отдельного номера – 500 руб.

Подписной индекс по каталогу Агентства «Роспечать» –
«Газеты. Журналы»: 80382

Адрес редакции: Россия, 603950, г. Нижний Новгород,
ул. Ильинская, д. 65.
Тел./факс: (831) 433-04-36, 430-19-46

