

ISSN 1995-2511

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

4

2019



ISSN 1995-2511



ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Периодическое научное издание

№ 4

Декабрь 2019

Нижний Новгород

ББК 95; я5

П 75

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ, № 4 (52)

Периодическое научное издание. Н. Новгород, ННГАСУ, 2019. 229 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 28.12.2018 г.

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

чл.-корр. РААСН, д-р арх., проф. Е. А. АХМЕДОВА; чл.-корр. РААСН, проф. В. Н. БОБЫЛЕВ; засл. деят. науки РФ, д-р техн. наук, проф. В. И. БОДРОВ; д-р техн. наук, проф. А. М. БРАГОВ; д-р техн. наук, проф. А. Л. ВАСИЛЬЕВ; д-р биол. наук, проф. Д. Б. ГЕЛАШВИЛИ; чл.-корр. РААСН, д-р арх., проф. А. Л. ГЕЛЬФОНД; д-р наук, проф. Р. ГРЭФЕ; засл. деят. науки РФ, чл.-корр. 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.-корр. 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 20.12.2019 г. Формат 70×108/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл. печ. л. 20.0 + вкл. 2.1. Тираж 600 экз. Заказ №

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; pnj.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, 2019

ISSN 1995-2511



THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL

Scientific periodical

№ 4

December 2019

Nizhny Novgorod

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 № ФС77 – 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 specialties 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 28.12.2018.

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. M. BRAGOV; 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 20.12.2019. Format 70×108/16. Offset paper.
Offset printing. Ref. publ. p. 20.0 + illust. 2.1. Copies 600. Order №

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.



СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Ерофеев В. И., Лампси Б. Б., Лампси Б. Б., Трошина М. К., Шилов А. С. Анализ напряженного состояния стальной подкрановой балки с учетом компоненты напряжений, обусловленной наличием стесненного кручения	9
Бобылев В. Н., Дымченко В. В., Ерофеев В. И., Монич Д. В., Хазов П. А. Анализ влияния типа стоечного профиля на звукоизоляцию каркасно-обшивной перегородки с одинарным каркасом путем конечно-элементного моделирования	18
Бобылев В. Н., Тишков В. А., Щеголев Д. Л., Петрова М. М. О влиянии угла падения звука на звукоизоляцию светопрозрачных ограждений	23
Антонов А. И., Леденев В. И., Матвеева И. В., Меркушева Н. П. Цифровизация акустических расчетов при автоматизированном проектировании зданий	31
Паузин С. А. Учет анизотропии при проектировании звукоизоляции внутренних ограждений высотных зданий	40
Григорьев Ю. С., Фатеев В. В. Анализ результатов многолетних наблюдений за деформациями грунтового основания и опирающегося на него здания	45
Хазов П. А., Генералова А. А., Воробьева А. Е. Резонансный анализ каркасного здания при сейсмических воздействиях различных частотных диапазонов	56
Ламзин Д. А., Брагов А. М., Ломунов А. К., Константинов А. Ю., Новиков В. В., Гонов М. Е. Методические аспекты динамических испытаний хрупких материалов на сжатие	65
Ламзин Д. А., Брагов А. М., Ломунов А. К., Константинов А. Ю., Новиков В. В., Чекмарев Д. Т. Удельная энергоемкость кирпича при динамическом нагружении ..	79
Раскаткин Ю. Н. О методике и результатах исследования технического состояния строительных конструкций 40-метровой мачты ОАО НАЗ «СОКОЛ»	89
Шеховцов Г. А. О создании плановой разбивочной сети способом обратной линейно-угловой засечки при строительстве зданий повышенной этажности	98
Кривошапко С. Н. Упрощенный критерий оптимальности для оболочек вращения .	108

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Чекардовский С. М., Шалагин И. Ю., Илюхин К. Н., Миронов В. В., Чекардовский М. Н. Модернизированная методика теплового расчета зарубежных пластинчатых теплообменных аппаратов систем теплоснабжения	117
Кочев А. Г., Соколов М. М., Кочева Е. А., Федотов А. А. Анализ использования возобновляемых источников энергии для создания и поддержания требуемых параметров микроклимата в православных храмах	127

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Тарасов А. С., Васильев А. Л. Разработка и исследование устройства для очистки сточных вод с большим содержанием трудноокисляемых органических соединений и взвешенных веществ	134
Шувалов М. В. Классификация видов сточных вод, отводимых от санитарно-технических приборов и бытового оборудования	141
Кюберис Э. А., Васильев А. Л. Разработка и исследование технологий водоподготовки из подземных источников с высоким содержанием железа и марганца	150



СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Каблов Е. Н., Ерофеев В. Т., Ямашкин А. А., Сминов В. Ф., Ямашкин С. А. Прогнозирование регионов биоповреждений строительных материалов.....	158
--	-----

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Бухарцев В. Н. О территориальном перераспределении водных ресурсов (новый взгляд на старую проблему).....	167
Февралев А. В., Грачева О. А. Методика водохозяйственных расчетов малых водохранилищ, предназначенных для рекреации	172

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Михеева Э. Р., Катраева И. В., Ворожцов Д. Л., Моралова Е. А. Влияние предобработки органической фракции твердых коммунальных отходов на процесс анаэробной ферментации	181
---	-----

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

Горшкова Г. Ф., Заим А. Архитектурное формирование аэровокзалов в условиях жаркого сухого климата.....	187
Костова Е. В. Структурные особенности послевоенной архитектуры советского ампира в городах Западной Сибири	191
Шумилкин А. С. К проблеме воссоздания памятников архитектуры в реставрационной практике	198
Агеева Е. Ю., Кочетова Е. А. Анализ типовой городской жилой застройки и пути ее гуманизации	203

ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

185 лет Гидрометеорологической службе России.....	208
Памяти Президента РААСН, академика А. В. Кузьмина.....	217
Памяти профессора М. С. Седова.....	219
Новые издания.....	221
Перечень требований и условий, предоставляемых для публикации в периодическом научном издании «Приволжский научный журнал».....	223

НА ОБЛОЖКЕ: Ледостойкая самодвижущаяся платформа «Северный полюс» для круглогодичного комплексного изучения природной среды Арктики. Строится АО «Адмиралтейские верфи» по заказу Росгидромета.

Фото предоставлено Департаментом Росгидромета по Приволжскому федеральному округу



CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES

- Erofeev V. I., Lampsi B. B., Lampsi B. B., Troshina M. K., Shilov A. S.** Analysis of the stress state of a steel crane beam taking into account the stress component due to the presence of constrained torsion..... 9
- Bobylyov V. N., Dymchenko V. V., Erofeev V. I., Monich D. V., Khazov P. A.** Analysis of the influence of a rack profile type on the sound insulation of a single-frame partition by finite-element modeling..... 18
- Bobylyov V. N., Tishkov V. A., Schyogolev D. L., Petrova M. M.** On the influence of the angle of incidence of sound on the sound insulation of translucent walling..... 23
- Antonov A. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V., Merkusheva N. P.** Digitalization of acoustic calculations during automated design of buildings 31
- Paugin S. A.** Taking into account anisotropy while designing sound insulation of internal enclosures of high-rise buildings 40
- Grigorev Yu. S., Fateev V. V.** Analysis of the results of long-term monitoring of deformations of the foundation soil and the building resting on it 45
- Khazov P. A., Generalova A. A., Vorobyova A. E.** Resonance analysis of a frame building under seismic influence of various frequency range 56
- Lamzin D. A., Bragov A. M., Lomunov A. K., Konstantinov A. Yu., Novikov V. V., Gonov M. E.** Methodical aspects of compressive dynamic tests of brittle materials 65
- Lamzin D. A., Bragov A. M., Lomunov A. K., Konstantinov A. Yu., Novikov V. V., Chekmaryov D. T.** Specific energy capacity of brick under dynamic loading..... 79
- Raskatkin Yu. N.** About the technique and results of research of technical condition of the construction structures of the 40-meter mast of the JSC “Sokol” 89
- Shekhovtsov G. A.** About building a planned center network by means of inverse linear-angular notches in construction of high-rise buildings 98
- Krivoshapko S. N.** A simplified criterion of optimality for shells of revolution 108

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

- Chekardovsky S. M., Shalagin I. Yu., Ilyukhin K. N., Mironov V. V., Chekardovsky M. N.** Modernized method of heat calculation of foreign laminate heat exchange devices of heat supply systems..... 117
- Kochev A. G., Sokolov M. M., Kocheva E. A., Fedotov A. A.** Analysis of use of renewable energy sources for maintaining required microclimate conditions in Orthodox churches..... 127

WATER SUPPLY, SEWAGE, CONSTRUCTION SYSTEMS OF WATER RESOURCES PROTECTION

- Tarasov A. S., Vasilev A. L.** Development and research of a device for treatment of wastewater with a high content of hard-to-oxidize organic compounds and suspended solids..... 134
- Shuvalov M. V.** Classification of wastewater types discharged from sanitary appliances and household equipment 141
- Kyuberis E. A., Vasilev A. L.** Development and research of water treatment technologies from underground sources with high content of iron and manganese..... 150

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

- Kablov E. N., Erofeev V. T., Yamashkin A. A., Smirnov V. F., Yamashkin S. A.** Forecasting regions of biological damages of building materials..... 158



HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTION

- Bukhartsev V. N.** On territorial redistribution of water resources (a new look at the old problem)..... 167
- Fevralyov A. V., Grachyova O. A.** Technique of water calculations of small reservoirs designed for recreation..... 172

ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND CITY ECONOMY

- Mikheeva E. R., Katraeva I. V., Vorozhtsov D. L., Moralova E. A.** The influence of pretreatment of organic fraction of solid municipal waste on anaerobic fermentation process..... 181

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

- Gorshkova G. F., Zaim A.** Architectural formation of air terminals in conditions of hot arid climate..... 187
- Kostova E. V.** The structural characteristics of the post-war architecture of the Soviet empire style in the cities of Western Siberia..... 191
- Shumilkin A. S.** To the problem of recovery of monuments of architecture in restoration practice..... 198
- Ageeva E. Yu., Kochetova E. A.** Analysis of type urban residential area and ways of its humanization..... 203

INFORMATION SECTION

- 185 years of the Hydrometeorological service of Russia..... 208
- In memory of President of RAACS, academician A. V. Kuzmin 217
- In memory of professor M. S. Sedov..... 219
- New publications..... 221
- List of requirements for publication in the scientific periodical "Privolzhsky Scientific Journal" 223

COVER PAGE: The ice-resistant self-propellant platform "North Pole" for all-year complex study of the Arctic environment, being built by the JSC "Admiralteyskie verfi" on demand of the Rosgidromet.

The photo was provided by the Department of the Rosgidromet at the Volga Federal District

УДК 539.3

В. И. ЕРОФЕЕВ¹, д-р физ.-мат. наук, проф., директор; **Б. Б. ЛАМПСИ²**, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой теории сооружений и технической механики; **Б. Б. ЛАМПСИ²**, канд. физ.-мат. наук, ст. преп. кафедры теории сооружений и технической механики; **М. К. ТРОШИНА²**, студент; **А. С. ШИЛОВ²**, студент

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНОЙ ПОДКРАНОВОЙ БАЛКИ С УЧЕТОМ КОМПОНЕНТЫ НАПРЯЖЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ НАЛИЧИЕМ СТЕСНЕННОГО КРУЧЕНИЯ

¹Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85.

Тел.: (831) 432-05-76; эл. почта: erof.vi@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96, (831) 433-98-64; эл. почта: nir@nngasu.ru, tstm@nngasu.ru

Ключевые слова: тонкостенный стержень, кручение, деформация, эксцентриситет, бимомент.

На основании предложенной методики определения величины бимомента выполнен пример расчета сварной двутавровой подкрановой балки. Определено, что при наличии эксцентриситета приложения нагрузки, а также силовых факторов, вызывающих местное кручение, например силы поперечного торможения T_x , будут развиваться нормальные напряжения σ_x . Величина этих напряжений будет существенно зависеть от бимомента B_x , который, в свою очередь, тем больше, чем больше величина эксцентриситета приложения нагрузки "е".

Как известно, при эксплуатации конструкций, а также при выполнении строительно-монтажных работ возможно смещение линии действия нагрузки с осевой линии, т. е. приложение ее с некоторым эксцентриситетом "е". Так, например, в эксплуатируемых на практике подкрановых конструкциях вполне вероятным является смещение линии действия нагрузки (давления колеса крана) из серединной плоскости стенки, т. е. приложение ее с некоторым эксцентриситетом "е". Согласно действующим правилам (п. 4.12, табл. 4.9) СП 70.13330.2012, это смещение на момент приемки монтажных работ ограничивается величиной 15 мм. В процессе эксплуатации величина эксцентриситета может и увеличиваться. Это подтверждается результатами проведенных обследований подкрановых конструкций.

Наличие эксцентриситета приложения нагрузки приводит, во-первых, к увеличению длины распределения давления, передаваемого верхним поясом на кромку стенки, а во-вторых – к закручиванию узла сопряжения стенки с поясом и их изгибу. Очевидно, что при искривлении плоскости поперечного сечения возникнут дополнительные напряжения и деформации, характеризующиеся новыми силовыми факторами. Такой вид деформации назван деформацией, а соответствующий силовой фактор – бимоментом. Многочисленные теоретические и практические исследования показали, что более всего деформация отражается на нормальных напряжениях, возникающих в полках элементов, и в меньшей степени – на касательных. Это значит, что часть составляющих тензора напряжений (как нормальная, так и касательная) может быть обусловлена не только поперечной силой и

изгибающим моментом, но и крутящим, и изгибно-крутящим моментом, а также бимоментом.

В [1] предложена методика определения величины бимоента B_ω , показано влияние эксцентриситета приложения нагрузки на величину бимоента B_ω . Для тонкостенного стержня длиной ℓ эти зависимости имеют вид:

– на участке $0 \leq x < t$:

$$B_\omega(x) = -\psi P e \frac{EI_\omega}{GI_x} \left\{ \frac{(\ell - t)}{\ell} \psi k \operatorname{sh} k x \frac{\psi k \operatorname{sh} k x}{\left[(1 - \psi) \ell + \frac{\psi}{k} \operatorname{sh} k \ell \right]} \times \right. \\ \left. \times \frac{\psi}{k \ell} [(\ell - t) \operatorname{sh} k \ell - \ell \operatorname{sh} k (\ell - t)] \right\}; \quad (1)$$

– на участке $t \leq x < \ell$:

$$B_\omega(x) = -\psi P e \frac{EI_\omega}{GI_x} \left\{ \frac{(\ell - t)}{\ell} \psi k \operatorname{sh} k x - \frac{\psi k \operatorname{sh} k x}{\left[(1 - \psi) \ell + \frac{\psi}{k} \operatorname{sh} k \ell \right]} \times \right. \\ \left. \times \frac{\psi}{k \ell} [(\ell - t) \operatorname{sh} k \ell - \ell \operatorname{sh} k (\ell - t)] - \psi k \operatorname{sh} k (\ell - t) \right\}. \quad (2)$$

Проиллюстрируем полученные теоретические выкладки на примере расчета сварной двутавровой металлической подкрановой балки пролетом 6 метров.

Подобрано сечение подкрановой балки под два крана грузоподъемностью $Q_0 = 12,5 \text{ т} = 125 \text{ кН}$, режим работы 5К по методике СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» при следующих исходных данных: пролет кранов $L_c = 16,5 \text{ м}$; шаг колонн $B_{fr} = 6 \text{ м}$; материал – сталь С245; коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 1$ (уровень ответственности нормальный; класс сооружения КС-2 по ГОСТ 27751-2014). Для изготовления балки принят сварной двутавр, функцию тормозной конструкции выполняет только верхняя полка двутавра.

В соответствии с ГОСТ 25711 нормативное давление колеса крана $F_{cn} = 120 \text{ кН}$; вес крана $G_c = 160 \text{ кН}$; вес тележки крана $G_T = 30 \text{ кН}$; база крана $K_c = 4,4 \text{ м}$; ширина крана $B_c = 5,5 \text{ м}$; количество колес крана на одной его стороне $n_0 = 2$; крановый рельс КР 70.

Нагрузки на балку

Расчетное давление колеса крана при учете двух кранов с учетом собственно го веса подкрановой балки, кранового рельса и дополнительных технологических деталей:

$$F_c = \gamma_n \gamma_f k_d \psi \alpha_g F_{cn} = 1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,85 \cdot 1,03 \cdot 120 = 151,3 \text{ кН}.$$

Нормативное значение горизонтального давления колеса:

$$T_{cn} = \frac{\beta(Q_0 + G_T)}{n_0} = 0,05 \cdot \frac{(125 + 30)}{2} = 3,88 \text{ кН}.$$

Расчетное значение горизонтального давления колеса при учете двух кранов:

$$T_c = \gamma_n \gamma_f \psi T_{cn} = 1 \cdot 1,2 \cdot 0,85 \cdot 3,88 = 3,96 \text{ кН}.$$

Усилия в подкрановой балке

Для дальнейших расчетов необходимы максимальные расчетные значения изгибающего момента $M_{max,z}$ и поперечной силы $Q_{max,z}$ от двух кранов, а также максимальный нормативный изгибающий момент от одного крана $M_{max,1n}$. Для определения этих величин можно использовать линии влияния соответствующих усилий или пользоваться стандартными правилами строительной механики. Второе пред-

почтительнее, т. к. дополнительно необходимы и опорные реакции балки.

Для определения $M_{max,z}$ установим два крана (крановый поезд) на балку в соответствии с правилом Винклера (рис. 1). На рассчитываемой балке расположились два колеса смежных кранов кранового поезда. Остальные два колеса выходят за пределы балки и поэтому в расчетах не учитываются.

Правильность установки кранового поезда проверяем выполнением неравенств:

$$\frac{R_{лв} + F_c}{a_{лв}} = \frac{0 + 151,3}{2,725} = 55,5 > \frac{R_{пр}}{a_{пр}} = \frac{151,3}{3,275} = 46,2;$$

$$\frac{R_{лв}}{a_{лв}} = \frac{0}{2,275} = 0 < \frac{F_c + R_{пр}}{a_{пр}} = \frac{151,3 + 151,3}{3,275} = 92,4.$$

Определим опорные реакции:

$$R_A + R_B = 151,3 + 151,3 = 302,6 \text{ кН, т. е. } R_A = 302,6 - R_B;$$

$$\sum M_A = 0: 151,3 \cdot 2,725 + 151,3 \cdot (2,725 + 1,1) = R_B \cdot 6; R_B = 165,2 \text{ кН};$$

$$R_A = 302,6 - 162,5 = 137,4 \text{ кН}.$$

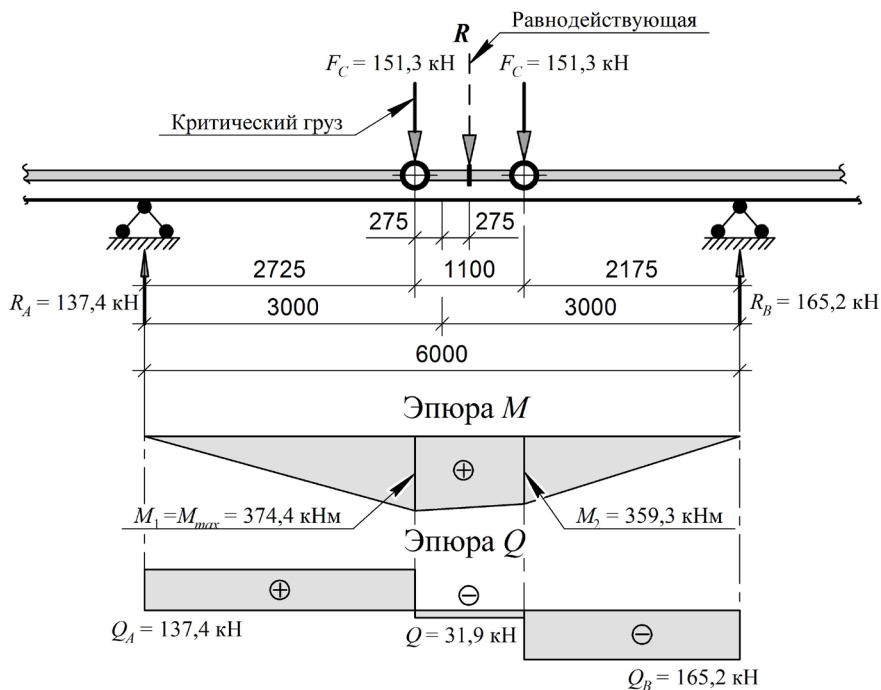


Рис. 1. Для определения $M_{max,z}$

Моменты в сечениях под сосредоточенными силами:

$$M_1 = M_{max,z} = R_A \cdot 2,725 = 137,4 \cdot 2,725 = 374,4 \text{ кНм};$$

$$M_2 = R_B \cdot 2,175 = 165,2 \cdot 2,175 = 359,3 \text{ кНм}.$$

Для определения $Q_{max,z}$ крановый поезд устанавливается так, чтобы одно из колес было над опорой, а другие колеса были бы максимально приближены к этой же опоре (рис. 2). На рассчитываемой балке расположились три колеса смежных кранов кранового поезда.



Определим опорные реакции:

$$R_A + R_B = 151,3 + 151,3 + 151,3 = 453,9 \text{ кН, т. е. } R_A = 453,9 - R_B;$$
$$\sum M_A = 0: 151,3 \cdot 1,1 + 151,3 \cdot (4,4 + 1,1) = R_B \cdot 6; R_B = 166,4 \text{ кН};$$
$$R_A = 453,9 - 166,4 = 287,5 \text{ кН.}$$

Моменты в сечениях под сосредоточенными силами:

$$M_1 = (R_A - F_c) \cdot 1,1 = (287,5 - 151,3) \cdot 1,1 = 149,8 \text{ кНм};$$
$$M_2 = R_B \cdot 0,5 = 166,2 \cdot 0,5 = 83,2 \text{ кНм.}$$

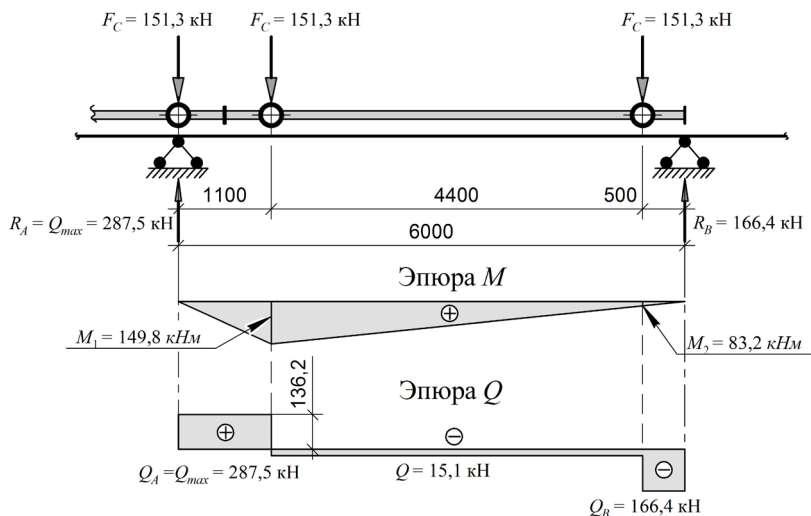


Рис. 2. Для определения $Q_{max,z}$

Для определения $M_{max,1n}$ установим колесо одного крана в середине пролета балки (рис. 3). Другое колесо располагается вне габаритов балки и в расчетах не учитывается.

$$R_A = R_B = 60 \text{ кН};$$
$$M_{max,1n} = F_{cn} \cdot 64 \cdot \alpha_g = 120 \cdot 64 \cdot 1,03 = 185,4 \text{ кНм.}$$

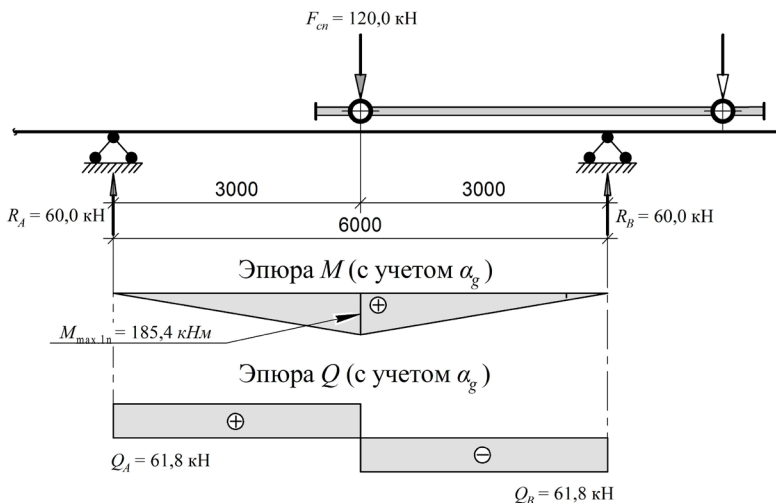


Рис. 3. Для определения $M_{max,1n}$

При определении момента $M_{max,z}$ и поперечной силы $Q_{max,z}$ от горизонтальной нагрузки учтем, что максимальные значения этих величин развиваются при тех же установках кранового поезда, что и при определении момента и поперечной силы от вертикальной нагрузки (рис. 1, 2), при этом эпюры усилий будут подобны. Коэффициентом подобия k_T может быть принято отношение горизонтальной нагрузки к вертикальной, т. е.:

$$k_T = \frac{T_c}{F_c} = \frac{3,96}{151,3} = 0,026.$$

Тогда получим:

$$M_{max,y} = k_T M_{max,z} = 0,026 \cdot 374,4 = 9,7 \text{ кНм};$$

$$Q_{max,y} = k_T Q_{max,z} = 0,026 \cdot 287,5 = 7,5 \text{ кН}.$$

Скомпанованное сечение балки, удовлетворяющее требованиям жесткости и устойчивости, а также его геометрические характеристики приведены на рис. 4.

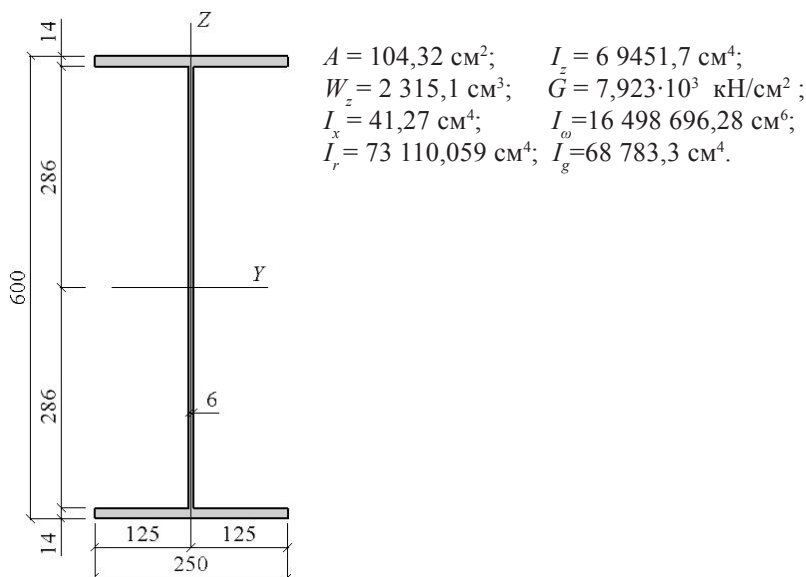


Рис. 4. Поперечное сечение подкрановой балки, геометрические характеристики

Дополнительно определим:

– момент инерции верхнего пояса относительно вертикальной оси Z:

$$I_{z,f} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 1,4 \frac{25^3}{12} = 1\,822,9 \text{ см}^4;$$

– момент сопротивления верхнего пояса относительно вертикальной оси Z:

$$W_{z,f} = t_f \frac{b_f^2}{6} = 1,4 \cdot \frac{25^2}{6} = 145,8 \text{ см}^3.$$

Проверка прочности сечения без учета местного кручения:

– верхний пояс:

$$\frac{M_{z,max}}{W_{z,f} R_{y\gamma_c}} + \frac{M_y}{W_{y,f} R_{y\gamma_c}} = \frac{374,4 \cdot 10^2}{2\,315,1 \cdot 24 \cdot 1} + \frac{9,7 \cdot 10^2}{145,8 \cdot 24 \cdot 1} = 0,954 < 1,0;$$

– нижний пояс:

$$\frac{M_{z,max}}{W_z R_y \gamma_c} = \frac{374,4 \cdot 10^2}{2\,315,1 \cdot 24 \cdot 1,0} = 0,674 < 1,0.$$

Выполним проверку прочности сечения подкрановой балки с учетом местно-го кручения, вызванного: а) силой поперечного торможения, б) эксцентриситетом приложения нагрузки (вертикального давления).

Для определения величины бимомента B_ω по формулам (1) и (2) определим приведенную длину балки из условия равенства момента для случая ее загрузки-ния одной сосредоточенной силой, приложенной в середине пролета, максималь-ному моменту от заданного нагружения:

$$\frac{P l_{пр}}{4} = M_{max,z} = R_A \cdot 2,725 = 137,4 \cdot 2,725 = 374,4 \text{ кНм},$$

откуда получим величину приведенного пролета $l_{пр} = 9,9 \text{ м}$.

Тогда величина бимомента B_ω в середине пролета балки ($x = 4,95 \text{ м}$) будет равна:

$$\text{а) от силы поперечного торможения } T_c \\ B_\omega = -3,726 \cdot 10^4 \text{ кНсм}^2 = -372,6 \text{ кНм}^2;$$

$$\text{б) от эксцентриситета приложения вертикальной нагрузки } (e = 15 \text{ мм}): \\ B_\omega = -5,41 \cdot 10^4 \text{ кНсм}^2 = -541,0 \text{ кНм}^2.$$

Нормальные напряжения, вызванные стесненным кручением, определяются формулой (3).

$$\sigma_\omega = \frac{B_\omega}{I_\omega} \cdot \omega. \quad (3)$$

Для определения этого напряжения необходимо построить эпюру сектори-альных площадей. Известно, что если поперечное сечение обладает осью симме-трии, то главный полюс лежит на этой оси, а главная начальная точка отсчета – на пересечении этой же оси со срединной линией сечения. Если же имеются две оси симметрии, то главный полюс совпадает с центром тяжести поперечного сечения. Способы нахождения секториальных характеристик широко известны, выражения для них можно найти у многих авторов [7, 8, 9], поэтому в рамках данной задачи воспользуемся готовым решением.

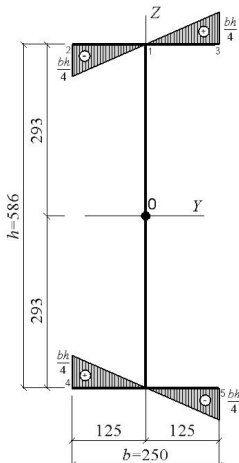


Рис. 5. Эпюра секториальных площадей



Вычислим нормальные напряжения, вызванные стесненным кручением: а) от силы поперечного торможения T_c ; б) от эксцентриситета приложения вертикальной нагрузки. Получим:

$$\text{а) } \sigma'_\omega = \frac{B_\omega}{I_\omega} \cdot \omega = \frac{3,726 \cdot 10^4}{16\,498\,696,28} \cdot \frac{25 \cdot 58,6}{4} = 0,83 \text{ кН/см}^2;$$

$$\text{б) } \sigma''_\omega = \frac{B_\omega}{I_\omega} \cdot \omega = \frac{5,41 \cdot 10^4}{16\,498\,696,28} \cdot \frac{25 \cdot 58,6}{4} = 1,2 \text{ кН/см}^2.$$

Суммарное значение нормальных напряжений от местного кручения составит:

$$\sigma_\omega = \sigma'_\omega + \sigma''_\omega = 0,83 + 1,2 = 2,03 \text{ кН/см}^2.$$

Тогда проверка прочности сечения с учетом местного кручения будет иметь вид:

$$\frac{M_{z,max}}{W_z R_{y\gamma_c}} + \frac{M_y}{W_{y,f} R_{y\gamma_c}} + \frac{B_\omega \omega}{I_\omega R_{y\gamma_c}} = \frac{374,4 \cdot 10^2}{2\,315,1 \cdot 24 \cdot 1} + \frac{9,7 \cdot 10^2}{145,8 \cdot 24 \cdot 1} +$$

$$+ \frac{(3,726 \cdot 10^4 + 5,41 \cdot 10^4) \cdot 25 \cdot 58,6}{16\,498\,696,28 \cdot 4 \cdot 24 \cdot 1} = 1,039 > 1,0;$$

перенапряжение составляет 3,9 %.

$$\frac{M_{z,max}}{W_z R_{y\gamma_c}} + \frac{B_\omega \omega}{I_\omega R_{y\gamma_c}} = \frac{374,4 \cdot 10^2}{2\,315,1 \cdot 24 \cdot 1,0} +$$

$$+ \frac{(3,726 \cdot 10^4 + 5,41 \cdot 10^4) \cdot 25 \cdot 58,6}{16\,498\,696,28 \cdot 4 \cdot 24 \cdot 1} = 0,759 < 1,0,$$

где $B_\omega = B'_\omega + B''_\omega$; B'_ω – бимомент от силы поперечного торможения T_c ;

B''_ω – бимомент от эксцентриситета приложения вертикальной нагрузки.

В таблице приведены значения бимомента B''_ω от эксцентриситета приложения вертикальной нагрузки, суммарные нормальные напряжения σ_ω при различных эксцентриситетах приложения вертикальной нагрузки, а также результаты итоговых проверок прочности верхнего и нижнего поясов.

Эксцентриситет "e", см	Бимомент B''_ω , кНсм ²	Напряжение σ_ω , кН/см (суммарное)	Проверка прочности в. п.	Проверка прочности н. п.	Процент перенапряжения, %
1,5	$-5,41 \times 10^4$	$0,83 + 1,2 = 2,03$	1,039	0,759	3,9
2,0	$-7,214 \times 10^4$	$0,83 + 1,6 = 2,43$	1,055	0,775	5,5
2,5	$-9,017 \times 10^4$	$0,83 + 2,0 = 2,83$	1,072	0,792	7,2
3,0	$-1,082 \times 10^5$	$0,83 + 2,4 = 3,23$	1,089	0,809	8,9
3,5	$-1,262 \times 10^5$	$0,83 + 2,8 = 3,63$	1,105	0,825	11,05
4,0	$-1,443 \times 10^5$	$0,83 + 3,2 = 4,03$	1,122	0,842	11,22

Анализируя полученный результат, можно сделать вывод: при учете нормальных напряжений σ_ω , вызванных стесненным кручением от силы поперечного торможения T_c , добавка к напряжениям составляет 3,4 %. При учете эксцентриситета приложения вертикальной нагрузки "e" от 15 до 40 мм добавка к напряжениям составила от 5,0 до 13,3 %. Очевидно, что с увеличением эксцентриситета этот



процент будет только увеличиваться. Совокупность этих двух факторов приводит к увеличению суммарных напряжений и невыполнению проверки прочности.

Таким образом, анализ полученных результатов показал, что при наличии эксцентриситетов приложения силовых факторов, вызывающих местное кручение, проверку прочности необходимо выполнять с учетом компоненты напряжений, обусловленной наличием стесненного кручения стержня.

Работа выполнялась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант № 18-08-00715).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерофеев, В. И. Напряженное состояние в стенке составной балки с учетом местного кручения и локальной нагрузки / В. И. Ерофеев, С. Г. Юдников, Б. Б. Лампси. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – № 3. – С. 15–25.

2. СП 20.13330-2017. Стальные конструкции : свод правил : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр : дата введения 28.08.2017 : актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Москва, 2017. – 173 с. – Текст : непосредственный.

3. Лампси, Б. Б. Металлические тонкостенные несущие конструкции при локальных нагрузках / Б. Б. Лампси. – Москва : Стройиздат, 1979. – 270 с. – Текст : непосредственный.

4. Сливкер, В. И. Строительная механика. Вариационные основы / В. И. Сливкер. – Москва : Ассоциации строительных вузов, 2005. – 736 с. – ISBN 5-93093-364-2. – Текст : непосредственный.

5. Дьяков, С. Ф. Применение полусдвиговой теории В. И. Сливкера к решению задач статики и динамики тонкостенных стержней : специальность 01.02.04 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дьяков Станислав Федорович. – Санкт-Петербург, 2013. – 147 с. – Текст : непосредственный.

6. Власов, В. З. Тонкостенные упругие стержни / В. З. Власов. – 2-е издание. – Москва : Физматгиз, 1959. – 568 с. – Текст : непосредственный.

7. Бейлин, Е. А. Элементы теории кручения тонкостенных стержней произвольного профиля / Е. А. Бейлин. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2003. – 113 с. – Текст : непосредственный.

8. Бычков, Д. В. Строительная механика стержневых тонкостенных конструкций / Д. В. Бычков. – Москва : Госстройиздат, 1962. – 476 с. – Текст : непосредственный.

9. Дженелидзе, Г. Ю. Статика упругих тонкостенных стержней / Г. Ю. Дженелидзе, Я. Г. Пановко. – Москва : Гостехиздат, 1948. – 208 с. – Текст : непосредственный.

EROFEEV¹ Vladimir Ivanovich, doctor of physical and mathematical sciences, professor, director; LAMPSI² Boris Borisovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of theory of structures and technical mechanics; LAMPSI² Boris Borisovich, candidate of physical and mathematical sciences, senior teacher of the chair of theory of structures and technical mechanics; TROSHINA² Marina Kirovna, student; SHILOV² Andrey Sergeevich, student

ANALYSIS OF THE STRESS STATE OF A STEEL CRANE BEAM TAKING INTO ACCOUNT THE STRESS COMPONENT DUE TO THE PRESENCE OF CONSTRAINED TORSION



¹Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences – Branch of the Federal Research Center “Institute of Applied Physics of the RAS”

85, Belinsky St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia. Tel.: +7 (831) 432-05-76;
e-mail: erof.vi@yandex.ru

²Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96,
+7 (831) 433-98-64; e-mail: nir@nngasu.ru, tstm@nngasu.ru

Key words: thin-walled bar, torsion, warping, eccentricity, bimoment.

On the basis of the proposed methodology for determining the value of bimoment, an example of calculation of a crane welded I-beam was completed. It was found out that at the presence of eccentricity of load application and power factors causing local twist, such as the force of cross braking T_c , normal stresses σ_ω would develop. The magnitude of these stresses depends significantly on the value of the bimoment B_ω , which, in turn, is the greater the higher is the eccentricity of the load application "e".

REFERENCES

1. Erofeev V. I., Yudnikov S. G., Lampsi B. B. Napryazhyonnoe sostoyanie v stenke sostavnoy balki s uchyotom mestnogo krucheniya i lokalnoy nagruzki [Stressed state in the wall of a composite beam subject to local torque and local load]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorodskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet, Nizhny Novgorod, № 3, 2017. P. 15–25.
2. SP 20.13330-2017 Stalnye konstruksii [Steel structures]: svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhdyon Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 27 fevralya 2017 g. № 126/pr : data vvedeniya 28.08.2017 : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81*. Moscow: 2017, 173 p.
3. Lampsi B. B. Metallicheskie tonkostennyye nesuschie konstruksii pri lokalnykh nagruzkakh [Thin-walled metal bearing structures under local loads]. Moscow: Stroyizdat, 1979, 270 p.
4. Slivker V. I. Stroitel'naya mekhanika. Variatsionnye osnovy [Structural mechanics. Variational fundamentals]. Moscow: Assotsiatsii stroitelnykh vuzov. 2005, 736 p.
5. Dyakov S. F. Primenenie polusdvigovoy teorii V. I. Slivkera k resheniyu zadach statiki i dinamiki tonkostennykh sterzhney [Application of V. I. Slivker half-shift theory to solve problems of statics and dynamics of thin-walled rods]. Spetsialnost 01.02.04 : dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Saint-Petersburg, 2013. 147 p.
6. Vlasov V. Z. Tonkostennyye uprugie sterzhni [Thin-walled elastic rods]. 2-e izdanie. Moscow: Fizmatgiz, 1959, 568 p.
7. Beylin E. A. Elementy teorii krucheniya tonkostennykh sterzhney proizvolnogo profilya [Elements of the theory of torsion of thin-walled rods of arbitrary profile]. Saint-Petersburg: SPbGASU, 2003, 113 p.
8. Bychkov D. V. Stroitel'naya mekhanika sterzhneykh tonkostennykh konstruksiy [Structural mechanics of thin-walled rod structures]. Moscow: Gosstroyizdat, 1962, 476 p.
9. Dzenelidze G. Yu, Panovko Ya. G. Statika uprugikh tonkostennykh sterzhney [Statics of elastic thin-walled rods]. Moscow: Gostekhizdat, 1948, 208 p.

© В. И. Ерофеев, Б. Б. Лампси, Б. Б. Лампси, М. К. Трошина, А. С. Шилов, 2019
Получено: 24.09.2019 г.



УДК 699.844

В. Н. БОБЫЛЕВ¹, чл.-корр. РААСН, проф., зав. кафедрой архитектуры;
В. В. ДЫМЧЕНКО¹, канд. техн. наук, ст. преп. кафедры архитектуры;
В. И. ЕРОФЕЕВ², д-р физ.-мат. наук, проф., директор; **Д. В. МОНИЧ¹**, канд.
техн. наук, проф. кафедры архитектуры; **П. А. ХАЗОВ¹**, канд. техн. наук, доц.
кафедры теории сооружений и технической механики

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТИПА СТОЕЧНОГО ПРОФИЛЯ НА ЗВУКОИЗОЛЯЦИЮ КАРКАСНО-ОБШИВНОЙ ПЕРЕГОРОДКИ С ОДИНАРНЫМ КАРКАСОМ ПУТЕМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57;

эл. почта: megagrover@yandex.ru

²Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследователь-
ский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, 85.

Тел.: (831) 432-05-76; эл. почта: erof.vi@yandex.ru

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

*Представлен анализ влияния типа стоечного профиля на звукоизоляцию каркасно-
обшивной перегородки. Анализ проведен на базе программно-вычислительного комплекса
SCAD. Установлен параметр, при регулировании которого возможно повышать звукоизо-
ляцию каркасно-обшивных перегородок без увеличения их массы и толщины.*

Каркасно-обшивные перегородки с одинарным каркасом получили широкое применение в строительстве. Данный вид ограждающих конструкций имеет ряд преимуществ перед каркасно-обшивными перегородками с двойным каркасом: меньшая масса, относительная простота монтажа. Однако по сравнению с этими ограждениями каркасно-обшивные перегородки имеют меньшую звукоизоляцию. Анализ существующих конструктивных решений каркасно-обшивных перегородок показывает, что обеспечение нормативных требований звукоизоляции выполняется, как правило, за счет увеличения массы ограждения (увеличения количества обшивок), что приводит к повышению материалоемкости и трудоемкости строительства. Кроме того, увеличение поперечного сечения перегородок приводит к значительным потерям площади помещений. Таким образом, исследование конструктивных решений по повышению звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с одинарным каркасом является актуальной задачей.

Исследования звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок проводились многими учеными [1–6]. В ряде работ отмечалось значительное влияние типа профиля на звукоизоляцию двойного ограждения [7] как связи между обшивками. На рис. 1 представлено сравнение частотных характеристик звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с различными типами стоечных профилей. Размеры ограждений, толщина и тип обшивок, шаг стоечных профилей у обеих конструкций были приняты одинаковыми.

Как видно из представленных графиков, каркасно-обшивная перегородка на стальных стоечных С-образных профилях имеет значительно большую звукоизоляцию относительно перегородки с использованием деревянного бруса во всем нормируемом диапазоне частот.

Для исследования влияния типа стоечного профиля на звукоизоляцию каркасно-обшивных перегородок было проведено моделирование перемещений в программно-вычислительном комплексе *SCAD* (рис. 1, 2 цв. вклейки). Конструкции перегородок были приняты одинаковыми ($a \times b = 2,0 \times 1,2$ м; обшивки из ГВЛ толщиной по 12,5 мм; воздушный промежуток шириной 75 мм). Были рассмотрены два типа стальных тонкостенных стоечных профилей: стандартный С-образный и сигма-образный профиль (табл. 1). К моделям прикладывалась одинаковая статическая равномерно распределенная нагрузка $0,1 \text{ кН/м}^2$.

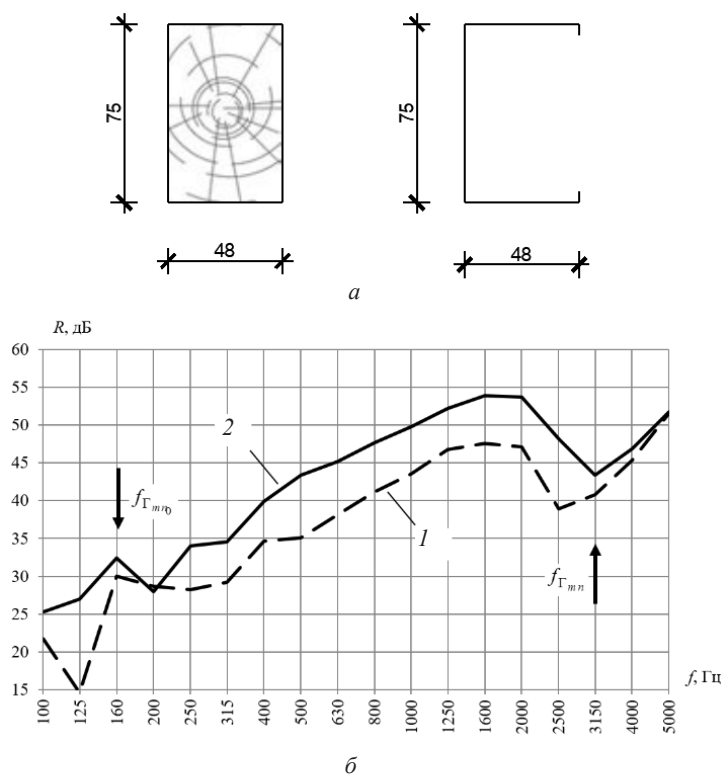


Рис. 1. Результаты исследований звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с двумя типами стоечных профилей: а – поперечные сечения стоечных профилей (деревянный брус и тонкостенный стальной стоечный профиль С-образного сечения); б – экспериментальные частотные характеристики ($a \times b = 2,0 \times 1,2$ м; обшивки из ГВЛ толщиной по 12,5 мм; воздушный промежуток шириной 75 мм, без заполнения звукопоглощающим материалом): 1 – стоечные профили из деревянного бруса; 2 – тонкостенные стальные стоечные профили С-образного сечения; $f_{Гmn}$ – граничная частота полного пространственного резонанса [8]; $f_{Гmn0}$ – граничная частота неполного пространственного резонанса [8]

**К СТАТЬЕ В. Н. БОБЫЛЕВА, В. В. ДЫМЧЕНКО,
В. И. ЕРОФЕЕВА, Д. В. МОНИЧА, П. А. ХАЗОВА
«АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТИПА СТОЕЧНОГО ПРОФИЛЯ
НА ЗВУКОИЗОЛЯЦИЮ КАРКАСНО-ОБШИВНОЙ ПЕРЕГОРОДКИ С
ОДИНАРНЫМ КАРКАСОМ
ПУТЕМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ»**

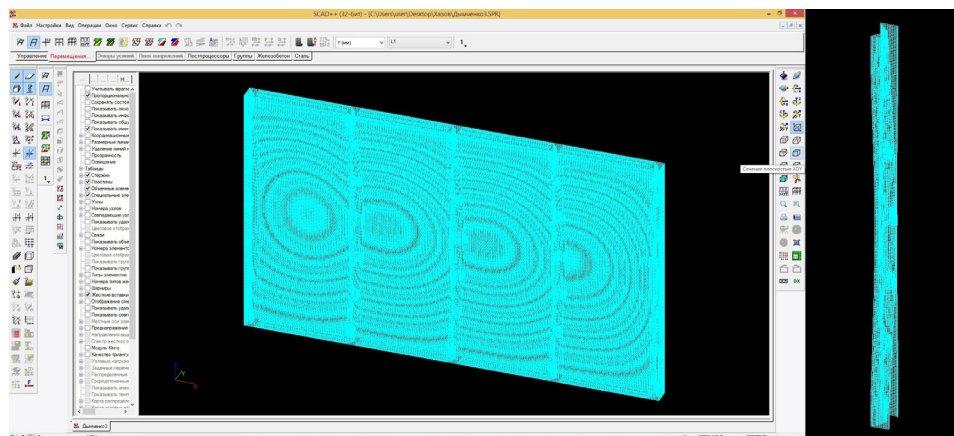


Рис. 1. Модель каркасно-обшивной перегородки на сигма-образных стоечных профилях в программно-вычислительном комплексе SCAD

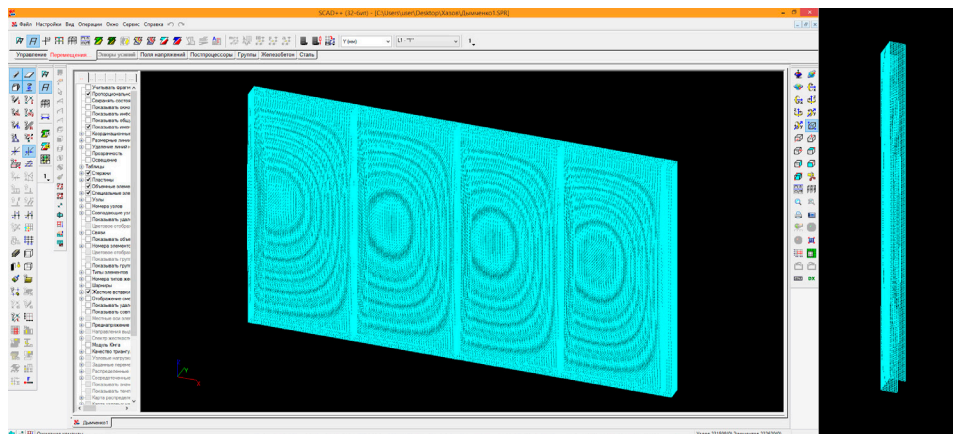


Рис. 2. Модель каркасно-обшивной перегородки на С-образных стоечных профилях в программно-вычислительном комплексе SCAD

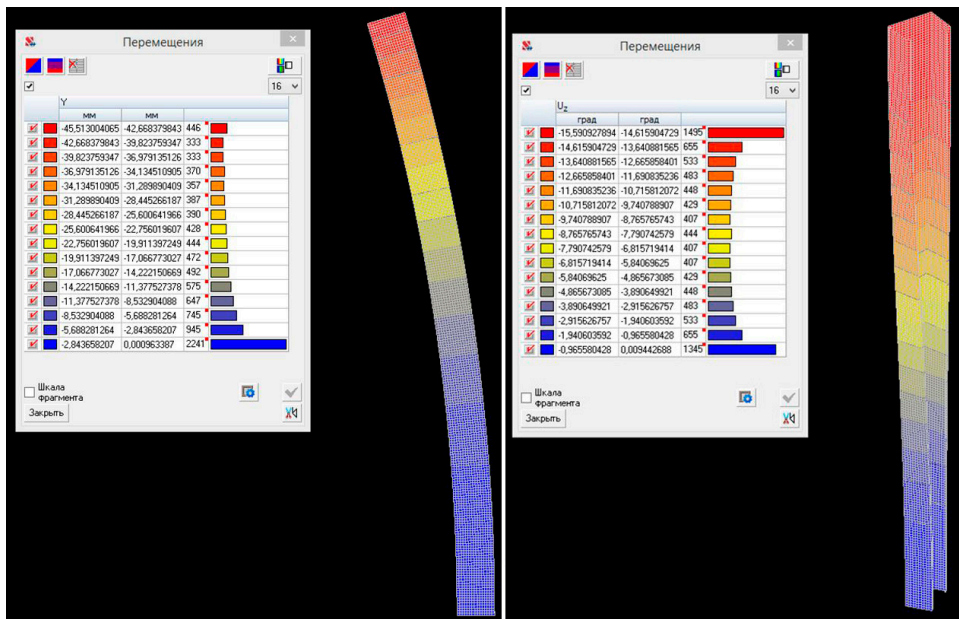


Рис. 3. Результаты численного моделирования перемещений С-образного стоечного профиля от изгиба (в мм, схема слева) и от закручивания (в градусах, схема справа)

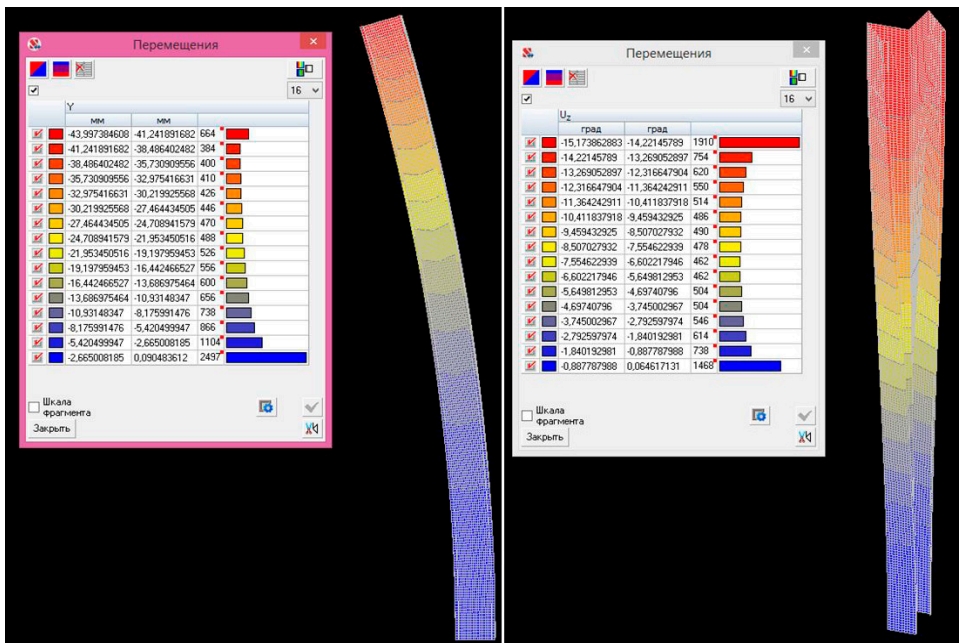




Рис. 4. Результаты численного моделирования перемещений сигма-образного стоечного профиля от изгиба (в мм, схема слева) и от закручивания (в градусах, схема справа)

Таблица 1

Характеристики исследуемых стоечных профилей каркаса

Тип стоечного профиля	Схема поперечного сечения стоечного профиля	Изгибная жесткость профиля, EJ , кНм ²	Крутильная жесткость профиля, GJ_p , кНм ²
С-образный		6,793	0,919
Сигма-образный		7,102	0,943

В результате проведенного моделирования для каждого типа перегородки были получены величины смещений (рис. 3, 4 цв. вклейки), приведенные жесткости $D_{пр}$ и параметры $\mu/D_{пр}$ ($\mu = \mu_1 + \mu_2$ – суммарная поверхностная плотность обшивок, кг/м²) (табл. 2). Данные вопросы были подробно рассмотрены ранее [9].

Таблица 2

Величины отношений $\mu/D_{пр}$ для перегородок с различными типами стоечных профилей

Материал обшивки	Тип стоечного профиля каркаса	
	С-образный	Сигма-образный
ГВЛ, толщина 12,5 мм	0,42	0,495

Необходимо отметить, что характеристика самосогласования [8] обратно пропорционально зависит от чисел m и n , а те, в свою очередь, имеют прямо пропорциональную зависимость от отношения $\mu/D_{пр}$. Таким образом, чтобы применить рациональные конструктивные решения и повысить звукоизоляцию каркасно-обшивной перегородки, необходимо подбирать отношения $\mu/D_{пр}$ с большими значениями [10].

Были проведены экспериментальные исследования звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с параметрами, исследованными в программно-вычислительном комплексе SCAD (рис. 2).

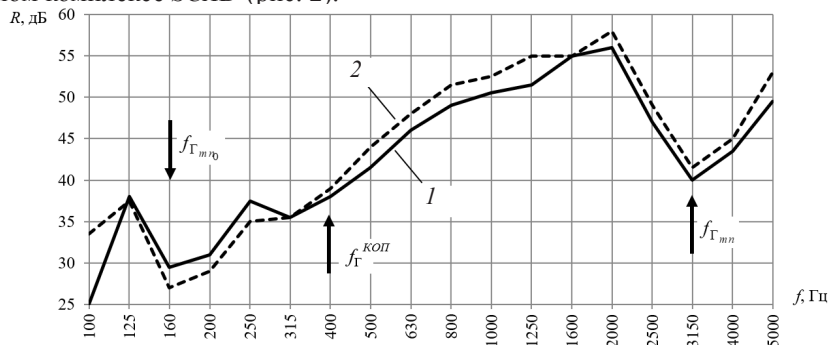


Рис. 2. Экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок ($a \times b = 2,0 \times 1,2$ м; обшивки из ГВЛ толщиной по 12,5 мм; воздушный промежуток шириной 75 мм, без заполнения звукопоглощающим материалом): 1 – тонкостенные стальные стоечные профили С-образного сечения ($\mu/D_{пр} = 0,42$); 2 – тонкостенные стальные стоечные профили сигма-образного сечения ($\mu/D_{пр} = 0,495$); $f_{Г_{mn}}$ – граничная частота полного пространственного резонанса [8]; $f_{Г_{mn}}^{коп}$ – граничная частота неполного пространственного резонанса [8]; $f_{Г_{mn}}^{коп}$ – граничная частота, разделяющая области с двумя схемами прохождения звука через каркасно-обшивную перегородку (схема 1 – условно однослойное ограждение, схема 2 – двухслойное ограждение) [см. 10]



Анализируя полученные данные, можно видеть, что перегородка на сигма-образных профилях имеет более высокие значения звукоизоляции в широком диапазоне частот (400 – 5 000 Гц). Данный результат достигнут за счет применения рационального конструктивного решения каркасно-обшивной перегородки с более высокими значениями параметра $\mu/D_{пр}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крейтан, В. Г. Защита от внутренних шумов в жилых домах / В. Г. Крейтан. – Москва : Стройиздат, 1990. – 260 с. – ISBN 5-274-01086-5. – Текст : непосредственный.
2. Fahy, F. Mechanical stiffening and coupling of double partition leaves / F. Fahy, P. Gardonio // In Sound and structural vibration - Radiation, transmission and response. – London : Academic Press, 2006. – P. 323–330.
3. Wang, J. Sound transmission through lightweight double-leaf partitions: theoretical modelling / J. Wang, T. J. Lu, J. Woodhouse, R. S. Langley // J. Sound Vib. – 2005. – V. 286. – P. 817–847.
4. 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. – № 61. – P. 223–245.
5. Кочкин, А. А. О повышении звукоизоляции ограждающих конструкций / А. А. Кочкин – Текст : непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 198–199.
6. Кочкин, А. А. О прохождении и излучении звука в слоистых вибродемпфированных элементах / А. А. Кочкин, И. Л. Шубин, Н. А. Кочкин. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 3. – С. 119–125.
7. Боголепов, И. И. Увеличение звукоизоляции двустенных конструкций за счет применения звукоизолирующих мостиков / И. И. Боголепов. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 2. – С. 46–53.
8. Седов, М. С. Звукоизоляция / М. С. Седов. – Текст : непосредственный // Техническая акустика транспортных машин: справочник / под ред. Н. И. Иванова. – Санкт-Петербург : Политехника, 1992. – Гл. 4. – С. 68–106.
9. Бобылев, В. Н. Численное моделирование каркасно-обшивных перегородок с различными типами стоечных профилей / В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко, Д. В. Монич, П. А. Хазов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2018. – С. 20–24.
10. Дымченко, В. В. Звукоизоляция каркасно-обшивных перегородок с одинарным каркасом : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дымченко Владимир Викторович. – Москва, 2019. – 168 с. – Текст : непосредственный.

BOBYLYOV Vladimir Nikolaevich¹, corresponding member of RAACS, professor, holder of the chair of architecture; DYMCHENKO Vladimir Viktorovich¹, candidate of technical sciences, senior lecturer of the chair of architecture; EROFEEV Vladimir Ivanovich², doctor of physical and mathematical sciences, professor, director; MONICH Dmitry Viktorovich¹, candidate of technical sciences, professor of the chair of architecture; KHAZOV Pavel Alekseevich¹, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF A RACK PROFILE TYPE ON THE SOUND INSULATION OF A SINGLE-FRAME PARTITION BY FINITE-ELEMENT MODELING



¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: megagrover@yandex.ru

²Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences – Branch of the
Federal Research Center “Institute of Applied Physics of the RAS”
85, Belinsky St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia. Tel.: +7 (831) 432-05-76;
e-mail: erof.vi@yandex.ru

Key words: sound insulation, frame partition, rack profile type.

The article presents an analysis of the influence of a rack profile type on the sound insulation of a frame-sheathing partition. The analysis was carried out on the basis of the SCAD software and computer complex. A parameter is established that, when regulated, can increase the sound insulation of frame-sheathing partitions without increasing their mass and thickness.

REFERENCES

1. Kreytan V. G. Zashchita ot vnutrennikh shumov v zhilykh domakh [Protection against internal noise in residential buildings]. Moscow : Stroyizdat, 1990, 260 p. ISBN 5-274-01086-5.
2. 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.
3. Wang J., Lu T. J., Woodhouse J., Langley R. S., Evans J. Sound transmission through lightweight double-leaf partitions: theoretical modelling // J. Sound Vib., v. 286. 2005. P. 817–847.
4. 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.
5. Kochkin A. A. O povyshenii zvukoizolyatsii ograzhdayushchikh konstruksiy [Improving the sound insulation of building envelopes]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo [Academy. Architecture and construction]. 2010. P. 198–199.
6. Kochkin A. A., Shubin I. L., Kochkin N. A. O prokhozhenii i izluchenii zvuka v sloistnykh vibrodempirovannykh elementakh [The passage and emission of sound in layered vibration-damped elements]. Stroitelstvo i rekonstruktsiya [Construction and reconstruction]. 2016. № 3. P. 119–125.
7. Bogolepov I. I. Uvelichenie zvukoizolyatsii dvustennykh konstruksiy za schyot primeneniya zvukoizoliruyushchikh mostikov [The increase in sound insulation of double-walled structures due to the use of soundproof bridges]. Inzhenerno-stroitelny zhurnal [Civil Engineering Journal]. 2009. № 2. P. 46–53.
8. Sedov M. S. Zvukoizolyatsiya [Sound insulation]. Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin [Technical acoustics of transport vehicles] : spravochnik. Pod red. N. I. Ivanova. – Saint-Petersburg: Politehnika, 1992. Ch. 4. P. 68–106.
9. Boblyov V. N., Dymchenko V. V., Monich D. V., Khazov P. A. Chislennoe modelirovanie karkasno-obshivnykh peregorodok s razlichnymi tipami stoechnykh profiley [Numerical modeling of soundproofing frame-sheathing partitions with various types of rack profiles]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2018. P. 20–24.
10. Dymchenko V.V. Zvukoizolyatsiya karkasno-obshivnykh peregorodok s odinarnym karkasom [Sound insulation of single-frame partitions]: spetsialnost 05.23.01: dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Moscow, 2019, 168 p.

© В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич, П. А. Хазов, 2019
Получено: 24.09.2019 г.



УДК 699.844

В. Н. БОБЫЛЕВ, чл.-корр. РААСН, проф., зав. кафедрой архитектуры, советник при ректорате¹, вед. науч. сотр.²; **В. А. ТИШКОВ**, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры¹, ст. науч. сотр.²; **Д. Л. ЩЕГОЛЕВ**, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры, проректор по учебной работе¹, ст. науч. сотр.²; **М. М. ПЕТРОВА**, магистрант кафедры архитектуры¹

О ВЛИЯНИИ УГЛА ПАДЕНИЯ ЗВУКА НА ЗВУКОИЗОЛЯЦИЮ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-19-57; эл. почта: zvuk.nngasu@mail.ru

²ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21. Тел.: (495) 482-40-76

Ключевые слова: звукоизоляция, светопрозрачные ограждающие конструкции, направленное падение звука, теория самосогласования волновых полей.

Рассматриваются вопросы влияния направленного звука на звукоизоляцию наружных светопрозрачных конструкций зданий и сооружений. Представлены результаты сравнения экспериментальных значений звукоизоляции ограждений при различных углах падения звука с теоретическими данными, полученными в результате расчетов по теории самосогласования волновых полей.

В работе [1] были представлены результаты теоретических исследований по учету влияния угла падения звука на звукоизоляцию светопрозрачных ограждающих конструкций и разработке инженерного метода расчета звукоизоляции светопрозрачных ограждений при направленном падении звука, основанного на теории самосогласования волновых полей с учетом двойственной природы прохождения звука [2].

Для подтверждения выводов о влиянии угла падения звука на звукоизоляцию ограждений, а также с целью проверки результатов теоретических расчетов была экспериментально исследована звукоизоляция различных типов светопрозрачных конструкций. В качестве объектов экспериментальных исследований были приняты однослойные конструкции из силикатного стекла различной толщины, а также многослойные светопрозрачные ограждения. При экспериментальных исследованиях звукоизоляции однослойных ограждений были получены частотные характеристики звукоизоляции ограждений из силикатного стекла толщиной 3 мм, 4 мм и 5 мм. В качестве примера представлены результаты экспериментальных исследований звукоизоляции конструкций из стекла толщиной 4 мм как наиболее часто применяемых в современном строительстве.

На рис. 1–5 представлены частотные характеристики звукоизоляции стекла толщиной 4 мм при углах падения звука 30°, 45°, 60° и 75°. Пунктирной линией на графиках нанесена звукоизоляция конструкций по «закону массы», подсчитанная для каждого угла падения звука. Для сравнения экспериментальных и теоретических данных на рис. 1–4 нанесены теоретические частотные характеристики звукоизоляции, посчитанные в соответствии с [2]. Также на представленных графиках показаны граничные частоты областей резонансного прохождения звука: граничная частота области простых пространственных резонансов $f_{\Gamma_{\text{много}}}$, гра-

ничная частота области неполных ПР $f_{Гмп0}$, а также граничная частота ПР $f_{Гмп}$.

Экспериментальные исследования звукоизоляции ограждений при направленном падении звука проводились с использованием статистического метода в больших акустических камерах лаборатории акустики ННГАСУ [3]. В одной из реверберационных камер были созданы условия, близкие к условиям распространения звука в свободном звуковом поле. Для этого все внутренние поверхности камеры высокого уровня (КВУ) объемом 150 м^3 были обработаны звукопоглощающим материалом. Измеренные после этого частотные зависимости времени реверберации показали, что время реверберации на низких и средних частотах составило $T = 0,35 - 0,1 \text{ с}$, а на частотах 500 Гц и выше отклик в заглушенной камере практически отсутствует. Кроме того, для установления картины нежелательных отражений, идущих к исследуемому ограждению, в заглушенной камере снимались характеристики направленности источника звука. Диаграммы направленности записывались при возбуждении громкоговорителя синусоидальным тоном на среднегеометрических частотах третьоктавных полос.

При экспериментальном определении величины изоляции звука при его угловом падении применялась нестандартная методика, так как действующие нормативы не распространяются на методы лабораторных измерений звукоизоляции строительных конструкций в свободном звуковом поле и в сильно заглушенных помещениях. Поэтому непосредственные измерения звукоизоляции ограждающих конструкций в зависимости от угла падения звука проводились методом «открытого окна», когда уровни звукового давления измеряются в звукоприемном помещении при открытом, а также закрытом исследуемой конструкцией проеме.

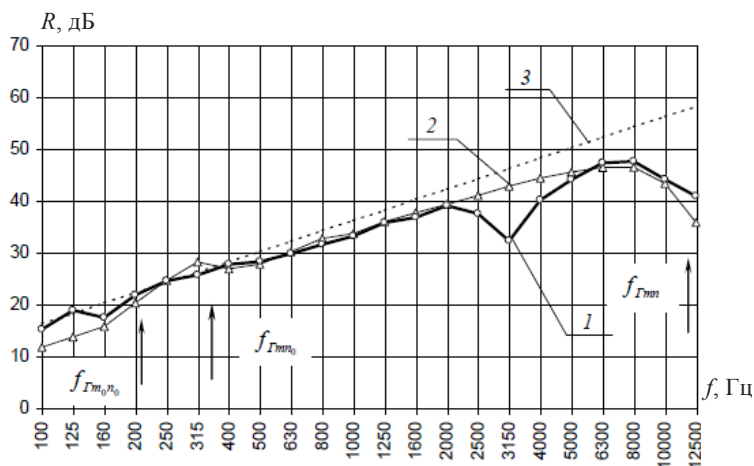


Рис. 1. Частотные характеристики звукоизоляции ограждения из силикатного стекла толщиной 4 мм при угле падения звука 30° : 1 – экспериментальная кривая; 2 – теоретическая кривая; 3 – «закон массы»

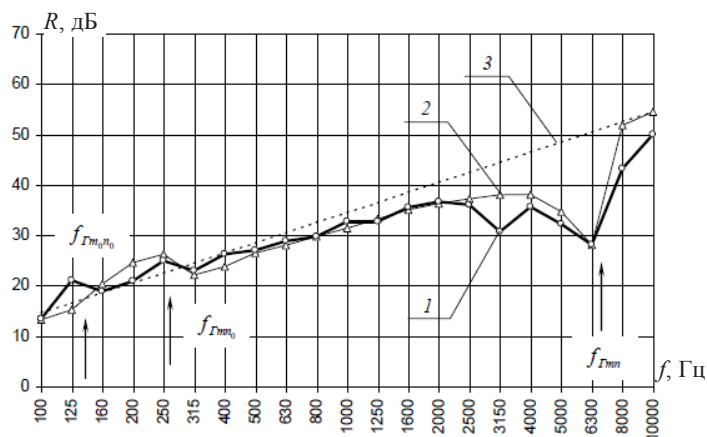


Рис. 2. Частотные характеристики звукоизоляции ограждения из силикатного стекла толщиной 4 мм при угле падения звука 45°: 1 – экспериментальная кривая; 2 – теоретическая кривая; 3 – «закон массы»

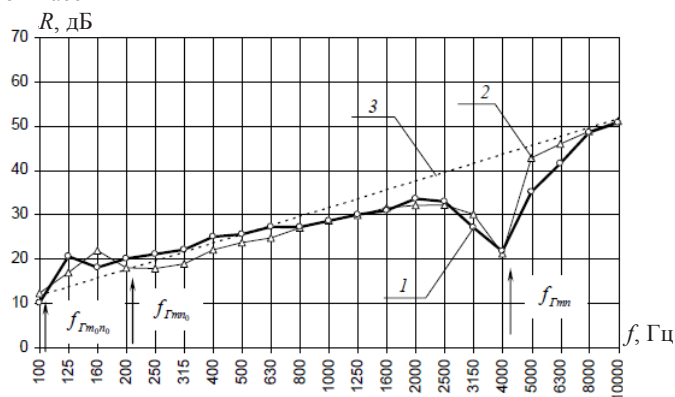


Рис. 3. Частотные характеристики звукоизоляции ограждения из силикатного стекла толщиной 4 мм при угле падения звука 60°: 1 – экспериментальная кривая; 2 – теоретическая кривая; 3 – «закон массы»

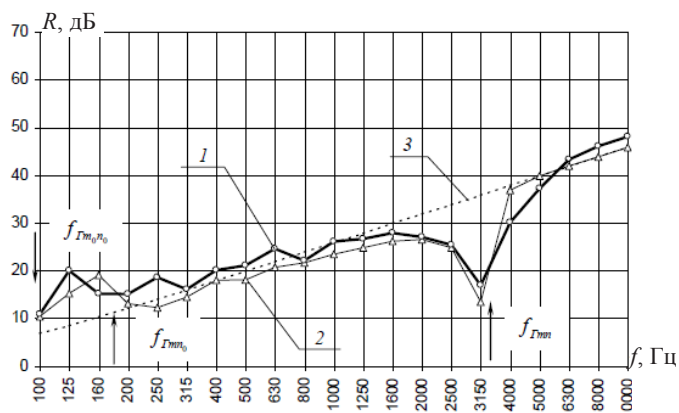


Рис. 4. Частотные характеристики звукоизоляции ограждения из силикатного стекла толщиной 4 мм при угле падения звука 75°: 1 – экспериментальная кривая; 2 – теоретическая кривая; 3 – «закон массы»

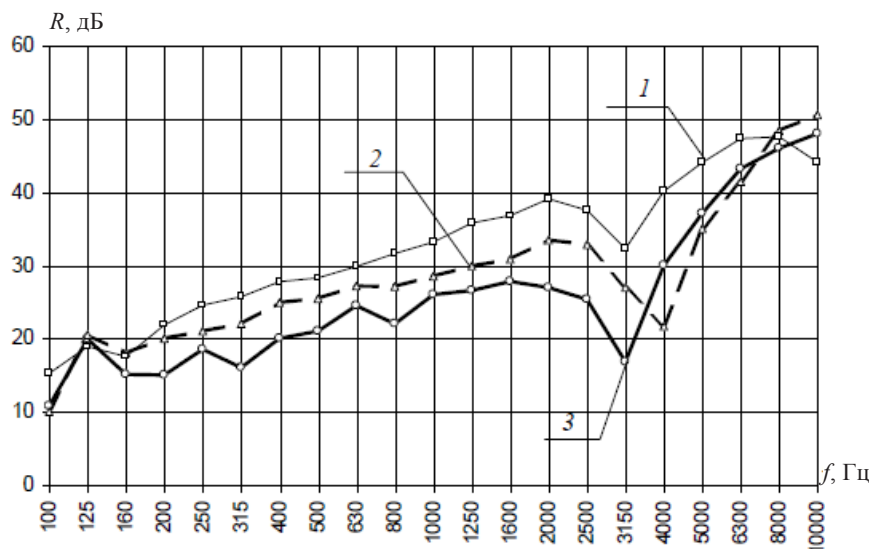


Рис. 5. Экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции ограждения из силикатного стекла толщиной 4 мм: 1 – угол падения 30°; 2 – угол падения 60°; 3 – угол падения 75°

Анализируя частотные характеристики, представленные на рис. 1–5, можно видеть, что практически во всем рассматриваемом диапазоне частот ход теоретических кривых звукоизоляции при различных углах падения звука соответствует экспериментальным частотным характеристикам, полученным в лаборатории акустики ННГАСУ. На частотах ниже $f = 160$ Гц в некоторых случаях заметно расхождение между теоретическими и экспериментально полученными значениями звукоизоляции. Это вызвано тем, что в области частот ниже граничной частоты диффузности камеры низкого уровня (КНУ) на частотную характеристику звукоизоляции оказывают влияние собственные частоты воздушного объема звукомерной камеры [4].

При падении звука под углами $0\text{--}45^\circ$ в области граничного пространственного резонанса, охватывающей 2–3 октавы, также наблюдается расхождение численных значений звукоизоляции экспериментальных и теоретических кривых – появляется глубокий провал в частотной характеристике на частоте, не соответствующей частоте пространственного резонанса. Для стекла толщиной 4 мм этот провал проявляется на частоте 3 150 Гц.

Это явление было отмечено в работах Айзенберга [5] и Остинга [6]. Айзенберг отмечает, что появление этих провалов противоречит теории бесконечных пластин, и они наблюдаются благодаря конечности размеров ограждения и закреплению краев. Остинг считает, что провал в звукоизоляции ограждений при нормальном падении звука появляется из-за наличия волн, падающих на ограждение под углами, отличными от нуля. Однако наиболее полное исследование этого явления было проведено в лаборатории акустики ННГАСУ профессором В. А. Тишковым [7]. Им в ходе проведения экспериментальных исследований звукоизоляции однослойных конструкций при угловом падении звука была заглушена не только КВУ, но и КНУ.

После этого проводились измерения звукоизоляции ограждений при углах падения звука 0° и 45° . Микрофон устанавливался в заглушенной КНУ под углом падающего звука по отношению к исследуемой панели. Исследования показали, что

в результате устранения отражений от стен КНУ частотная характеристика звукоизоляции в рассматриваемой частотной области полностью сглаживается. Таким образом, В. А. Тишков делает вывод, что глубокие провалы на граничной частоте вызываются влиянием на звукоизоляцию вторичного звукового поля. Прошедшие в КНУ звуковые волны, многократно отражаясь от стен помещения, падают на ограждение под разными углами, в том числе и под углами волнового совпадения. То есть происходит самоусиление прохождения звука на данных частотах [7].

Из рассмотрения результатов экспериментальных исследований видно, что теоретически выявленные резервы звукоизоляции ограждений при изменении угла падения звука подтверждаются экспериментально. Так, при уменьшении угла падения звука наблюдается увеличение звукоизолирующей способности конструкции практически во всем рассматриваемом диапазоне частот. Особенно это заметно на граничной частоте пространственного резонанса, где подобные резервы звукоизоляции могут достигать 20 дБ и более. При этом происходит значительное смещение по частотной шкале граничных частот резонансного прохождения звука, обуславливающих области повышенного прохождения звука. Причем при увеличении угла падения звука граничная частота пространственного резонанса смещается по частотной шкале вниз настолько, что при больших углах падения звука (больше 60°) находится в нормируемом диапазоне частот (100 – 3 150 Гц). Это оказывает значительное влияние на звукоизоляцию конструкции для стекол толщиной 4 мм (наиболее часто применяемых в строительстве).

Также в лаборатории акустики ННГАСУ экспериментально была исследована звукоизоляция многослойных светопрозрачных конструкций: оконных блоков и стеклопакетов различной конструкции. В качестве примера приведем экспериментальные данные для однокамерного стеклопакета и оконного блока с двухкамерным стеклопакетом.

На рис. 6 представлена частотная характеристика звукоизоляции однокамерного стеклопакета с формулой остекления 4+16+4, наиболее часто применяемого в общественных и промышленных зданиях (где первое и последнее слагаемое обозначает толщину стекла ограждения в мм, а второе – ширину воздушного промежутка также в мм).

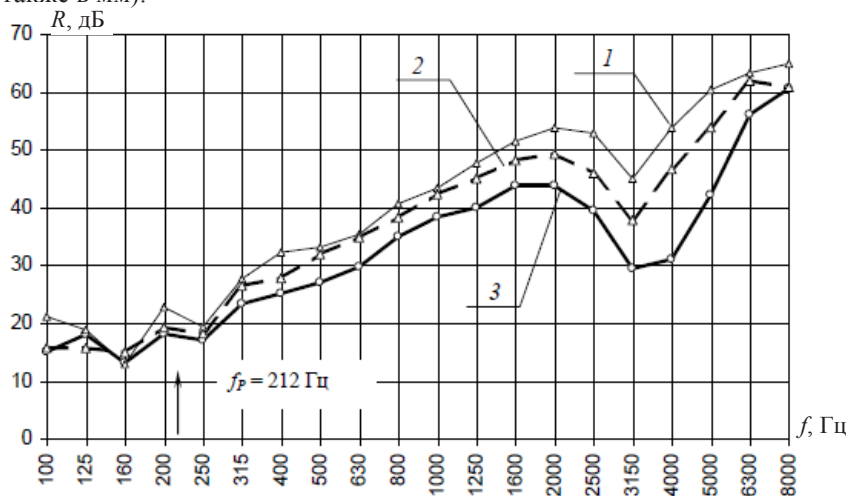


Рис. 6. Экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции однокамерного стеклопакета 4+16+4: 1 – угол падения звука 0° ; 2 – угол падения звука 30° ; 3 – угол падения звука 60°

На рис. 7 представлены частотные характеристики звукоизоляции оконного блока из ПВХ профиля с двухкамерным стеклопакетом с формулой остекления 4+10+4+10+4 (такие стеклопакеты часто применяются в оконных конструкциях в жилых зданиях).

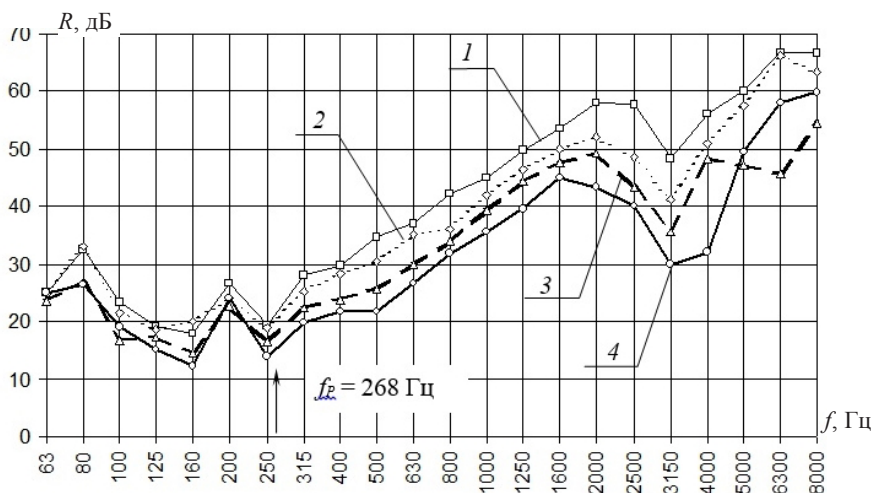


Рис. 7. Экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции оконного блока из ПВХ профиля RENAУ с двухкамерным стеклопакетом 4+10+4+10+4: 1 – угол падения звука 0°; 2 – угол падения звука 30°; 3 – угол падения звука 45°; 4 – угол падения звука 60°

Из рассмотрения рис. 6 и 7 видно, что и для многослойного светопрозрачного ограждения также существуют значительные резервы звукоизоляции при неизменном конструктивном решении за счет изменения угла падения звука. Повышение звукоизоляции на частоте пространственного резонанса при уменьшении угла падения звука по сравнению с касательным может достигать 15–20 дБ и более в зависимости от типа конструкции.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований в лаборатории акустики ННГАСУ были разработаны инженерные методы расчета звукоизоляции однослойных и многослойных светопрозрачных ограждений при направленном падении звука [2], [8], которые могут применяться с целью прогнозирования звукоизоляции наружных ограждений при проектировании и реконструкции зданий, а также при разработке проектов планировки территории.

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, тема 7.6.15, 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. Бобылев, В. Н. Механизм резонансного и инерционного прохождения направленного звука через светопрозрачные ограждающие конструкции зданий и сооружений / В. Н. Бобылев, В. А. Тишков, Д. Л. Щеголев, М. М. Петрова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2018 – № 4. – С. 15–21.
2. Бобылев, В. Н. Руководство по расчету звукоизоляции светопрозрачных ограждающих конструкций при направленном падении звука : учеб. пособие / В. Н. Бобылев, В. А. Тишков, Д. Л. Щеголев ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2003. – 35 с. – ISBN 5-87941-302-0. – Текст : непосредственный.
3. Бобылев, В. Н. Проведение экспериментальных исследований звукоизоляции светопрозрачных ограждений при направленном падении звука / В. Н. Бобылев, В. А. Тишков, Д. Л. Щеголев. – Текст : непосредственный // Вестник Волжского регионального отделения РААСН / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2004. – Вып. 7. – С. 15–21.
4. Бобылев, В. Н. О звукоизоляции однослойных ограждений в области частот ниже граничной частоты диффузности звукового поля / В. Н. Бобылев. – Текст : непосредственный // Звукоизоляция конструкций зданий : труды ГИСИ ; Горьковский инженерно-строительный институт им. В. П. Чкалова. – Горький, 1974. – Вып. 71. – С. 44–50.
5. Eisenberg, A. Die Schalldämmung von Gläsern und Verglasungen. 1-fest eingebaute Einfachscheiben / A. Eisenberg // Glastechnische Berichte. – 1961. – Вып. 34. – P. 544.
6. Osting, W. A. Onderzoek naar de Geluidisolatie van Vlakglas / W. A. Osting // Report 706, 007, Delft, Building Acoustics, Technical Physical Service, TNO and TH. – 1967. – № 4.
7. Седов, М. С. Расчет звукоизоляции однослойных конструкций при направленном падении звука : курс лекций / М. С. Седов, В. А. Тишков ; ГГУ им. Н. И. Лобачевского. – Горький, 1978. – 45 с. – Текст : непосредственный.
8. Бобылев, В. Н. Способ расчета звукоизоляции шумозащитных окон с однокамерным стеклопакетом / В. Н. Бобылев, В. А. Тишков, Д. Л. Щеголев, Д. В. Мурыгин, А. Н. Пузанков. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2011. – № 4. – С. 40–45.

BOBYLYOV Vladimir Nikolaevich, corresponding member of RAACS, professor, holder of the chair of architecture¹, advisor to the rector, leading researcher²; TISHKOV Vladimir Aleksandrovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of architecture¹, senior researcher²; SCHYOGOLEV Dmitry Lvovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of architecture, vice rector for study¹, senior researcher²; PETROVA Maria Mikhaylovna, undergraduate student of the chair of architecture¹

ON THE INFLUENCE OF THE ANGLE OF INCIDENCE OF SOUND ON THE SOUND INSULATION OF TRANSLUCENT WALLING

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: zvuk.nngasu@mail.ru

²Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

21, Lokomotivny proezd, Moscow, 127238, Russia. Tel.: +7 (495) 482-40-76

Key words: sound insulation, translucent walling, directed sound, theory of self-coordination of wave fields.



The article considers the influence of directed sound on sound insulation of external transparent structures of buildings. A comparison of experiments on sound insulation measurement with theoretical results for translucent enclosures at different angles of sound incidence is presented.

REFERENCES

1. Bobilyov V. N., Tishkov V. A., Schyogolev D. L., Petrova M. M. Mekhanizm rezonansnogo i inertsiionnogo prokhozhdeniya napravlenno zvuka cherez svetoprozrachnye ograzhdayushchie konstruksii zdaniy i sooruzheniy [Mechanism of resonant and inertial passage of directed sound through transparent protecting structures of buildings]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2018. № 4. P. 15–21.
2. Bobilyov V. N., Tishkov V. A., Schyogolev D. L. Rukovodstvo po raschyotu zvukoizolyatsii svetoprozrachnykh ograzhdayushchikh konstruksiy pri napravlennom padenii zvuka [Guidance on calculation of sound insulation of translucent walling at directed sound] : ucheb. posobie. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2003, 35 p. ISBN 5-87941-302-0.
3. Bobilyov V. N., Tishkov V. A., Schyogolev D. L. Provedenie eksperimentalnykh issledovaniy zvukoizolyatsii svetoprozrachnykh ograzhdeniy pri napravlennom padenii zvuka [Conducting experimental studies of sound insulation of translucent fencing at directed sound]. Vestnik Volzhskogo regionalnogo otdeleniya RAASN [Bulletin of the Volga regional branch of RAASN]. Nizhny Novgorod, 2004. Vol. 7. P. 15–21.
4. Bobilyov V. N. O zvukoizolyatsii odnosloynnykh ograzhdeniy v oblasti chastot nizhe granichnoy chastoty diffuznosti zvukovogo polya [Sound insulation of single-layer fences in the frequency range below the cutoff frequency of sound field diffusivity]. Zvukoizolyatsiya konstruksiy zdaniy. Trudy GISI [Sound insulation of building structures. GISI articles]. Gorkovskiy inzhenerno-stroitelny institut im. V. P. Chkalova. Gorky, 1974. Vol. 71. P. 44–50.
5. Eisenberg A. Die Schalldämmung von Gläsern und Verglasungen // 1-fest eingebaute Einfachscheiben. Glastechnische Berichte, 1961, B. 34, P. 544.
6. Osting W. A. Onderzoek naar de Geluidisolatie van Vlakglas Osting // Report 706, 007, Delft, Building Acoustics, Technical Physical Service, TNO and TH, № 4, 1967.
7. Sedov M. S., Tishkov V. A. Raschyot zvukoizolyatsii odnosloynnykh konstruksiy pri napravlennom padenii zvuka [Calculation of sound insulation of single-layer structures at directed sound] : kurs lektsiy. GGU im. N. I. Lobachevskogo. Gorky, 1978, 45 p.
8. Bobilyov V. N., Tishkov V. A., Schyogolev D. L., Murygin D. V., Puzankov A. N. Sposob raschyota zvukoizolyatsii shumozaschitnykh okon s odnokamernym steklopaketom [The method of calculation of sound insulation of noise protection windows with single-chamber glass]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2011. № 4. P. 40–45.

© В. Н. Бобылев, В. А. Тишков, Д. Л. Щеголев, М. М. Петрова, 2019

Получено: 24.09.2019 г.



УДК 534.6

А. И. АНТОНОВ, д-р техн. наук, зав. кафедрой архитектуры и строительства зданий; **В. И. ЛЕДЕНЕВ**, д-р техн. наук, проф. кафедры городского строительства и автомобильных дорог; **И. В. МАТВЕЕВА**, канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог; **Н. П. МЕРКУШЕВА**, аспирант кафедры городского строительства и автомобильных дорог

ЦИФРОВИЗАЦИЯ АКУСТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ

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: шум, проектирование шумозащиты, компьютерное обеспечение расчетов шума, акустическое благоустройство зданий.

Акустические расчеты являются основной составляющей в процессе проектирования средств шумозащиты в зданиях. Так как выбор наиболее эффективного способа снижения шума основывается на сравнении различных вариантов шумозащиты, при выборе и разработке средств снижения шума приходится производить многократные расчеты энергетических характеристик шумового режима в помещениях. Для ускорения процессов проектирования шумозащиты необходимо программное обеспечение акустических расчетов. Приводится опыт разработки такого обеспечения, имеющийся в Тамбовском государственном техническом университете (ТГТУ). Рассмотрены основные принципы, положенные в основу методов расчета энергетических характеристик шума и даны сведения о реализующих их компьютерных программах.

Развитие цифровых технологий в строительстве, в том числе и при проектировании строительных объектов, во многом связано с наличием математических моделей, описывающих процессы, протекающие на этих объектах, и их компьютерным обеспечением [1]. Это в большой мере относится и к автоматизированному проектированию зданий.

В настоящее время на стадии технологического проектирования при разработке объемно-планировочных и конструктивных решений, проектировании инженерных систем и решении других задач на проектируемом объекте используются компьютерные технологии. Их основы были заложены в 80-х годах XX столетия при разработке систем автоматизированного проектирования объектов строительства (САПР). Существующие в то время единообразие и унификация проектных организаций в пределах страны, несмотря на ограниченные возможности вычислительной техники того периода, позволили организовать и широко внедрить в практику элементы САПР. В крупных САПР разделы проектов, связанные с оценкой шумовых полей помещений и с разработкой мероприятий по защите от шума, встраивались в общую систему проектирования объектов и использовались как на начальных этапах разработки проектов, так и на завершающих стадиях проектирования для разработки мер по защите от шума.

В последние десятилетия в большинстве регионов страны произошло разделение крупных проектных организаций. Их раздробленность, неритмичная нагрузка, широкий разброс видов проектируемых объектов не способствовали дальнейшей разработке и широкому внедрению крупных интегрированных САПР. По

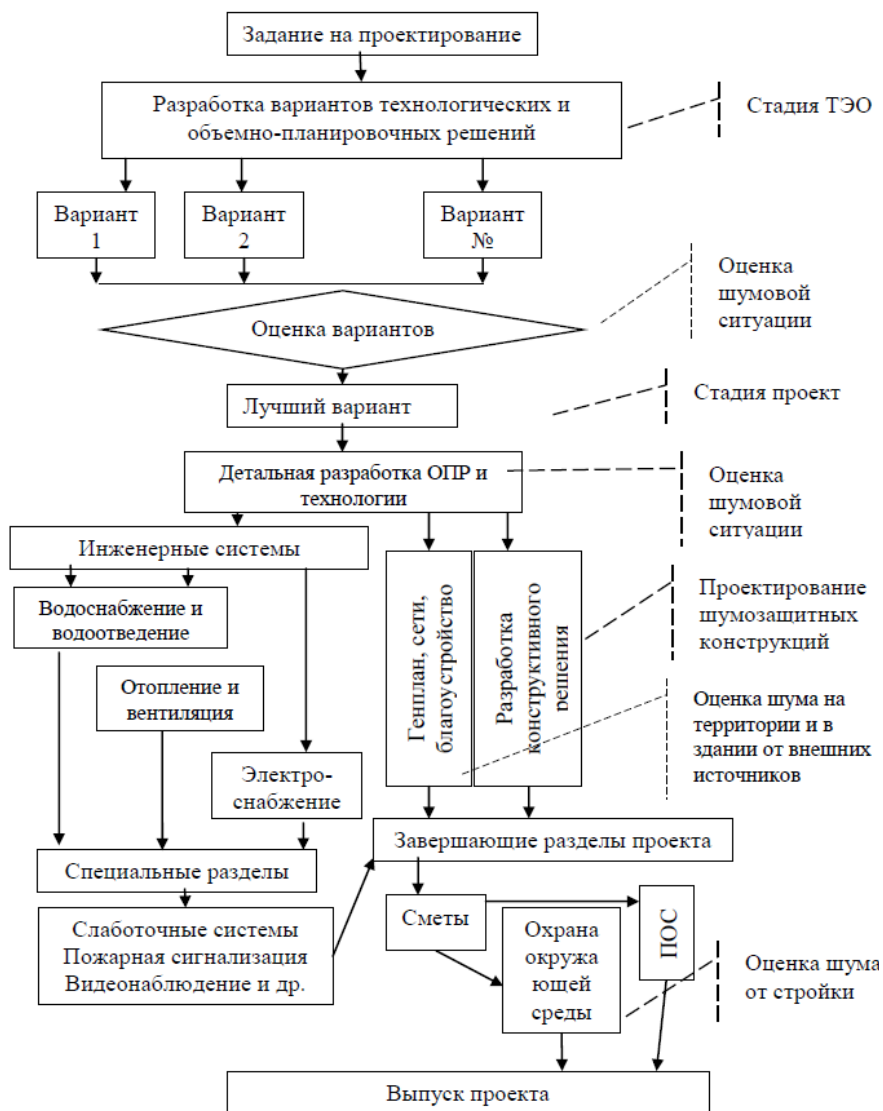


этим причинам в настоящее время большинство проектных организаций используют так называемые «легкие» САПР, которые представляют электронные чертежные системы или локальные САПР для проектирования отдельных элементов объектов, например, для проектирования водопровода и канализации, фундаментов и т. п. Одной из таких локальных систем может быть и система по оценке шумовой ситуации и автоматизированному проектированию мер снижения шума в гражданских и промышленных зданиях. Разработка ее должна базироваться на общих принципах автоматизированного проектирования.

Традиционной технологией проектирования являлось использование *последовательного принципа проектирования*, когда большинство проектных процессов осуществляется последовательно после завершения работ на предыдущем этапе. Недостатки такого принципа проектирования очевидны. С развитием компьютерных технологий в проектировании и особенно для сложных объектов более эффективны *параллельные технологии*, когда осуществляется одновременная разработка различных разделов проекта. За счет компьютерных технологий и параллельного проектирования сокращаются сроки проектирования, уменьшается количество ошибок, снижаются негативные последствия, возникающие из-за несогласованности требований к объекту проектирования различными проектными группами. Параллельное проектирование особенно эффективно для крупных объектов и комплексов. Однако ее внедрение требует структурной перестройки проектной организации, изменение вида и качества программных средств, новой системы управления процессом проектирования.

В большинстве средних по размерам проектных организациях в настоящее время используются промежуточные технологии проектирования, когда на ранних стадиях осуществляется последовательное проектирование и затем производится параллельная разработка разделов проекта, при которой к проектированию одновременно подключаются специалисты по разработке разных разделов проекта, в том числе и по акустическому благоустройству. Оценка необходимости разработки средств шумозащиты в системах автоматизированного проектирования должна выполняться на ранних стадиях проектирования. На последующих стадиях выполнения технического проекта и разработки рабочих чертежей производится конкретный выбор средств снижения шума и разработка их конструктивных решений (см. рисунок).

На начальном этапе проектирования, когда разрабатываются технологические решения, выбор технологических схем должен учитывать необходимость защиты от шума и быть направленным на применение малозумных технологий и оборудования. Далее на основе согласованных технологических решений разрабатываются варианты объемно-планировочного и конструктивного решений здания и затем выбирается окончательное проектное решение, в наибольшей степени отвечающее системе оценочных критериев. Одним из таких критериев выбора является уровень затрат на обеспечение необходимых параметров шумовой среды.



Акустические расчеты в системе автоматизированного проектирования зданий

Для промышленных зданий этот показатель зависит от большого количества факторов: плотности расстановки шумного оборудования, количества работающих и положения рабочих мест по отношению к источникам шума, возможных уровней звукового давления и т. д. По этой причине из-за сложности оценки затраты по снижению шума в качестве оценочного критерия ранее практически не рассматривались. Для его использования необходимо иметь на ранних стадиях проектирования укрупненные показатели затрат на снижение шума. Их определение возможно на основе сравнения разрабатываемого проектного решения с проектом-прототипом, имеющим схожие технологические и планировочные параметры. В качестве экономической оценки также может быть использована система усредненных значений затрат в зависимости от степени шумленности рабоче-



го пространства помещений. В этом случае может быть применен метод расчета шума, позволяющий производить оценку шумового режима при минимальном количестве исходной информации. При расчетах могут использоваться характерные для данной технологии шумовые характеристики оборудования и усредненные акустические характеристики помещений.

Проектирование шумозащиты на этапе детальной разработки проекта должно выполняться на основе решений, принятых на начальном этапе.

Процесс выбора окончательного варианта шумоглушения имеет циклический, итерационный характер. При этом могут варьироваться площадь и вид материала звукопоглощающей конструкции, рассматриваться варианты совместного размещения экранирующих конструкций и звукопоглощающих облицовок, а также другие комбинации мер борьбы с шумом. В том случае, если определяются несколько равных по акустической эффективности вариантов, необходимо производить выбор наиболее экономичного из них. Он может определяться либо по критерию минимума приведенных затрат, либо по максимуму эффекта, получаемому от мероприятий по снижению шума.

Эффективный анализ вариантов возможен лишь при проведении точных акустических расчетов, позволяющих предвидеть величину снижения шума за счет проектируемых строительно-акустических мер. Для этого необходимо иметь метод оценки энергетических параметров шума, отвечающий требованиям системы автоматизированного проектирования. Создание такого метода возможно при наличии объективной математической модели формирования шумовых полей помещений и эффективных алгоритмов ее реализации, позволяющих производить многовариантные расчеты и выполнять количественную и качественную оценку получаемых результатов [2].

Ниже приведятся сведения о таких расчетных моделях и реализующих их компьютерных программах.

При оценке шумового режима должны производиться расчеты прямой и отраженной звуковой энергии.

Источники шума и особенно в производственных помещениях имеют сложные геометрические формы и сложный характер излучения звуковой энергии с поверхностей, а также обладают рядом других особенностей, которые необходимо учитывать при расчетах излучаемой ими звуковой энергии. В настоящее время нами разработаны методы расчета уровней прямого звука, излучаемого точечными, линейными и плоскими источниками. Для их реализации разработана компьютерная программа, использующаяся при исследованиях распространения шума в городской застройке и в промышленных зданиях [3]. В производственных зданиях источниками шума могут быть различные кожухи, установленные на технологическое оборудование. Предложен метод расчета прямого звука, излучаемого кожухом как вторичным источником шума [4] и разработана компьютерная программа для его реализации [5]. При расчете прямого звука, излучаемого крупногабаритным оборудованием, метод позволяет учесть сложную форму этого оборудования [6].

Более сложно производится расчет отраженного шума. Распределение отраженной энергии зависит от многих факторов и, в частности, от формы помещений и характера отражений звука от ограждений [7].

В соразмерных помещениях, как правило, образуются диффузные отраженные поля, расчет звуковой энергии которых не представляет трудностей. В несооразмерных длинных и плоских помещениях распределение отраженной энергии имеет более сложный характер, который зависит от формы помещения и вида от-



ражения звука от ограждений. При диффузном отражении звука от ограждений отраженные поля в несоразмерных помещениях имеют квазидиффузный характер [8]. В этом случае для расчета шума предложена статистическая энергетическая модель распределения отраженной звуковой энергии. Для ее реализации нами разработаны аналитические и численные методы расчета [2]. Аналитические методы используются при расчетах в помещениях прямоугольной формы, а численный метод применяется для расчетов в помещениях любой, в том числе и сложной формы.

В результате выполненных нами экспериментальных исследований установлено, что реальное отражение звука от ограждений имеет зеркально-диффузный характер [9]. При этом в помещении образуется отраженное звуковое поле, включающее в себя зеркальную и рассеянную составляющие. Их формирование и распространение существенно различаются между собой. По этой причине предложена комбинированная расчетная модель звуковых полей в помещениях, позволяющая производить расчеты шума в помещениях при зеркально-диффузном отражении звука [10]. Расчет прямого звука и зеркальной составляющей отраженной звуковой энергии в комбинированной модели производится методом прослеживания лучей (*ray tracing*), а диффузно рассеянной составляющей отраженной звуковой энергии – численным методом, дающим возможность учитывать сложную форму помещения, коэффициенты звукопоглощения каждой конкретной поверхности ограждений, наличие в помещениях крупногабаритного, излучающего шум оборудования [11].

Для реализации комбинированной расчетной модели разработана компьютерная программа, позволяющая производить оценку прямого и отраженного звука при размещении в помещениях крупногабаритного оборудования [12]. Ранее подобная программа была разработана для реализации расчетной модели распространения шума в производственных помещениях с равномерно распределенным в них технологическим оборудованием и с другими рассеивающими звук предметами [13, 14].

В наиболее общем виде распространение звуковой энергии внутри здания следует рассматривать как в едином пространстве системы акустически связанных воздушных объемов. С этих позиций в настоящее время нами разработаны методы расчета шума в системах акустически связанных помещений гражданских и промышленных зданий различного функционального и технологического назначения. Для реализации этих методов разработаны соответствующие программы [15, 16, 17, 18].

В производственных зданиях большое значение имеет оценка шумового режима рабочих мест при непостоянном во времени шумовом воздействии на человека. Для оценки энергетических характеристик этого шума нами предложены расчетные методы, учитывающие форму, размеры и акустические характеристики помещения [19, 20] и разработаны соответствующие программы для их реализации [21, 22].

Таким образом, в настоящее время нами разработаны и внедрены в практику научных исследований и проектирования шумозащиты в зданиях компьютерные программы, позволяющие всесторонне исследовать процессы формирования и распространения звуковой энергии в замкнутых воздушных объемах. Программы объединены в единый программный комплекс [23]. При разработке комплекса использован блочный принцип, позволяющий обеспечивать решение большой группы задач, объединяя для этого в каждом случае необходимый набор компьютерных программ. Предложенный комплекс программ будет способствовать раз-



витию цифровых технологий в области проектирования зданий, в частности при разработке разделов, связанных с обеспечением требуемых санитарно-гигиенических и экологических условий на проектируемых объектах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Травуш, В. И. Цифровые технологии в строительстве: декларация и реальность. Часть 1. Введение. Математическое и компьютерное моделирование состояния строительных объектов / В. И. Травуш, А. М. Белостоцкий, П. А. Акимов. – Текст : непосредственный // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы 5-й Международной практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ. – Тамбов, 2018. – С. 25–28.
2. Антонов, А. И. Математическое моделирование процессов распространения звуковой энергии в зданиях / А. И. Антонов. – Текст : непосредственный // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 3 (53). – С. 17–23.
3. Расчет шума на городской территории от точечных, линейных и плоских источников звука / А. И. Антонов, И. Л. Шубин. – Текст : непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS №2016617799, опубли. 14.07.2016.
4. Расчет шума при проектировании звукоизолирующих кожухов технологического оборудования / А. И. Антонов, В. И. Леденев, Е. О. Соломатин, И. Л. Шубин. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2015. – № 6. – С. 39–41.
5. Расчет прямого звука от звукоизолирующего кожуха в форме прямоугольного параллелепипеда / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев. – Текст : непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS № 2015661739, опубли. 6.11.2015.
6. Calculation of noise emitted by technology equipment soundproofing compartment / I. Tsukernikov, A. Antonov, V. Ledenev, I. Shubin, T. Nevenchannaya. – Текст : непосредственный // In proceeding of the 22th International Congress on Acoustics. – Buenos Aires, Argentina, 2016. – Paper ICA 2016-604.
7. 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. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2015. – №3(35). – С. 89–96.
8. Леденев, В. И. Статистические энергетические методы расчета шумовых полей при проектировании производственных зданий / В. И. Леденев; Министерство образования Российской Федерации, Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2000. – 156 с. – ISBN 5-8265-0145-6. – Текст : непосредственный.
9. Влияние характера отражения звука от ограждений на выбор метода расчета воздушного шума в гражданских и промышленных зданиях. – Текст : непосредственный / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, О. О. Федорова // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – № 2(42). – С. 16–23.
10. Giasov, B. I. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound / B. I. Giasov, V. I. Ledenyov, I. V. Matveeva. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2018. – № 1 (77). – С. 13–22.
11. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection / I. Tsukernikov, A. Antonov, V. Ledenev, I. Shubin, T. Nevenchannaya. – Текст : непосредственный // Procedia Engineering. – № 176. – 2017. – P. 218–225.
12. Расчет шумового поля в производственных помещениях энергетических объектов с крупногабаритным оборудованием / А. И. Антонов, Е. О. Соломатин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS №2012613166, опубли. 03.04.2012.
13. Леденев, В. И. Расчет энергетических параметров шумовых полей в производственных помещениях сложной формы с технологическим оборудованием / В. И. Леденев,



А. М. Макаров. – Текст : непосредственный // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 2. – С. 94–101.

14. Расчет шумового поля в производственных помещениях с технологическим оборудованием комбинированным геометрическим-статистическим методом / А. М. Макаров, А. И. Антонов. – Текст : непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS №2008610131, опублик. 09.01.2008.

15. Расчет звукового поля в системе соразмерных акустически связанных помещений / И. Л. Шубин, А. И. Антонов, О. А. Жоголева. – Текст : непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS № 2014661638, опублик. 10.11.2014.

16. Расчет эффективности звукоизолирующих конструкций в систему акустически связанных помещений / В. И. Леденев, О. А. Жоголева, А. И. Антонов. – Текст : непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS № 2014661639, опублик. 10.11.2014.

17. Расчет трехмерных шумовых полей в помещениях с акустическими экранами и перегородками неполной высоты / В. И. Леденев, О. А. Жоголева, А. И. Антонов. – Текст : непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS № 2016617798, опублик. 14.07.2016.

18. Расчет шумового поля в помещениях сложной формы с учетом их акустической связи с соразмерными помещениями / В. И. Леденев, О. А. Жоголева, А. И. Антонов. – Текст : непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS № 2016617797, опублик. 14.07.2016.

19. Антонов, А. И. Метод оценки шумовых полей помещений при проектировании шумозащиты в гражданских зданиях с непостоянными во времени источниками шума / А. И. Антонов, А. В. Бацунова, С. И. Крышов. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2012. – № 6. – С. 58–59.

20. Антонов, А. И. Расчет нестационарных звуковых полей при зеркально-диффузной модели отражения звука от ограждений / А. И. Антонов, А. В. Бацунова, И. Л. Шубин. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 6(53). – С. 71–77.

21. Антонов, А. И. Расчет нестационарных шумовых полей в помещениях сложных геометрических форм / А. И. Антонов, А. В. Бацунова, В. И. Леденев. – Текст : непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS № 2015661741, опублик. 06.11.2015.

22. Антонов, А. И. Расчет нестационарных шумовых полей источников шума периодического действия в прямоугольных помещениях / А. И. Антонов, А. В. Бацунова, И. Л. Шубин. – Текст : непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS № 2015661740, опублик. 06.11.2015.

23. Комплексная программа по расчету звуковых полей в помещениях и проектированию средств защиты от шума / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, Т. С. Яровая, И. В. Матвеева. – Текст : непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RUS № 2019611868, опублик. 05.02.2019.

ANTONOV Aleksandr Ivanovich, doctor of technical sciences, holder of the chair of architecture and building construction; LEDENYOV Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of urban development and roads; MATVEEVA Irina Vladimirovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of urban development and roads; MERKUSHEVA Natalya Pavlovna, postgraduate student of the chair of urban development and roads

DIGITALIZATION OF ACOUSTIC CALCULATIONS DURING AUTOMATED DESIGN OF BUILDINGS



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: noise, noise protection design, computer software for noise calculations, acoustic improvement of buildings.

Acoustic calculations are the main component in the design process of noise insulation in buildings. Since the choice of the most effective way to reduce noise is based on a comparison of different options for noise protection, when choosing and developing noise reduction tools, it is necessary to make multiple calculations of energy characteristics of noise conditions in rooms. To speed up the design of noise insulation, acoustic calculation software is required. The article presents the experience of developing such software available at the Tambov State Technical University (TSTU). The basic principles underlying the methods for calculating the energy characteristics of noise are considered, and information is given on the computer software that implement them.

REFERENCES

1. Travush V. I., Belostotsky A. M., Akimov P. A. Tsifrovyye tekhnologii v stroitelstve: deklaratsiya i realnost. Chast 1. Vvedenie. Matematicheskoe i kompyuternoe modelirovaniye sostoyaniya stroitelnykh obektov [Digital technologies in construction: declaration and reality. Part 1. Introduction. Mathematical and computer modeling of the state of construction objects]. Ustoychivoye razvitiye regiona: arkhitektura, stroitelstvo, transport. Materialy 5-y Mezhdunarodnoy prakticheskoy konferentsii Instituta arkhitektury, stroitelstva i transporta TGTU [Sustainable development of the region: architecture, construction, transport. Materials of the 5th International Practical Conference of the Institute of Architecture, Construction and Transport of TSTU]. Tambov, 2018. P. 25–28.
2. Antonov A. I. Matematicheskoe modelirovaniye protsessov rasprostraneniya zvukovoy energii v zdaniyakh [Mathematical modeling of sound energy propagation in buildings]. Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University]. 2014, № 3(53). P. 17–23.
3. Antonov A. I., Shubin I. L. Raschyot shuma na gorodskoy territorii ot tochechnykh, liniynykh i ploskikh istochnikov zvuka [Calculation of noise in the urban area from point, linear and flat sound sources]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RUS №2016617799, opubl. 14.07.2016.
4. Antonov A. I., Ledenyov V. I., Solomatin E. O., Shubin I. L. Raschyot shuma pri proyektirovaniy zvukoizoliruyushchikh kozhukhov tekhnologicheskogo oborudovaniya [Calculation of noise during the design of soundproof covers of technological equipment]. Stroitelnye materialy [Construction Materials]. 2015. № 6. P. 39–41.
5. Antonov A. I., Zhogoleva O. A., Ledenev V. I. Raschyot pryamogo zvuka ot zvukoizoliruyushchego kozhukha v forme pryamougolnogo paralelepiped [Calculation of direct sound from a soundproof casing in the form of a rectangular parallelepiped]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RUS № 2015661739, opubl. 6.11.2015.
6. Calculation of noise emitted by technology equipment soundproofing compartment / I. Tsukernikov, A. Antonov, V. Ledenev, I. Shubin, T. Nevenchannaya // In proceeding of the 22th International Congress on Acoustics. – Buenos Aires, Argentina, 2016. – Paper ICA 2016-604.
7. Antonov A. I., Batsunova A. V., Shubin I. L. Usloviya, opredelyayushchie protsessy formirovaniya shumovogo rezhima v zamknutykh obyomakh, i ikh uchyot pri otsenke raspredeleniya zvukovoy energii v pomescheniyakh [The conditions of defining processes of formation of the noise mode in confined spaces, and their consideration in assessing sound energy distribution in rooms]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2015. №3(35). P. 89–96.
8. Ledenyov V. I. Statisticheskie energeticheskie metody raschyota shumovykh poley pri



proektirovaniy proizvodstvennykh zdaniy [Statistical energy methods for calculating noise fields in the design of industrial buildings]. Ministerstvo obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii, Tambov. gos. tekhn. un-t Tambov. Izd-vo TGTU, 2000, 156 p.

9. 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 [The influence of the nature of the reflection of sound from fences on the choice of method for calculating airborne noise in civil and industrial buildings]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2017. № 2(42). P. 16–23.

10. Giyasov B. I., Ledenyov V. I., Matveeva I. V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal [Magazine of Civil Engineering]. 2018. № 1 (77). P. 13–22.

11. Tsukernikov I., Antonov A., Ledenyov V., Shubin I., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection. Procedia Engineering. № 176. 2017. P. 218–225.

12. Antonov A. I., Solomatin E. O. Raschyot shumovogo polya v proizvodstvennykh pomescheniyakh energeticheskikh obektov s krupnogabaritnym oborudovaniem [Calculation of the noise field in the production facilities of energy facilities with large equipment]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RUS № 2012613166, opubl. 03.04.2012.

13. Ledenyov V. I., Makarov A. M. Raschyot energeticheskikh parametrov shumovykh poloy v proizvodstvennykh pomescheniyakh slozhnoy formy s tekhnologicheskim oborudovaniem [Calculation of energy parameters of noise fields in industrial premises of complex shape with technological equipment]. Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture]. 2008. № 2. P. 94–101.

14. Makarov A. M., Antonov A. I. Raschyot shumovogo polya v proizvodstvennykh pomescheniyakh s tekhnologicheskim oborudovaniem kombinirovannym geometricheskim-statisticheskim metodom [Calculation of the noise field in industrial premises with technological equipment using the combined geometric-statistical method]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RUS № 2008610131, opubl. 09.01.2008.

15. Shubin I. L., Antonov A. I., Zhogoleva O. A. Raschyot zvukovogo polya v sisteme sorazmernykh akusticheskikh svyazannykh pomescheniy [Calculation of the sound field in a system of commensurate acoustically connected rooms]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RUS № 2014661638, opubl. 10.11.2014.

16. Ledenyov V. I., Zhogoleva O. A., Antonov A. I. Raschyot effektivnosti zvukoizoliruyushchikh konstruktсий v sistemu akusticheskikh svyazannykh pomescheniy [Calculation of the effectiveness of soundproof structures in a system of acoustically connected rooms]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RUS № 2014661639, opubl. 10.11.2014.

17. Ledenyov V. I., Zhogoleva O. A., Antonov A. I. Raschyot tryokhmernykh shumovykh poloy v pomescheniyakh s akusticheskimi ekranami i peregorodkami nepolnoy vysoty [Calculation of three-dimensional noise fields in rooms with acoustic screens and partitions of incomplete height]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RUS № 2016617798, opubl. 14.07.2016.

18. Ledenyov V. I., Zhogoleva O. A., Antonov A. I. Raschyot shumovogo polya v pomescheniyakh slozhnoy formy s uchyotom ikh akusticheskoy svyazi s sorazmernymi pomescheniyami [Calculation of the noise field in rooms of complex shape, taking into account their acoustic connection with proportional rooms]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RUS № 2016617797, opubl. 14.07.2016.

19. Antonov A. I., Batsunova A. V., Kryshov S. I. Metod otsenki shumovykh poloy pomescheniy pri proektirovaniy shumozaschity v grazhdanskikh zdaniyakh s nepostoyannymi vo vremeni istochnikami shuma [A method for assessing the noise fields of premises when designing noise insulation in civil buildings with noise sources that are not constant in time]. Zhilishchnoye stroitel'stvo [Housing construction]. 2012. № 6. P. 58–59.



20. Antonov A. I., Batsunova A. V., Shubin I. L. Raschyot nestatsionarnykh zvukovykh poley pri zerkalno-diffuznoy modeli otrazheniya zvuka ot ograzhdeniy [Calculation of unsteady sound fields in a mirror-diffuse model of sound reflection from fences]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. 2015. № 6(53). P. 71–77.

21. Antonov A. I., Batsunova A. V., Ledenyov V. I. Raschyot nestatsionarnykh shumovykh poley v pomescheniyakh slozhnykh geometricheskikh form [Calculation of unsteady noise fields in rooms of complex geometric shapes]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RUS № 2015661741, opubl. 06.11.2015.

22. Antonov A. I., Batsunova A. V., Shubin I. L. Raschyot nestatsionarnykh shumovykh poley istochnikov shuma periodicheskogo deystviya v pryamougolnykh pomescheniyakh [Calculation of unsteady noise fields of periodic noise sources in rectangular rooms]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RUS № 2015661740, opubl. 06.11.2015.

23. Antonov A. I., Zhogoleva O. A., Ledenyov V. I., Yarovaya T. S., Matveyeva I. V. Kompleksnaya programma po raschyotu zvukovykh poley v pomescheniyakh i proektirovaniyu sredstv zaschity ot shuma [A comprehensive program for calculating sound fields in rooms and designing noise protection equipment]. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM RUS № 2019611868, opubl. 05.02.2019.

© А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, Н. П. Меркушева, 2019

Получено: 24.09.2019 г.

УДК 699.844

С. А. ПАУЗИН, канд. техн. наук, доц. кафедры архитектуры¹, ст. науч. сотр.²

УЧЕТ АНИЗОТРОПИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ВНУТРЕННИХ ОГРАЖДЕНИЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57;
эл. почта: k-archi@yandex.ru

²ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»
Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21. Тел.: (495) 482-40-76

Ключевые слова: анизотропия, ортотропная ограждающая конструкция, звукоизоляция, уникальные здания, высотные здания.

Показано, что при расчетах звукоизоляции ограждений необходимо учитывать их анизотропию. Также приведены результаты экспериментальных исследований звукоизоляции многослойных ограждений с ортотропными слоями. Сделан вывод, что использование таких конструкций в качестве ограждающих элементов для защиты от шума имеет преимущество по сравнению с традиционными.

Строительство высотных зданий в настоящее время является тенденцией развития крупных городов нашей страны. Они предназначены в качестве жилых или общественных зданий самого различного назначения. Соблюдение технических требований при их проектировании обуславливают применение каркасной конструктивной системы с основными несущими элементами из железобетона или стали и по возможности самыми легкими ограждающими конструкциями. Целью



применения таких конструктивных решений является облегчение общей массы здания.

В многофункциональных высотных зданиях перегородки часто отделяют помещения различного назначения с отличающимися шумовыми режимами, что предполагает высокие звукоизолирующие характеристики внутренних ограждений. К наружным ограждениям требования по защите от шума также высокие, так как высотные здания являются яркими акцентами городской застройки, и их располагают на пересечении крупных транспортных магистралей.

Грамотное проектирование зданий и сооружений любого назначения подразумевает обязательный учет всех этапов жизненного цикла объекта недвижимости с момента возникновения замысла до прекращения физического существования. Для заказчика важными являются этапы возведения и эксплуатации, потому что на их долю приходится основная часть вкладываемых финансовых ресурсов, следовательно, важно, как можно более полно использовать все резервы в свойствах ограждения (прочностные, теплофизические и звукоизоляционные).

Акустические свойства ограждений из мелкогазонаполненных элементов изучаются на протяжении долгого времени, накоплен опыт расчетов в соответствии с различными теоретическими представлениями, а также обширная база результатов экспериментов.

Каменная кладка представляет собой массив, состоящий из камней (кирпичей), уложенных на строительный раствор, что позволяет говорить об анизотропии ее свойств. В связи с этим встает вопрос о возможности и необходимости проведения расчетов звукоизоляции с учетом этого.

Существующие методы расчета индекса изоляции и построения частотной характеристики [1, 2] не учитывают анизотропию свойств ограждения, предполагая каждую конструкцию изотропной, а ее свойства равномерно распределенными. При прочностных расчетах анизотропия свойств конструкций из мелкогазонаполненных элементов не учитывается [3]. На основе анализа научных исследований по изучению свойств каменной кладки можно сделать вывод, что ортотропию свойств кладки следует учитывать, если модуль упругости раствора меньше модуля упругости кирпича в ~ 5 раз или модуль упругости раствора превышает модуль упругости кирпича более чем в 7 раз (в этих случаях отличие модулей упругости в разных направлениях составляет более 10 %) [4].

Возникает вопрос о необходимости и целесообразности учета анизотропии при расчетах звукоизоляции, поскольку разработка точных методов, во-первых, представляет известную математическую проблему, а, во-вторых, при выводе точных формул их крайне сложно перевести в достаточно удобный инженерный метод.

Из современных теорий расчета звукоизоляции однослойных ограждений наиболее точной, учитывающей все ныне известные явления при прохождении звука через преграду, является теория самосогласования волновых полей, разработанная профессором М. С. Седовым [5]. Применение данной теории к ортотропным ограждениям показано в [6–8], что позволяет использовать ее расчетные положения при построении частотной характеристики звукоизоляции ограждения из мелкогазонаполненных элементов.

Приведем расчеты звукоизоляции модельного ортотропного ограждения с характеристиками $D_1 = 1\,000 \text{ Па}\cdot\text{м}^3$, $D_2 = 750 \text{ Па}\cdot\text{м}^3$, $D_3 = 800 \text{ Па}\cdot\text{м}^3$ (ортотропное ограждение № 1) по зависимостям, приведенным в [6], также для сравнения покажем частотные характеристики изотропного ограждения ($D = 1\,000 \text{ Па}\cdot\text{м}^3$) и пластины с параметрами $D_1 = 1\,000 \text{ Па}\cdot\text{м}^3$, $D_2 = 250 \text{ Па}\cdot\text{м}^3$, $D_3 = 500 \text{ Па}\cdot\text{м}^3$ (орто-

тропное ограждение № 2). Дополнительно покажем границы точности измерения звукоизоляции в лабораторных условиях.

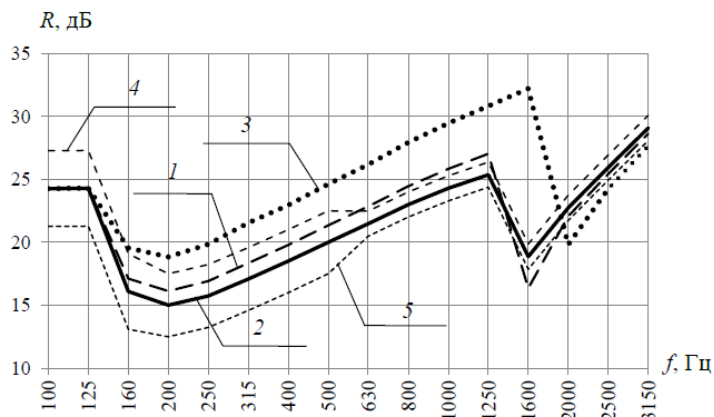


Рис. 1. Частотные характеристики звукоизоляции ограждений: 1 – изотропное ограждение; 2 – ортотропное ограждение № 1; 3 – ортотропное ограждение № 2; 4 – верхняя граница точности измерений; 5 – нижняя граница точности измерений

Анализируя представленные графики, можно сделать вывод, что при малых степенях анизотропии ($D_1 < 2D_2$) [7] рассчитанная звукоизоляция ортотропного элемента отличается от изотропного не более чем на точность измерений во всех частотных диапазонах. Следовательно, при проектировании можно использовать традиционные способы из [2]. Если же ограждение обладает более выраженной степенью анизотропии, то нормативные способы дают значительную погрешность, и необходимо использовать точные методы.

Возможным способом увеличения шумозащиты во внутренних помещениях может служить использование облегченных конструкций перегородок, содержащих в составе ортотропные слои, а именно стальной профилированный лист. Такие ограждения обладают значительно меньшей, по сравнению с традиционными конструкциями, массой. Например, конструкция, состоящая из каркаса (ортотропного слоя) из профилированного стального листа Н75-0,7, двойных облицовок из гипсоволокнистых листов (ГВЛ) по 12,5 мм и заполнением пустот минеральной ватой имеет поверхностную массу около 70 кг/м².

Звукоизоляция облегченных перегородок с ортотропным слоем была исследована в лаборатории акустики ННГАСУ в соответствии с ГОСТ 27296-2012 [9]. Результаты измерений представлены на рис. 2.

Рассматривая приведенные частотные характеристики звукоизоляции можно отметить, что намного более тяжелая конструкция (кирпичная стена 250 мм, масса около 450 кг/м²) не обладает значительными преимуществами по звукоизоляции перед рекомендованным конструктивным решением перегородки с ортотропным слоем, а перегородка аналогичной толщины (120 мм кирпичной кладки, масса около 220 кг/м²) уступает ей практически во всем диапазоне частот.

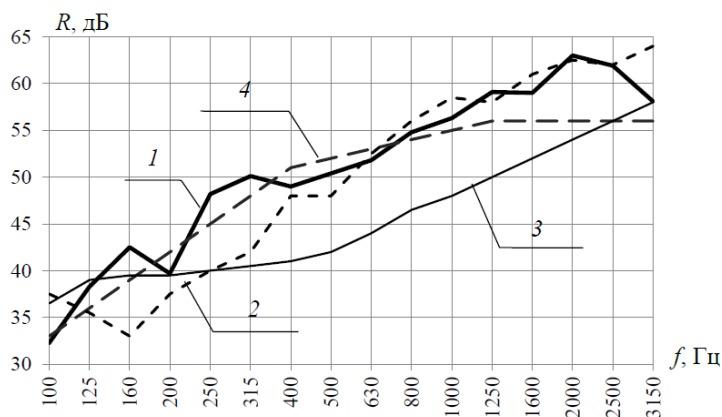


Рис. 2. Частотные характеристики звукоизоляции ограждений: 1 – запроектированная каркасно-обшивная перегородка; 2 – перегородка из силикатного кирпича толщиной 250 мм; 3 – перегородка из силикатного кирпича толщиной 120 мм; 4 – нормативный спектр по СП 51.13330

Индекс изоляции воздушного шума ортотропной конструкции по результатам лабораторных измерений составил 55 дБ, что дает возможность широкого ее применения при возведении зданий различного назначения.

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, тема 7.6.15, 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. СП 51.13330.2012 Защита от шума : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 28 декабря 2010 г. № 825 : дата введения 2011-05-20 : актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. – Москва, 2010. – Текст: непосредственный.
2. СП 275.1325800.2016 Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 950/пр : дата введения 2017-06-17. – Москва, 2017. – Текст: непосредственный.
3. СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 29 декабря 2011 г. № 635/5 : дата введения 2013-01-01 : актуализированная редакция СНиП II-22-81*. – Москва, 2018. – Текст: непосредственный.
4. Кашеварова, Г. Г. Натурные и численные эксперименты, направленные на построение зависимости напряжения от деформации кирпичной кладки / Г. Г. Кашеварова, М. Л. Иванов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный вестник. – Ижевск, 2012. – № 8. – С. 10-15.



5. Седов, М. С. Звукоизоляция / М. С. Седов. – Текст : непосредственный // Техническая акустика транспортных машин : справочник / под ред. Н. И. Иванова. – Санкт-петербург, 1992. – Гл. 4. – С. 68–105.

6. Бобылев, В. Н. Изоляция шума ортотропными конструкциями зданий : монография / В. Н. Бобылев, С. А. Паузин, В. А. Тишков ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. – 90 с. – Текст : непосредственный.

7. Паузин, С. А. Влияние степени анизотропии на звукоизоляцию ограждения / С. А. Паузин, А. А. Суханов. – Текст : непосредственный // Сборник докладов VI Всероссийского фестиваля науки. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. – С. 267–269.

8. Паузин, С. А. Особенности прохождения звука через ортотропную пластину в области полных пространственных резонансов / С. А. Паузин. – Текст : непосредственный // Сборник трудов аспирантов и магистрантов. Архитектура. Геоэкология. Экономика / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2002. – С. 32–35.

9. ГОСТ 27296-2012 Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 2164-ст : дата введения 2014-01-01 : взамен ГОСТ 27296-87 и ГОСТ 24210-80. – Москва, 2014. – Текст : непосредственный.

PAUZIN Sergey Aleksandrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of architecture¹, senior researcher²

TAKING INTO ACCOUNT ANISOTROPY WHILE DESIGNING SOUND INSULATION OF INTERNAL ENCLOSURES OF HIGH-RISE BUILDINGS

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: k-arhi@yandex.ru

²Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

21, Lokomotivny proezd, Moscow, 127238, Russia. Tel.: +7 (495) 482-40-76

Key words: anisotropy, orthotropic enclosing structure, sound insulation, unique buildings, high-rise buildings.

The article states that it is necessary to take into account enclosures' anisotropy when calculating their sound insulation. The results of pilot studies in sound insulation of multilayered enclosures with orthotropic layers are presented. A conclusion is made about advantages of using such structures as enclosing elements in terms of noise protection as compared with traditional ones.

REFERENCES

1. SP 51.13330.2012 Zashchita ot shuma [Sound protection]: svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhdyon i vvedyon v deystvie Prikazom Ministerstva regionalnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii ot 28 dekabrya 2010 g. № 825 : data vvedeniya 2011-05-20 : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-03-2003. Moscow, 2010.

2. SP 275.1325800.2016 Konstruktsii ograzhdayushchie zhilykh i obshchestvennykh zdaniy. Pravila proektirovaniya zvukoizolyatsii [Enclosing structures of residential and public buildings. Rules of sound insulation design]: svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhdyon i vvedyon v deystvie Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy



Federatsii ot 16 dekabrya 2016 g. № 950/pr : data vvedeniya 2017-06-17. Moscow, 2017.

3. SP 15.13330.2012 Kamennye i armokamennye konstruksiyi [Masonry and reinforced masonry structures]: svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhdyon i vvedyon v deystvie Prikazom Ministerstva regionalnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii ot 29 dekabrya 2011 g. № 635/5 : data vvedeniya 2013-01-01 : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-22-81*. Moscow, 2018.

4. Kashevarova G. G., Ivanov M. L. Naturnye i chislennyye eksperimenty, napravlennoye na postroyeniye zavisimosti napryazheniya ot deformatsii kirpichnoy kladki [Natural and numerical experiments aimed at establishing dependence of stress on brickwork deformation] // Privolzhskiy nauchnyy vestnik [Privolzhsky Scientific Bulletin]. Izhevsk, 2012, № 8, P. 10–15.

5. Sedov M. S. Zvukoizolyatsiya [Sound insulation]. Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin [Noise and vibration control in vehicles] : spravochnik / pod red. N. I. Ivanova. Saint-Petersburg, 1992. Ch. 4. P. 68–105.

6. Boblyov V. N., Pauzin S. A., Tishkov V. A. Izolyatsiya shuma ortotropnymi konstruksiyami zdaniy [Noise insulation by orthotropic enclosures of buildings]: monografiya. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2016, 90 p.

7. Pauzin S. A., Sukhanov A. A. Vliyaniye stepeni anizotropii na zvukoizolyatsiyu ograzhdeniya [Impact of the degree of anisotropy on the sound insulation of the enclosure] // Sbornik dokladov VI Vserossiyskogo festivalya nauki [Proceedings of the VI All-Russian festival of science]. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2016. P. 267–269.

8. Pauzin S. A. Osobennosti prokhozheniya zvuka cherez ortotropnuyu plastinu v oblasti polnykh prostranstvennykh rezonansov [Features of sound transmission through an orthotropic plate in the area of complete spatial resonances] // Sbornik trudov aspirantov i magistrantov. Arkhitektura. Geoekologiya. Ekonomika [Selected works of postgraduate and undergraduate students. Architecture. Geoecology. Economy]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2002. P. 32–35.

9. GOST 27296-2012 Zdaniya i sooruzheniya. Metody izmereniya zvukoizolyatsii ograzhdayuschikh konstruksiy [Buildings and constructions. Methods for measurement of sound insulation of protecting designs]. Mezhsudarstvennyy standart : utverzhdyon i vvedyon v deystvie Prikazom Federalnogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 27 dekabrya 2012 g. № 2164-st : data vvedeniya 2014-01-01 : vzamen GOST 27296-87 i GOST 24210-80. Moscow, 2014.

© С. А. Паузин, 2019

Получено: 24.09.2019 г.

УДК 624.044

**Ю. С. ГРИГОРЬЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры;
В. В. ФАТЕЕВ, асс. кафедры архитектуры**

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ И ОПИРАЮЩЕГОСЯ НА НЕГО ЗДАНИЯ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-19-57; эл. почта: yus-gri@rambler.ru

Ключевые слова: строительные конструкции, грунтовое основание, деформации, разрушение, мониторинг, компьютерное моделирование.

Представлены результаты анализа многолетних наблюдений за деформациями многоэтажного здания, построенного на участке с засыпанным отвершком оврага. Исследован характер развития деформаций здания и разрушения фундаментных конструкций.

Результатом обследований деформирующихся («больных») зданий и сооружений в большинстве случаев является оценка технического состояния строительных конструкций с определением степени их поврежденности на момент обследований, на основе которых разрабатываются проектные решения по усилению оснований, фундаментов и надземных конструкций и по обеспечению тем самым нормальных условий эксплуатации здания.

Однако анализ результатов долговременных наблюдений за зданиями, особенно со сложной конструктивной системой, построенных на площадках со сложными инженерно-геологическими условиями, позволяет поставить более точный диагноз «заболевания», проследив весь процесс деформирования объекта обследований, и таким образом выбрать наиболее эффективный способ лечения «пациента».

Примером такого подхода к решению проблемы является выполненный авторами анализ результатов многолетних наблюдений за неравномерными деформациями многоэтажного жилого дома, построенного на улице Ломоносова в Нижнем Новгороде (рис. 1).



Рис. 1. 7-этажный 3-секционный жилой дом на улице Ломоносова в Нижнем Новгороде

Основные характеристики деформаций здания, определенные в результате обследований, многократно превысившие допустимые значения, приведены в таблице.

Численные характеристики неравномерной деформации здания

Номер секции	Осадка			Крен	
	минимальная S_{min} , мм	максимальная S_{max} , мм	средняя, мм	«Х», i_x	«Y», i_y
Секция № 1	124	358	231	0,001	0,007
Секция № 2	303	1323	858	-0,012	0,040
Секция № 3	+26	845	282	-0,021	0,020

Видимыми признаками чрезмерных деформаций здания в 2013 году были:

- 1) раскрытие температурного деформационного шва, отделяющего секцию № 1 от секции № 2, до 770 мм (рис. 2, 3);
- 2) смыкание деформационного шва, отделяющего секцию № 3 от секции № 2;
- 3) крен секции № 2 в сторону оврага, измеренная величина которого $i = 0,04$ в 17 раз превышала предельное допустимое значение, равное $i = 0,0024$ [1].



Рис. 2. Деформационный шов между секцией № 2 (слева) и секцией № 1 (справа)

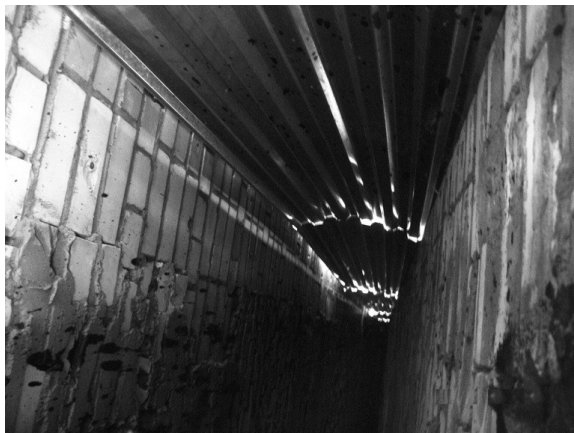


Рис. 3. Раскрытие деформационного шва между секциями № 1 (стена справа) и № 2 (стена слева). Вид с крыши дома

При обследовании фундаментной плиты на участке под деформационным швом, отделяющим секцию № 1 от секции № 2, был обнаружен разлом, в результате которого фундаментная плита под секцией № 2 в месте разлома просела относительно фундаментной плиты секции № 1 на 300 мм (рис. 4, 5).

Исследованиями, выполненными авторами в 2013–2015 годах, результаты которых опубликованы в нескольких работах [2–8], было установлено, что причиной деформации построенного в 1997 году жилого дома и разрушения его строительных конструкций являются совместные чрезмерные по величине, неравномерные осадки грунтового основания и опирающегося на него здания. Причиной же развития неравномерных деформаций является неправильный выбор типа фундамента, заключавшийся в отказе от первоначально разработанного проекта свайного фундамента в пользу плоской неразрезной железобетонной фундаментной плиты, опирающейся на сильносжимаемую насыпь переменной мощности от 2,1 до 11,5 м, сформировавшуюся в результате многолетней бессистемной засыпки откоса оврага, расположенного на участке, отведенном под строительство.

Следует отметить, что уже в процессе строительства было согласовано увеличение этажности строящегося по проекту 5-этажного здания до 7 этажей, что привело к существенному увеличению нагрузки на фундаментную плиту и грунтовое основание.

**К СТАТЬЕ Ю. С. ГРИГОРЬЕВА, В. В. ФАТЕЕВА
«АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ
ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ
И ОПОИРАЮЩЕГОСЯ НА НЕГО ЗДАНИЯ»**

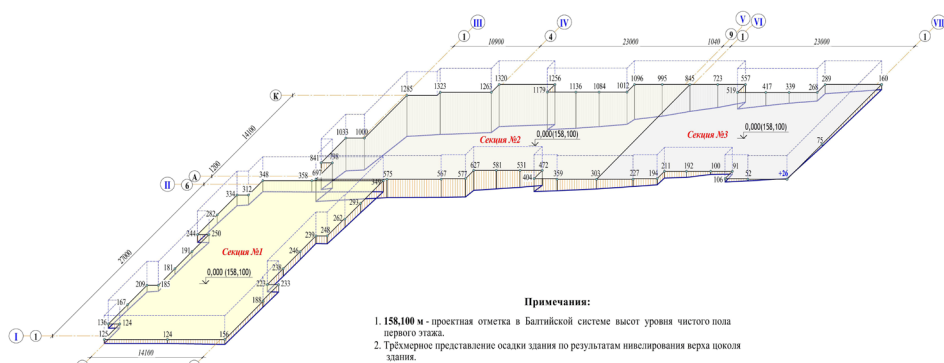
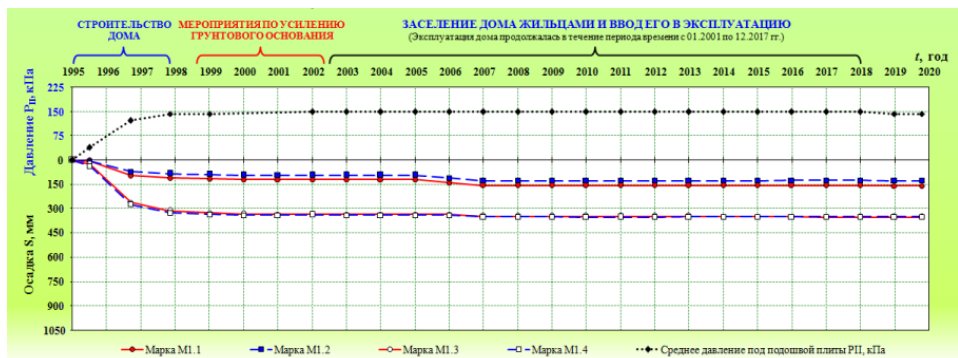


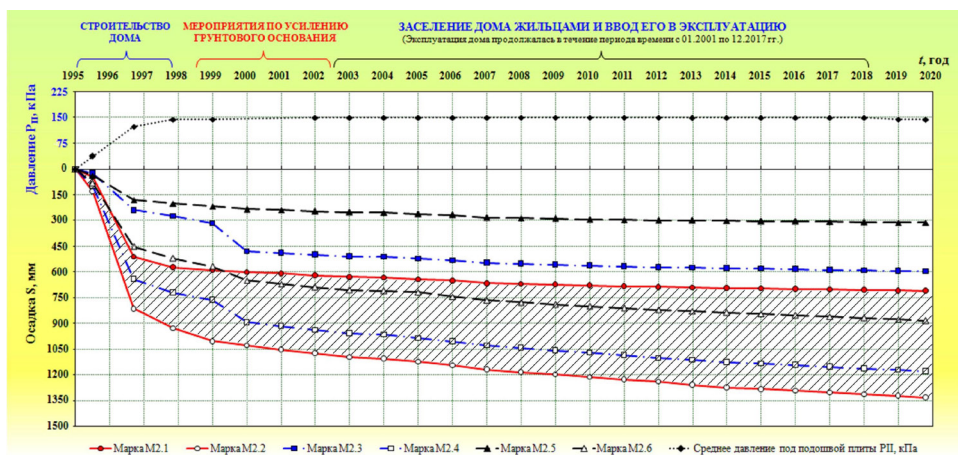
Рис. 1. Неравномерная осадка здания, измеренная геометрическим нивелированием



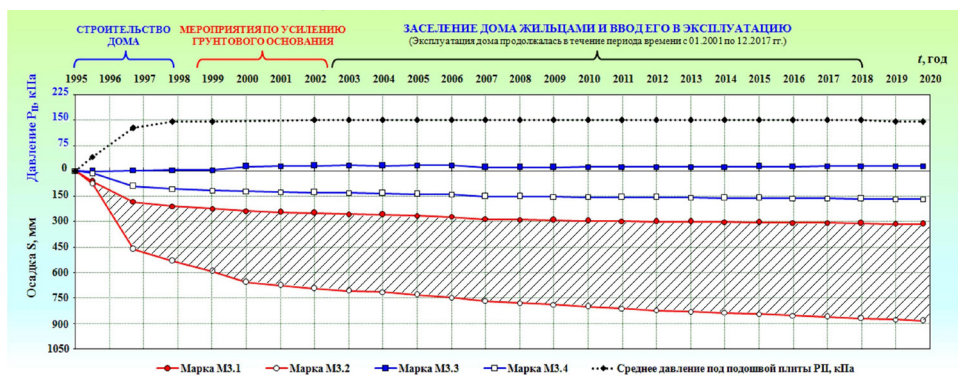
Рис. 2. Увеличение среднего давления под фундаментной плитой в процессе строительства и эксплуатации здания. Снижение давления в 2018–2019 гг. связано с выселением дома



a



б



в

Рис. 3. Графики развития во времени осадки здания: а – секция № 1; б – секция № 2; в – секция № 3

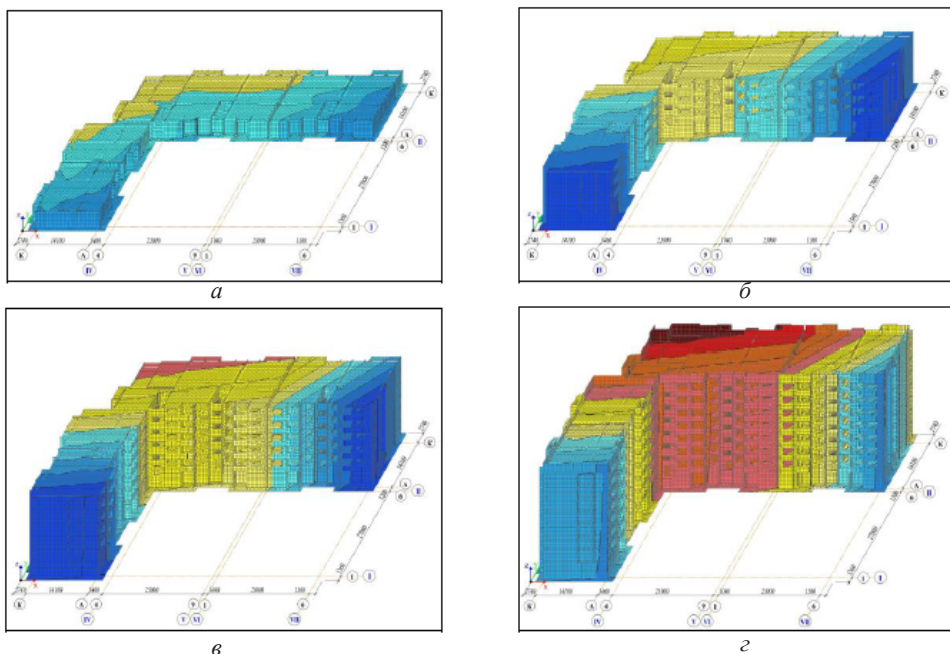


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние здания на разных стадиях строительства: *а* – фундаментно-подвальная часть; *б* – 3-этажное здание; *в* – 5-этажное здание; *г* – 7-этажное здание

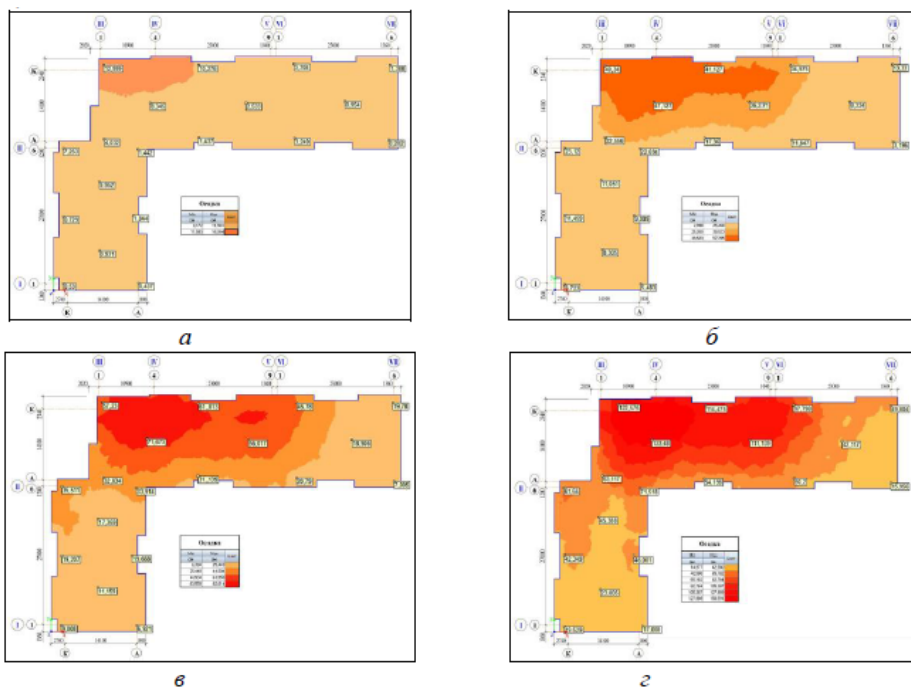


Рис. 5. Изополя вертикальных перемещений (осадки) фундаментной плиты на разных стадиях строительства: *а* – фундаментно-подвальная часть; *б* – 3-этажное здание; *в* – 5-этажное здание; *г* – 7-этажное здание

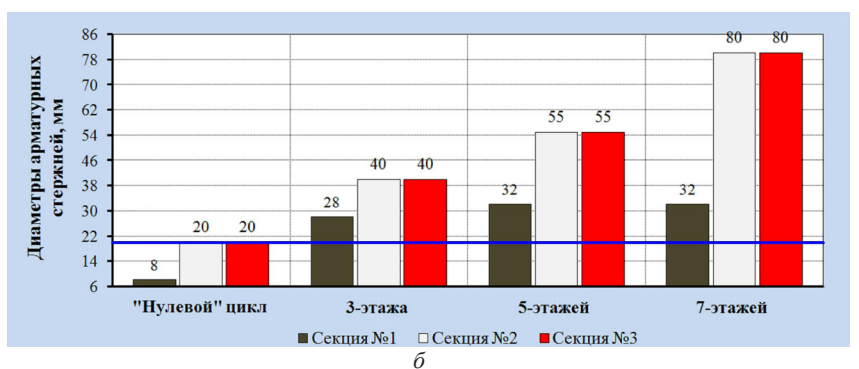
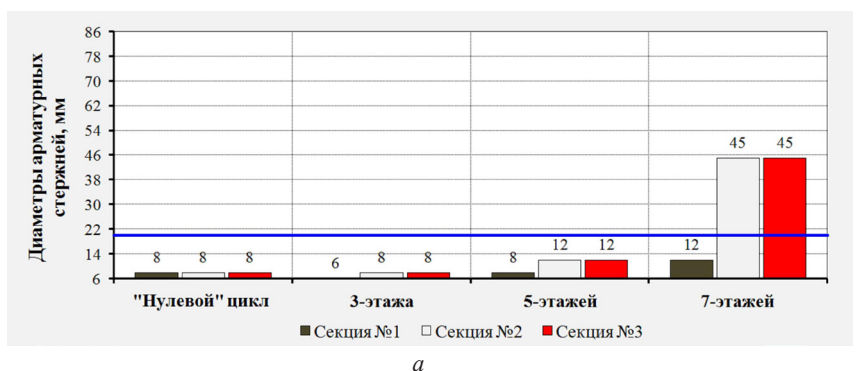
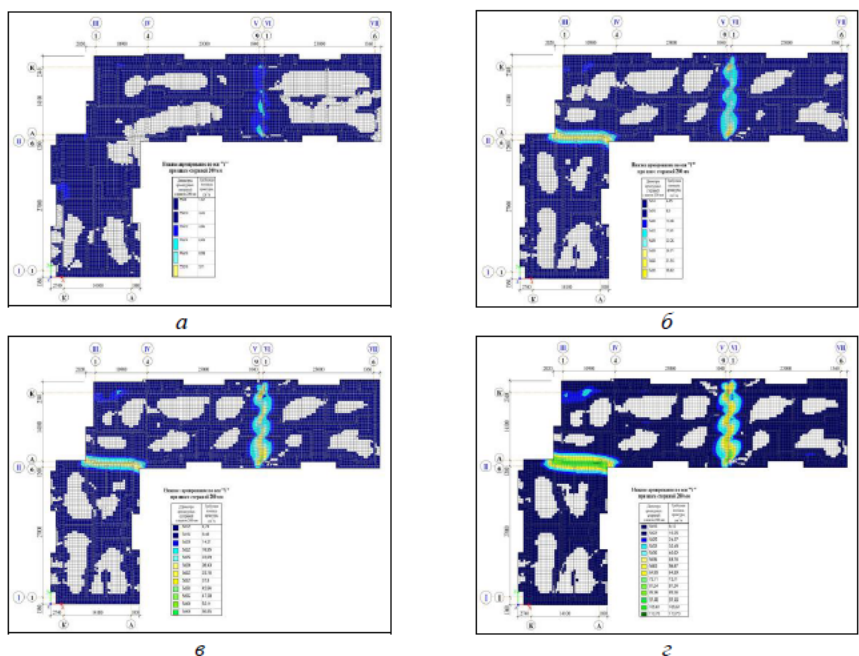


Рис. 7. Сравнение фактического армирования с результатами расчетов армирования плиты на участках концентрации напряжений: а – нижнее армирование; б – верхнее армирование



Рис. 4. Разлом в фундаментной плите под деформационным швом между секциями № 2 и № 1



Рис. 5. Разрушение арматурных сеток в разломе фундаментной плиты (см. рис. 4)

Анализ процесса развития деформаций здания во времени за период с 1995 по 2019 гг., позволил авторам решить несколько задач:

1. Определить время и характер разрушения фундаментной плиты и таким образом дать обоснованный ответ на вопрос: «В результате каких ошибок произошло разрушение фундамента, а именно: 1) в результате ошибок, допущенных в проектных решениях; 2) ошибок, допущенных при возведении здания; 3) в результате ненадлежащей эксплуатации жилого дома?»

2. Разработать наиболее обоснованные экономичные и вместе с тем безопасные при производстве работ решения по усилению грунтового основания и фундаментной плиты, обеспечивающие безаварийные условия дальнейшей эксплуатации здания.

В результате анализа результатов геотехнического мониторинга, основой для которых послужили геодезические изыскания, было установлено (рис. 6, 7 и рис. 1–3 цв. вклейки):

1. Деформации секции № 1 практически закончились к 1999 году, еще до выполнения работ по усилению грунтового основания цементацией и металлическими сваями, выполненных в 1998–2002 годах.

2. Осадки секций № 2 и № 3 к 1999 году составили 65–70 % от максимальных значений, измеренных в 2019 году.

3. Неравномерные осадки секций № 2 и № 3 и после мероприятий по усилению основания, выполненных в 1998–2002 годах, продолжают нарастать с относительно постоянной средней скоростью. При этом скорость развития осадки секции № 2 составляет 15,6 мм/год (геодезическая марка М.2.2), скорость развития осадки секции № 3 – 14,0 мм/год (марка М.3.2).

4. Раскрытие температурного деформационного шва, отделяющего секцию № 1 от секции № 2, продолжается из-за нарастания крена секции № 2. Средняя скорость раскрытия деформационного шва составляет 21,6 мм/год.

5. Нарастание крена секций здания в сторону оврага обусловлено разницей в развитии осадки под противоположными краями фундаментной плиты. Так, осадка основания секции № 2 под краем фундаментной плиты со стороны дворовой части за время с 1999 года по 2019 год нарастает со средней скоростью 7,9 мм/год, а со стороны оврага – со скоростью 16,9 мм/год.

Осадка секции № 3 под краем фундаментной плиты со стороны двора нарастает со скоростью 1,4 мм/год, а со стороны оврага – со скоростью 8,2 мм/год.

6. Крены здания развиваются в двух направлениях – не только и преимущественно в сторону оврага, но и вдоль секций № 2 и № 3 параллельно бровке оврага. При этом секция № 2 наезжает на секцию № 1, в результате чего произошло локальное разрушение железобетонного козырька над входом в подъезд 2, и локальное продавливание кирпичной кладки наружной продольной стены секции № 1.

Нарастание же крена секции № 3 в продольном направлении (вдоль бровки оврага) превосходит крен секции № 2. В этом случае секция № 3 как бы наезжает на секцию № 2, наваливаясь на нее. В результате температурный шов между секциями № 2 и № 3 в уровне 5–7 этажей сомкнулся.

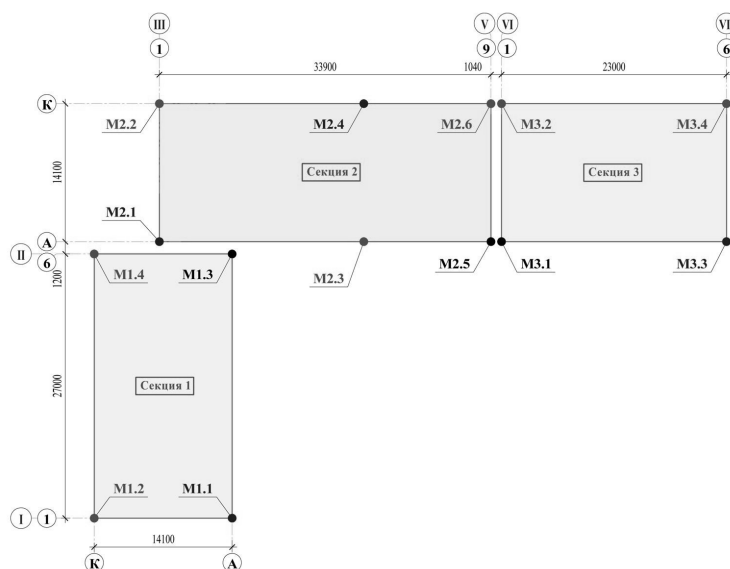
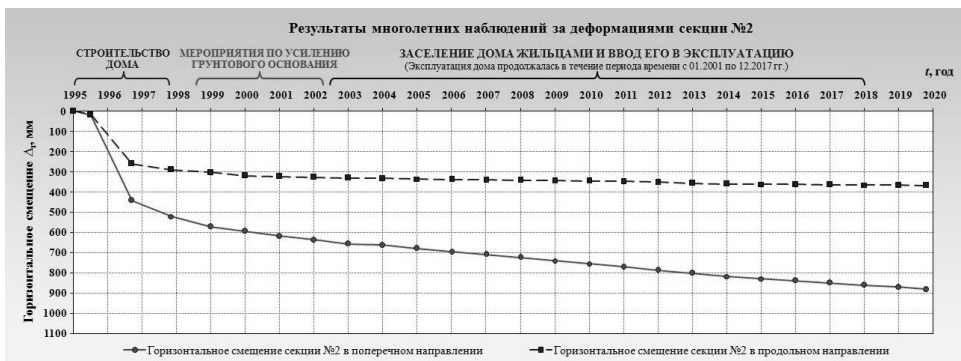


Рис. 6. Схема расположения осадочных марок, установленных в наружных стенах по наружному периметру здания



a



б



в

Рис. 7. Графики развития во времени горизонтальных перемещений в поперечном и в продольном направлениях в уровне верхней плоскости парапетов: *a* – секции № 1; *б* – секции № 2; *в* – секции № 3

7. Траектории развития наклонных трещин в наружных продольных стенах секций № 2 и № 3 соответствуют характеру развития осадки здания (рис. 8). Вместе с тем траектории развития наклонных трещин наружных продольных стен дворового фасада не совпадают с характером развития осадки (рис. 9).



Рис. 8. Картограмма расположения трещин в наружных стенах секций № 3 и № 2 (вид со стороны оврага)

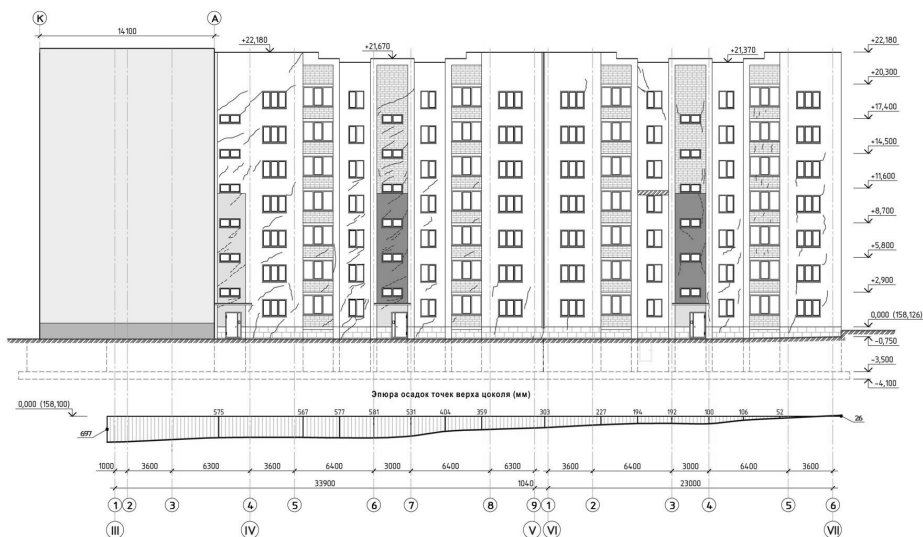


Рис. 9. Картограмма расположения трещин в наружных стенах секций № 2 и № 3 (вид со стороны двора)

Столь существенная разница в характере деформирования стен объясняется тем, что здание испытывает сложные деформации закручивания.

Для анализа результатов геотехнического мониторинга авторами был использован программно-вычислительный комплекс “SCAD Office”, с помощью которого были построены трехмерные конечно-элементные модели, а именно: 1) модель здания, учитывающая с максимально возможной точностью его конструктивные особенности; 2) геомеханическая модель грунтового основания, разработанная с использованием процедур верификации и валидации [7].



Анализ изменения во времени напряженно-деформированного состояния системы «грунтовое основание – фундаментная плита – здание» был выполнен с использованием расчетных схем, соответствующих четырем стадиям строительства (рис. 4–7 цв. вклейки):

1-я стадия – возведена фундаментно-подвальная часть здания. Расчетные осадки S , изменяющиеся в пределах от 0,2 до 17,0 см не превышают предельно допускаемую величину $S_u = 27$ см. Расчетные диаметры рабочей арматуры в фундаментной плите не превышают диаметров стержней фактического армирования.

2-я стадия – возведено 3 этажа. На этой стадии строительства:

1. Расчетные значения осадки и крен 2-й секции превысили предельные нормативные значения.

2. Требуемое по расчету количество рабочей арматуры на участках фундаментной плиты, расположенных под деформационными швами, превысило фактическое армирование. Этот результат явился основанием для вывода о том, что разрушение плиты на участках под температурными деформационными швами произошло на стадии возведения первых 3 этажей.

3-я стадия – построено 5 этажей. На этой стадии секции здания, отделенные друг от друга уже не температурными, а осадочными деформационными швами, образовавшимися в результате разломов в фундаментной плите, опираются каждая на свой фундамент.

4-я стадия – завершено строительство 7-этажного здания. В целом ситуация по завершении строительства еще больше осложнилась.

Для обеспечения дальнейшей безаварийной эксплуатации здания авторами был разработан проект по усилению фундаментной плиты и грунтового основания под секциями дома № 2 и № 3 [6]. Проект получил положительное заключение государственной экспертизы, однако из-за поиска подрядчика и источников финансирования реализация проекта была отложена на неопределенное время. Поэтому на период до начала производства строительно-монтажных работ авторами были организованы дополнительные наблюдения за деформациями здания [8].

Для наблюдения за динамикой раскрытия температурного деформационного шва между секциями № 1 и № 2 и за креном секции № 2 в деформационном шве была установлена наблюдательная станция, в конструкции которой был использован прогибомер Максимова (рис. 10, 11). Для наблюдения за раскрытием трещин в стенах по наружному периметру здания были установлены гипсовые маяки.

Наблюдениями, выполненными за период с 2017 по 2019 гг., было установлено (рис. 12):

1. Раскрытие деформационного шва в уровне верхней плоскости парапетов за 24 месяца увеличилось на 29,3 мм и достигло абсолютного значения в 805 мм.

2. Раскрытие деформационного шва нарастало в течение 24 месяцев со средней скоростью 1,2 мм/месяц.

3. Колебания скорости нарастания перемещений относительно средней величины, как и раскрытие трещин в гипсовых маяках, обусловлены сезонными климатическими воздействиями на строительные конструкции здания.



Рис. 10. Деформационный шов между секциями № 1 и № 2



Рис. 11. Наблюдательная станция с прогибомером Максимова ПМ-2



Рис. 12. График раскрытия деформационного шва $\Delta_{ш}$ (мм) во времени (приращение отклонения секции № 2 от вертикальной плоскости)

Результаты анализа многолетних наблюдений за деформациями здания позволили сделать следующие выводы:

1. К 1999 году осадки секции № 1 прекратились, в то время как осадки секций № 2 и № 3 продолжают и в настоящее время с относительно постоянной скоростью.
2. Разрушение фундаментной плиты произошло в период возведения первых 3 этажей еще до завершения строительства дома и задолго до сдачи его в эксплуатацию в 2003 году.



3. В результате разрушения фундаментной плиты здание разделилось на 3 жестких блока (в конструкциях стен которых имеются монолитные железобетонные пояса жесткости), сохраняющих свою геометрическую форму в процессе продолжающихся совместных неравномерных деформаций грунтового основания и опирающегося на него здания.

4. Причинами деформации здания являются ошибки, допущенные как при проектировании основания и фундаментов, так и в процессе строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений : свод правил : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16.12.2016 : дата введ. 17.06.2017 : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. – Москва, 2016. – 225 с.

2. Григорьев, Ю. С. Исследование причины деформации семизэтажного жилого дома на улице Ломоносова в Нижнем Новгороде / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – № 2. – С. 46–53.

3. Григорьев, Ю. С. Исследование напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты жилого дома на насыпном грунтовом основании / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – № 4. – С. 16–22.

4. Григорьев, Ю. С. Причины деформации и разрушения строительных конструкций жилого дома, построенного на присклоновой территории / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2017. – № 5. – С. 10–15.

5. Grigor'ev, Yu. S. Reasons for deformation and failure of the structural units of an apartment building on a slopeside site / Yu. S. Grigor'ev, V. V. Fateev // Soil Mechanics and Foundation Engineering / Springer Science+Business Media New York. – 2017. – Vol. 54, № 5. – P. 318–323.

6. Григорьев, Ю. С. Усиление грунтового основания и фундаментной плиты жилого дома, построенного на участке с засыпанным отвершком оврага / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2018. – № 2. – С. 16–22.

7. Григорьев, Ю. С. Верификация и валидация геомеханической модели грунтового основания деформирующегося здания / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2018. – № 3. – С. 16–22.

8. Григорьев, Ю. С. Анализ напряженно-деформированного состояния грунтового основания разрушающейся фундаментной плиты на основе результатов мониторинга деформирующегося многоэтажного здания / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 2. – С. 35–43.

GRIGOREV Yury Semyonovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of architecture; FATEEV Valery Valerevich, assistant of the chair of architecture

ANALYSIS OF THE RESULTS OF LONG-TERM MONITORING OF DEFORMATIONS OF THE FOUNDATION SOIL AND THE BUILDING RESTING ON IT



Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: yus-gri@rambler.ru

Key words: building structures, foundation soil, deformation, destruction, monitoring, computer modeling.

The article presents the results of the analysis of long-term monitoring of a multistoried building built on a site with a filled-up ravine. The character of the building's deformation development and destruction of the foundation constructions is investigated.

REFERENCES

1. SP 22.13330.2016. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Bases of buildings and structures]: svod pravil : utverzhdyon Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 16.12.2016 : data vved. 17.06.2017. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83*. Moscow. 2016, 225 p.
2. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Issledovanie prichiny deformatsii semietazhnogo zhilogo doma na ulitse Lomonosova v Nizhnem Novgorode [Research of the cause of deformation of a seven-story building on Lomonosov street in Nizhny Novgorod]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2017. № 2. P. 46–53.
3. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Issledovanie napryazhyonno-deformirovannogo sostoyaniya fundamentnoy plity zhilogo doma na nasypnom gruntovom osnovanii [Investigation of the stress-strain condition of the foundation plate of a residential building on a bulk soil base]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit.un-t. Nizhny Novgorod. 2017. № 4. P. 16–23.
4. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Prichiny deformatsii i razrusheniya stroitelnykh konstruktсий zhilogo doma, postroennogo na prisklonovoy territorii [Reasons for deformation and failure of the structural units of an apartment building on a slopeside site]. Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov [Soil Mechanics and Foundation Engineering]. 2017. № 5. P. 10-15.
5. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Reasons for deformation and failure of the structural units of an apartment building on a slopeside site. Soil Mechanics and Foundation Engineering. Springer Science+Business Media New York. 2017. Vol. 54, № 5. P. 318–323.
6. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Usilenie gruntovogo osnovaniya i fundamentnoy plity zhilogo doma, postroennogo na uchastke s zasypnym otvershkom ovraga [Strengthening the foundation bed and foundation plate of a residential building built on a site with a filled up offshoot of a ravine]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit.un-t. Nizhny Novgorod. 2018. № 2. P. 16–22.
7. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Verifikatsiya i validatsiya geomekhanicheskoy modeli gruntovogo osnovaniya deformiruyushegosya zdaniya [Verification and validation of a geomechanical model of the soil basis of a deforming building]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit.un-t. Nizhny Novgorod. 2018. № 3. P. 16–22.
8. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Analiz napryazhyonno-deformirovannogo sostoyaniya gruntovogo osnovaniya razrushayusheysya fundamentnoy plity na osnove rezultatov monitoringa deformiruyushegosya mnogoetazhnogo zdaniya [Analysis of the stress-strain state of the soil base of the destroying foundation plate based on the results of monitoring the deforming multi-storey building]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit.un-t. Nizhny Novgorod. 2019. № 2. P. 35–43.

© Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев, 2019

Получено: 24.09.2019 г.

УДК 699.841

П. А. ХАЗОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; А. А. ГЕНЕРАЛОВА, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; А. Е. ВОРОБЬЕВА, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики

РЕЗОНАНСНЫЙ АНАЛИЗ КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТНЫХ ДИАПАЗОНОВ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;
эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru, nastyage94@mail.ru, alenavorobeveva95@gmail.com
Ключевые слова: каркасное здание, собственные колебания, частота собственных колебаний, сейсмическая нагрузка, акселерограмма, магнитуда, землетрясение, динамический коэффициент.

Приводится резонансный анализ каркасного здания гостиницы, расположенной в сейсмически опасном регионе (г. Елизово, Камчатский край) при землетрясении с максимальной магнитудой $M_w = 7.0$; при этом в качестве расчетных моделей воздействия приняты расчетные акселерограммы. Проанализированы динамические напряжения, возникающие в наиболее нагруженной колонне с учетом отношения собственной частоты здания к частоте колебаний грунта. Показано, что при близости частот напряжения в наиболее нагруженной колонне могут значительно превышать расчетное сопротивление материала, а принятая конструктивная схема здания, рассчитанная по действующим нормативным документам, может не выдержать реального землетрясения данной интенсивности.

Землетрясения являются крайне опасными природными явлениями. Их результатом могут быть разрушения зданий, сооружений, которые приводят к пожарам, авариям и большим человеческим жертвам. Также государство несет значительный материальный ущерб. В настоящее время колебаниям зданий и сооружений, в том числе при сейсмических воздействиях, уделяется особое внимание [1–6]. Одним из способов снижения ущерба при землетрясении является применение на стадии проектирования объекта требуемых антисейсмических мероприятий [2, 7–11].

Согласно [9, 12] интенсивность сейсмических воздействий в баллах (фоновую сейсмичность) для района строительства следует принимать на основе комплекта карт общего сейсмического районирования территории, утвержденных Российской академией наук. В соответствии с картами в пределах РФ выделены следующие сейсмически опасные зоны: Алтай, Верхоянская зона, Кавказ, Камчатка, Крым, Курилы, Саяны, Прибайкалье, Прикарпатье, Чукотка.

На стадии проектирования зданий и сооружений в сейсмически опасных районах расчет конструкций и оснований подразумевает учет основных и особых сочетаний нагрузок с учетом расчетной сейсмической нагрузки [10–12].

Объектом исследования является каркасное здание гостиницы, расположенное в городе Елизово, Камчатский край (рис. 1, 2 цв. вклейки) [6]. Данный район относится к сейсмически опасным зонам.

На рис. 3 цв. вклейки представлена карта эпицентров землетрясений с магнитудой $M \geq 7.9$, зарегистрированных в регионе в течение всего периода наблюдений с 1962 г. [12].

В работе О. В. Павленко [10] при анализе некоторых землетрясений, прошедших в данном регионе, были получены расчетные акселерограммы.

Самым высоким классом обладает землетрясение 24 ноября 1971 г. с магнитудой 7.32, произошедшее в Авачинском заливе на глубине $h = 110$ км. Самое глубокое землетрясение зафиксировано 13 января 2008 г. в южной части Камчатской сейсмофокальной зоны на глубине $h = 701$ км.

13 ноября 1993 г., приблизительно в 120 км от Петропавловска-Камчатского (у восточного побережья) произошло землетрясение с моментной магнитудой $M_w = 7.0$ и глубиной очага ~ 54 км. Подобные землетрясения имеют характерный период около 10 лет [7]. Проведенный анализ сейсмической опасности для Петропавловска-Камчатского, в районе которого находится г. Елизово, показал, что максимально возможной является магнитуда землетрясения $M_w = 9.0$, причем оценка параметров колебаний поверхности на относительно малых расстояниях от очага этого землетрясения в пределах Петропавловска-Камчатского представляет собой достаточно сложную проблему [7]. Оценить параметры колебаний земной поверхности в разных пунктах (на скальных и осадочных породах) можно путем моделирования акселерограмм этого сценарного землетрясения [2, 10].

В ходе анализа акселерограмм, предложенных в работе О. В. Павленко (рис. 1) [10] и принятых в качестве расчетных моделей воздействия (РМВ), были получены графики реальных изменений сейсмических нагрузок.

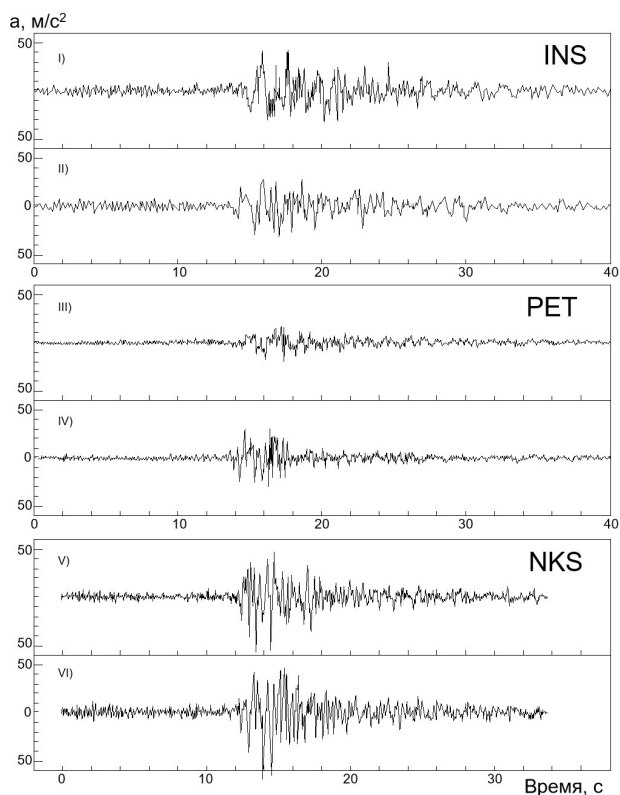


Рис. 1. Акселерограммы землетрясения 13.11.1993 г., зарегистрированные сейсмостанциями *INS*, *PET* и *NKS*; верхняя и нижняя записи – горизонтальные компоненты ВЗ (восток-запад) и СЮ (север-юг)

Расчетное значение горизонтальной сейсмической нагрузки, приложенной к массе с номером i при форме собственных колебаний (ФСК) с номером k (рис. 2) определяется по формуле (1) [12].

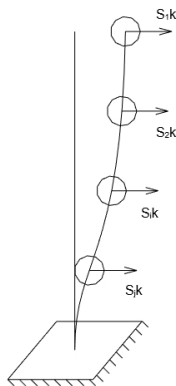


Рис. 2. Схема приложения сейсмических нагрузок при форме колебаний с номером k ($k = [1, \dots, n]$, где n – число свободы степеней)

$$S_{ik} = k_0 \cdot k_1 \cdot S_{0ik}, \quad (1)$$

где k_0 – коэффициент, который учитывает назначение и ответственность сооружения, принимаемый по табл. 3 [12]; k_1 – коэффициент, учитывающий дополнительные повреждения зданий и сооружений, который принимается по табл. 4 [12]; S_{0ik} – значение сейсмической нагрузки, приложенной к массе с номером i при форме собственных колебаний с номером k здания или сооружения, определяемое в предположении упругой деформации конструкции по формуле [12]:

$$S_{0ik} = M_i \cdot A \cdot \beta_k \cdot k_\psi \cdot \eta_{ik}, \quad (2)$$

где M_i – масса, сосредоточенная в перекрытии с номером i ; A – реальное значение ускорения в уровне основания, принимаемое по расчетным акселерограммам (рис. 1); k_ψ – коэффициент, учитывающий способность здания рассеивать энергию; η_{ik} – коэффициент, который зависит от формы деформации здания при его свободных колебаниях по k -й форме. Так как проектируемое здание рассчитывается по консольной схеме (рис. 2), коэффициент η_{ik} следует определять по формуле:

$$\eta_{ik} = \frac{\varphi_{i,k} \cdot \sum M_j \cdot \varphi_{i,j}}{\sum M_j \cdot \varphi_{i,j}^2}, \quad (3)$$

где $\varphi_{i,k}$ – коэффициент формы для массы с номером i при форме колебаний с номером k [12]; β_k – коэффициент динамичности, соответствующий k -й форме собственных колебаний зданий и сооружений, вычисляется по формуле:

$$\beta_k = \left(\sqrt{\left(1 - \frac{\theta^2}{\omega_k^2}\right)^2 + \gamma^2 \frac{\theta^2}{\omega_k^2}} \right)^{-1}, \quad (4)$$

где θ – круговая частота колебаний грунта (определяется по расчетным акселерограммам (рис. 1)); ω_k – круговая частота собственных колебаний здания. Частоты и формы собственных колебаний определены по методике, предложенной в [6] и составленной в соответствии с [12].

Были проанализированы I и VI акселерограммы (рис. 1) как самые характерные. По результатам расчета конечно-элементной модели гостиницы были опреде-

**К СТАТЬЕ П. А. ХАЗОВА, А. А. ГЕНЕРАЛОВОЙ, А. Е. ВОРОБЬЕВОЙ
«РЕЗОНАНСНЫЙ АНАЛИЗ КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ
ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ
РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТНЫХ ДИАПАЗОНОВ»**



Рис. 1. Фасад каркасного здания гостиницы

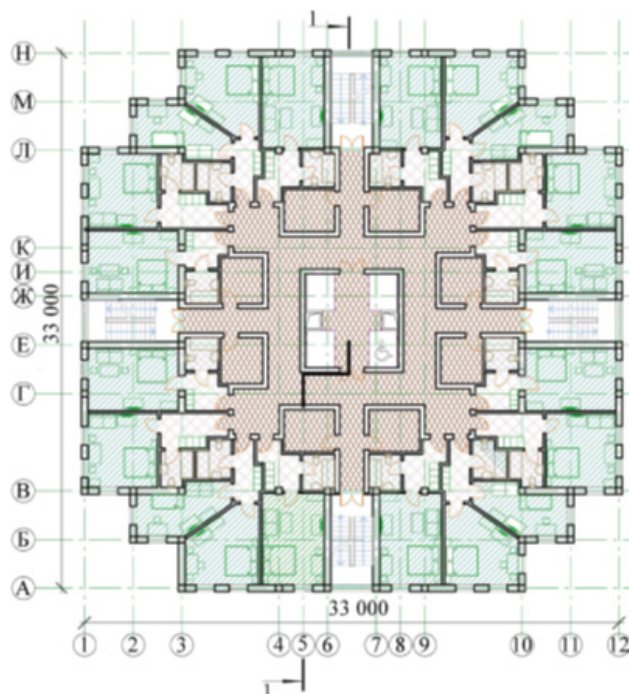


Рис. 2. План типового этажа

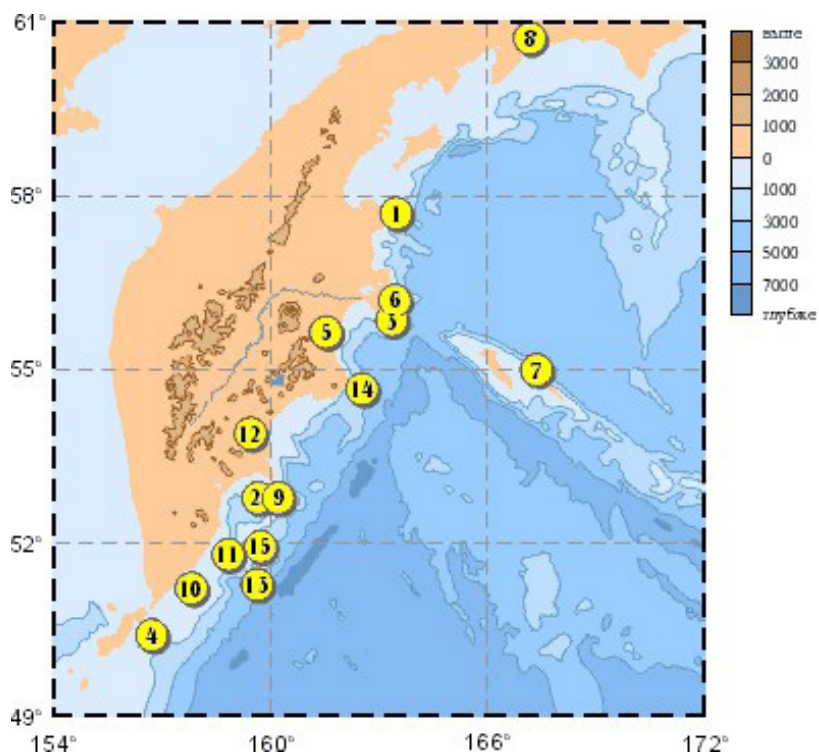


Рис. 3. Схема расположения эпицентров землетрясений

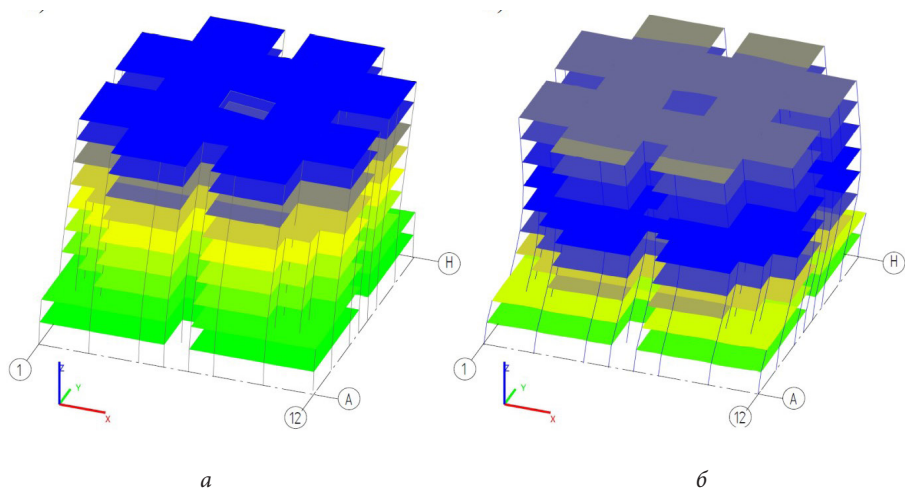


Рис. 4. Деформированная расчетная модель проектируемого здания под действием сейсмических нагрузок: а – по I ФСК; б – по II ФСК

лены статические напряжения в наиболее опасном сечении колонны от сейсмической нагрузки.

На рис. 3, 4 приводятся графики сейсмических нагрузок, определенных с помощью реальных акселерограмм (рис. 1) и соотношений (1–4). На рис. 4 цв. вклейки показаны деформированные схемы здания от определенных ранее сейсмических нагрузок при резонансе по первой и второй формам собственных колебаний.

Динамические напряжения, возникающие в наиболее нагруженной колонне, зависят от двух факторов:

- 1) статического напряжения от единичной силы, приложенной в массу с номером i ;
- 2) реальной сейсмической нагрузки.

Таким образом, динамическое напряжение может быть определено по формуле:

$$\sigma_d = \sum_{i=0}^n (\sigma_{ст}^i \cdot S_i), \quad (5)$$

где $\sigma_{ст}^i$ – статическое напряжение от единичной силы, приложенной в массу с номером i ; S_i – реальная сейсмическая нагрузка, приложенная в массу с номером i , принимаемая согласно рис. 3, 4.

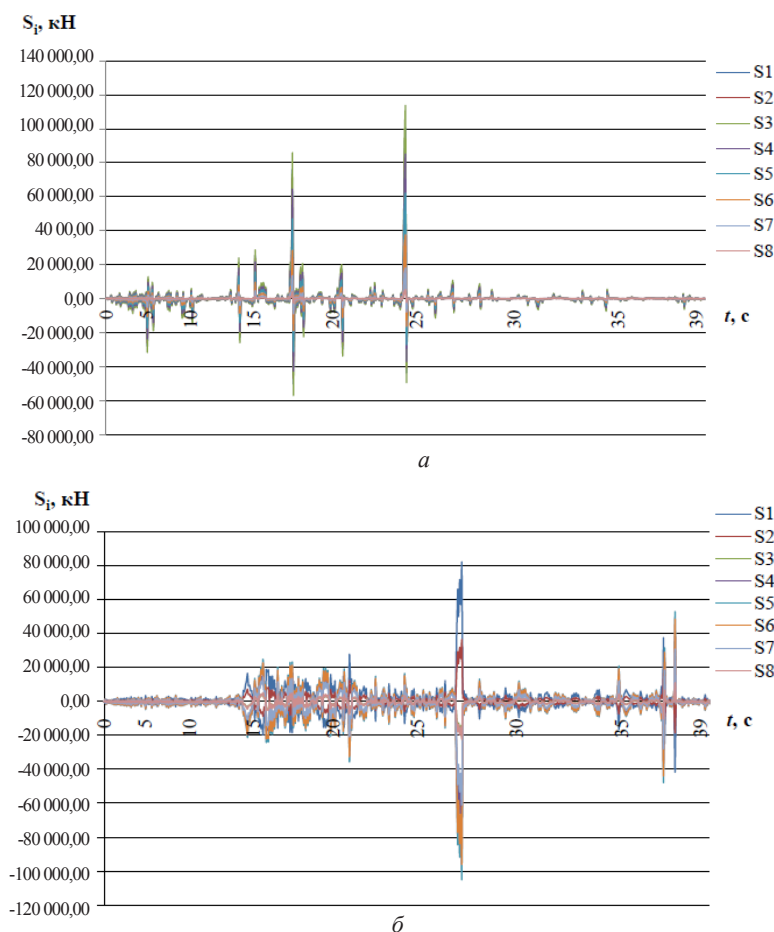
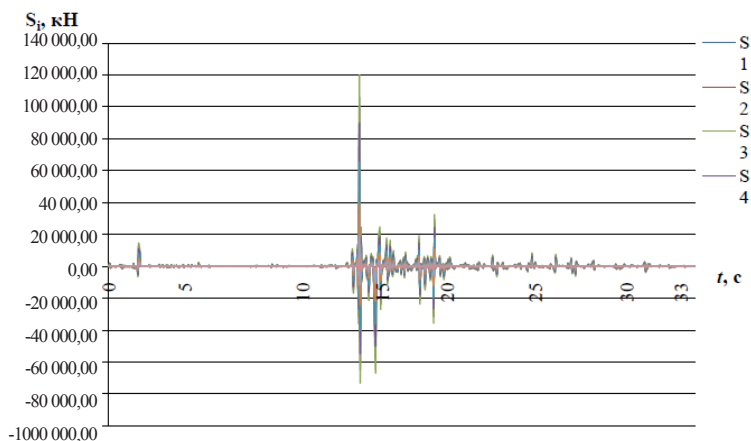
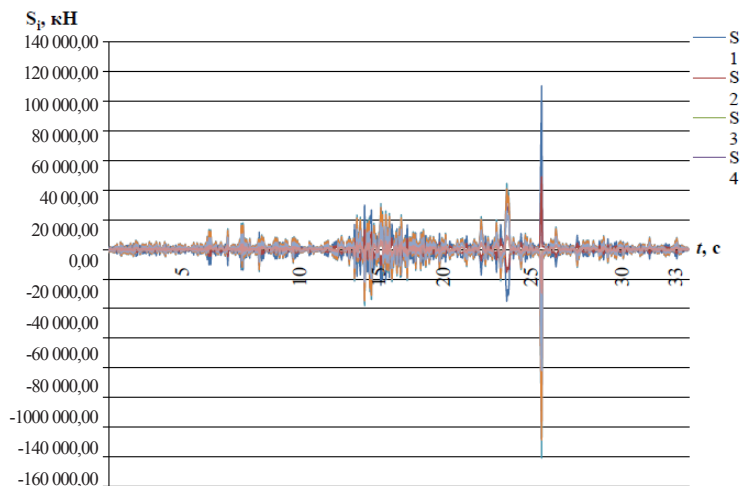


Рис. 3. Реальные сейсмические нагрузки, РМВ – акселерограмма I: а – резонанс по I ФСК; б – резонанс по II ФСК



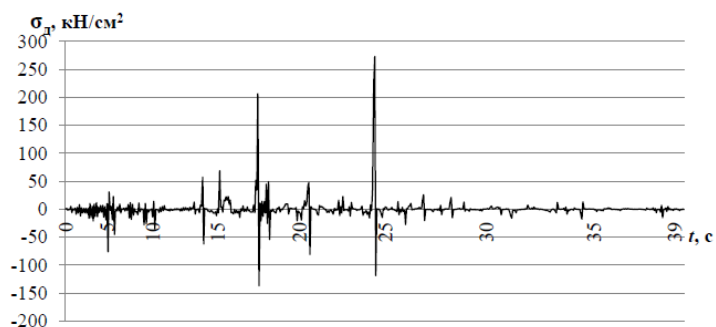
а



б

Рис. 4. Реальные сейсмические нагрузки, PMB – акселерограмма VI: а – резонанс по I ФСК; б – резонанс по II ФСК

На рис. 5, 6 приводится история напряжений, определенных с помощью рис. 3, 4 и соотношения (5).



а

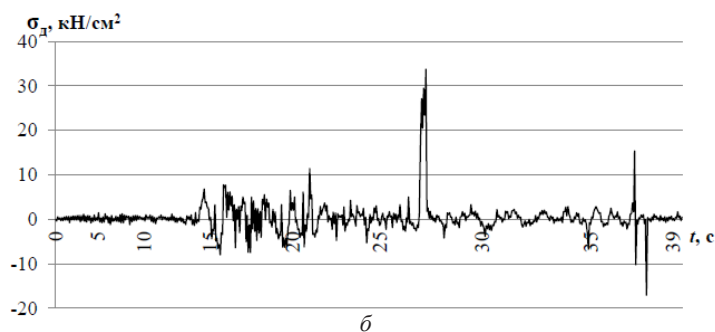
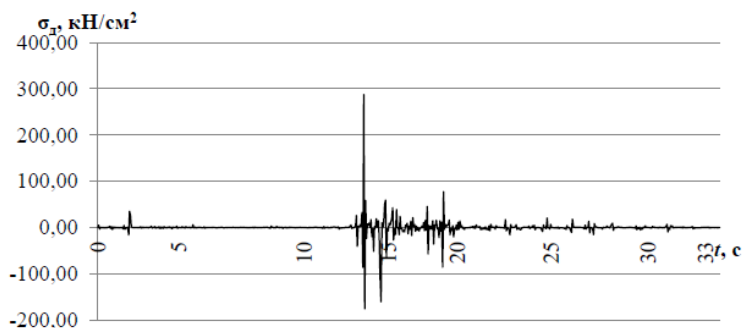
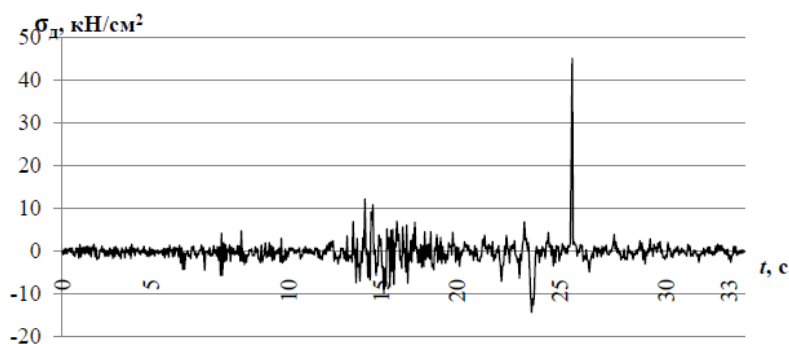


Рис. 5. График изменения динамических напряжений, РМВ – акселерограмма I: *а* – резонанс по II ФСК; *б* – резонанс по II ФСК

По результатам расчета (рис. 5, 6), было определено максимальное напряжение в наиболее нагруженной колонне, которое составило: $\sigma_{d, \max} = 292,9 \text{ кН/см}^2$. Значение напряжения в колонне значительно превышает ее несущую способность; таким образом, исследуемая колонна не отвечает требованиям прочности.



а



б

Рис. 6. График изменения динамических напряжений, РМВ – акселерограмма VI: *а* – резонанс по II ФСК; *б* – резонанс по II ФСК

Кроме этого было определено максимальное значение динамического напряжения в наименее нагруженной колонне, которое составило $39,6 \text{ кН/см}^2$. Данное значение не превышает расчетного сопротивления материала колонны



($R_y = 43 \text{ кН/см}^2$), но, очевидно, в остальных колоннах напряжения будут превышать несущую способность конструкции.

Таким образом, может быть сделан вывод, что в результате этих необратимых процессов может произойти разрушение большинства колонн проектируемого здания, впоследствии чего здание не сможет быть восстановлено или, иначе говоря, проектируемое каркасное здание не выдержит землетрясение с магнитудой $M_w = 7.0$ и разрушится в результате резонансных эффектов. Таким образом, помимо выполнения расчетов, предложенных в нормативных документах, рекомендуется выполнять расчеты зданий и сооружений, предназначенных для строительства в сейсмически опасных регионах, с учетом реальных расчетных моделей воздействия, заданных в виде уравнений колебаний грунта или в виде расчетных акселерограмм, принимая в итоге наименее выгодный вариант.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бирбраер, А. Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость / А. Н. Бирбраер. – Санкт-Петербург : Наука, 1998. – 255 с. : ил. – ISBN 5-02-024883-5. – Текст : непосредственный.
2. Назаров, Ю. П. Теория и практика расчетов строительных сооружений на сейсмостойкость по акселерограммам / Ю. П. Назаров, Ю. Н. Жук, Е. В. Позняк [и др.]. – Текст : непосредственный // Тезисы докладов XI Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием). – Москва, 2015. – С. 131–132.
3. Никитина, Е. А. Анализ собственных изгибно-крутильных колебаний многоэтажных зданий эксплуатации / Е. А. Никитина, П. А. Хазов, А. В. Крыцовкина, А. А. Генералова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2018. – № 3 (47). – С. 10–16.
4. Хазов, П. А. Сравнение динамических расчетных моделей при определении частот и форм собственных колебаний большепролетной стальной фермы покрытия здания велодрома / П. А. Хазов, Н. И. Молодушная, Б. Б. Лампси [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 2. – С. 16–25.
5. Хазов, П. А. Резонансный анализ конструктивных схем каркасного здания с учетом податливости основания при ветровых и штормовых воздействиях / П. А. Хазов, Н. В. Санкина. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 3. – С. 18–27.
6. Ерофеев, В. И. Влияние штормовой нагрузки на поврежденность материала несущей конструкции каркасного здания / В. И. Ерофеев, Е. А. Никитина, П. А. Хазов [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 1. – С. 9–15 с.
7. Гусев, А. А. Об оценке сейсмической опасности для города Петропавловска-Камчатского на основе набора сценарных землетрясений / А. А. Гусев, Л. С. Шумилина, К. Н. Акатова. – Текст : электронный // Электронный научно-информационный журнал «Вестник ОГПГН РАН». – 2005. – № 1 (23). – С. 1–22.
8. Позняк, Е. В. Об оценке влияния сейсмических ротаций на динамику строительных конструкций / Е. В. Позняк. – Текст : непосредственный // Справочник. Инженерный журнал (с приложением). – 2017. – № 9 (246). – С. 14–23.
9. Ньюмарк, Н. Основы сейсмостойкого строительства : пер. с англ. / Н. Ньюмарк, Э. Розенблюэт ; под ред. Я. М. Айзенберга. – Москва : Стройиздат, 1980. – 844 с. – Текст : непосредственный.
10. Павленко, О. В. Моделирование акселерограмм землетрясения 13.11.1993 г. ($MW=7.0$, $H=54 \text{ км}$) на сейсмостанциях «Петропавловск», «Институт вулканологии» и «Никольская» (г. Петропавловск-Камчатский) / О. В. Павленко. – Текст : непосредственный //



Вестник Краунц. Серия «Науки о земле». – Москва, 2015. – Вып. 28, № 4. – С. 47–59.

11. Синицын, А. П. Практические методы расчета сооружений на сейсмические нагрузки / А. П. Синицын. – Москва : Стройиздат, 1967. – 145 с. : ил. – Текст : непосредственный.

12. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах : свод правил : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 18.02.14 : дата введ. 01.06.14 : [ред. от 23.11.2015]. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 30 с. : ил. – Текст : непосредственный.

KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; GENERALOVA Anastasia Alekseevna, postgraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; VOROBYOVA Alyona Evgenevna, postgraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics

RESONANCE ANALYSIS OF A FRAME BUILDING UNDER SEISMIC INFLUENCE OF VARIOUS FREQUENCY RANGE

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;

e-mail: khazov.ngasu@mail.ru, nastyage94@mail.ru, alenavorobeveva95@gmail.com

Key words: frame building, natural vibrations, natural frequency, seismic load, accelerogram, magnitude, earthquake, dynamic coefficient.

The article provides a resonance analysis of the frame building of a hotel located in a seismically dangerous region (Elizovo, Kamchatka Territory) during an earthquake with a maximum magnitude of $M_w = 7.0$; in the analysis, the calculated accelerograms are taken as the calculated models of impact. The dynamic stresses arising in the most loaded column are analyzed taking into account the ratio of the natural frequency of the building to the frequency of soil vibrations. It is shown that when the frequencies are close the stresses in the most loaded column can exceed significantly the calculated resistance of the material, and the adopted structural design of the building, calculated according to the current regulatory documents, cannot withstand a real earthquake of the given intensity.

REFERENCES

1. Birbraer A. N. Raschyot konstruktivnykh na seystmostoykost [Design analysis for earthquake resistance]. St. Petersburg: Nauka, 1998. – 255 p.: il. ISBN 5-02-024883-5.

2. Nazarov Yu. P., Zhuk Yu. N., Poznyak E. V., et al. Teoriya i praktika raschyotov stroitelstva sooruzheniy na seystmostoykost po akselerogrammam [The theory and practice of calculating building structures for earthquake resistance according to accelerograms] // Tezisy dokladov XI Rossiyskoy natsionalnoy konferentsii po seystmostoykomu stroitelstvu i seysmicheskomu rayonirovaniyu (s mezhdunarodnym uchastiem) [Abstracts of the XI Russian National Conference on Earthquake Engineering and Seismic Zoning (with international participation)]. – Moscow – 2015. – P. 131–132.

3. Nikitina E. A., Khazov P. A., Krytsovskina A. V., Generalova A. A. Analiz sobstvennykh izgibno-krutilnykh kolebaniy mnogoetazhnykh zdaniy [Analysis of own bending-torsion oscillations of multi-floor buildings]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2018. № 3. P. 9–14.

4. Khazov P. A., Molodushnaya N. I., Lampsi B. B., et al. Sravnenie dinamicheskikh raschyotnykh modeley pri opredelenii chastot i form sobstvennykh kolebaniy bolsheprolyotnoy stalnoy fermy pokrytiya zdaniya velodroma [Comparison of dynamic computational models in



determining frequencies and forms of natural vibrations of a large-span steel truss the velodrome building roofing] Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2019. № 2. P. 16–25.

5. Khazov P. A., Sankina N. V. Rezonansny analiz konstruktivnykh skhem karkasnogo zdaniya s uchyotom podatlivosti osnovaniya pri vetrovykh i shtormovykh vozdeystviyakh [Resonance analysis of constructive schemes of frame buildings adjusted for compliance of the foundation under wind and storm exposure]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2019. № 3. P. 18 – 27.

6. Erofeev V. I., Nikitina E. A., Khazov P. A., et al. Vliyanie shtormovoy nagruzki na povrezhdyonnost materiala nesuschikh konstruksiy karkasnogo zdaniya [Influence of storm loads on damage of bearing constructions material of a frame building]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2019. № 1. P. 9–15.

7. Gusev A. A., Shumilina L. S., Akatova K. N. Obsledovanie seysmicheskoy opasnosti dlya goroda Petropavlovsk-Kamchatskogo na osnove nabora stsennyykh zemletryaseniy [On the assessment of seismic hazard for the city of Petropavlovsk-Kamchatsky based on a set of scenario earthquakes]. Elektronny naucho-informatsionny zhurnal “Vestnik OGGGGN RAN” [Electronic scientific information journal “Vestnik OGGGGN RAN”. 2005. №1 (23). P. 1–22.

8. Poznyak E. V. Ob otsenke vliyaniya seysmicheskikh rotatsiy na dinamicheskie stroitelnye konstruksii [On the assessment of the effect of seismic rotations on the dynamics of building structures]. Directory. Engineering Journal with app. 2017. № 9 (246). P. 14–23.

9. Newmark N., Rosenblueth E. Osnovy seysmostoynogo stroitelstva [Fundamentals of earthquake engineering]. Per. s angl., pod red. Ya. M. Ayzemberga. – Moscow: Stroyizdat, 1980. – 844p.

10. Pavlenko O. V. Modelirovanie akselerogramm zemletryaseniya 13.11.1993 g. (MW = 7.0, H = 54 km) na seysmostantsiyakh «Petropavlovsk», «Institut vulkanologii» i «Nikolskaya» (g. Petropavlovsk-Kamchatskiy) [Accelerogram modeling of the earthquake of November 13, 1993 (MW = 7.0, H = 54 km) at the seismic stations Petropavlovsk, Institute of Volcanology and Nikolskaya (Petropavlovsk-Kamchatsky)]. Vestnik Kraunts. Seriya “Nauki o zemle” [Herald Kraunz. Earth sciences]. Moscow, 2015. Vyp. № 28, № 4. P. 47–59.

11. Sinitsyn A. P. Prakticheskie metody raschyota sooruzheniy na seysmicheskie nagruzki [Practical methods for calculating structures for seismic loads]. Moscow: Stroyizdat, 1967. – 145p.: il.

12. SP 14.13330.2014 Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh [Construction in seismic areas]. Svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utvezhdyon Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishno-kommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 18.02.14 : data vved. 01.06.14 : [red. ot 23.11.2015]. – Moscow: Standartinform, 2015. 30 p.: il.

© П. А. Хазов, А. А. Генералова, А. Е. Воробьева, 2019

Получено: 24.09.2019 г.

Д. А. ЛАМЗИН, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории динамических испытаний материалов; А. М. БРАГОВ, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр. лаборатории динамических испытаний материалов; А. К. ЛОМУНОВ, д-р физ.-мат. наук, проф., гл. науч. сотр. лаборатории динамических испытаний материалов; А. Ю. КОНСТАНТИНОВ, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. лаборатории динамических испытаний материалов; В. В. НОВИКОВ, д-р физ.-мат. наук, доц., вед. науч. сотр. лаборатории моделирования физико-механических процессов Центра суперкомпьютерного моделирования; М. Е. ГОНОВ, мл. науч. сотр. лаборатории динамических испытаний материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ

Научно-исследовательский институт механики Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского
Россия, 603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 6. Тел.: (831) 465-16-22; факс: (831) 465-60-25; эл. почта: bragov@mech.unn.ru

Ключевые слова: динамика, метод Кольского, хрупкие материалы, диаграмма деформирования, скорость деформации, скорость роста напряжений.

На примере мелкозернистого бетона рассматриваются методические особенности динамических испытаний хрупких материалов с использованием метода Кольского. Приводится сравнение диаграмм деформирования, полученных при использовании формирователя импульсов, процедуры дисперсионного сдвига и без применения этих инструментов.

Хрупкие среды – различные виды бетона, керамики и кирпич – относятся к классу материалов, отклик которых при динамическом нагружении активно изучается (см. например, [1–10] и др.). Инструментом для исследования поведения таких материалов при скоростях деформации 10^2 – 10^3 с⁻¹ является метод Кольского с использованием разрезного стержня Гопкинсона (РСГ) [11] и некоторые его модификации [12–20]. Применение этих методов возможно при соблюдении определенных предпосылок и допущений, ключевыми из которых являются однородность напряженно-деформированного состояния образца и отсутствие дисперсии при распространении волн вдоль мерных стержней. В противном случае динамическая прочность материалов может быть неверно оценена. В последнее время ведутся споры относительно правильности трактовки результатов динамических испытаний хрупких сред [21–23]. Поэтому в представленной статье приведен анализ явлений, возникающих в процессе испытаний хрупких материалов с использованием классического метода Кольского.

Исследование выполнялось на примере мелкозернистого бетона. Эксперименты проводились с использованием формирователя нагружающего импульса – медной таблетки, размещенной на ударяемом торце нагружающего стержня, и без его применения. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием процедуры дисперсионного сдвига импульсов в мерных стержнях, которая основана на прямом решении частотного уравнения Похгаммера – Кри, и без ее применения. На основании сравнения экспериментальных результа-

тов в виде динамических диаграмм деформирования оценивается несоответствие между полученными прочностными свойствами мелкозернистого бетона при использовании формирователя импульсов, процедуры дисперсионного сдвига и без использования этих инструментов.

Методика испытаний

Система РСГ состоит из трех стержней: двух «бесконечно прочных» и «бесконечно длинных» и «мягкого», очень короткого стержня-вставки (образца) между ними. В одном из стержней после воздействия ударника, летящего со скоростью V_0 , возбуждается одномерная упругая волна сжатия $\varepsilon^I(t)$, которая распространяется по стержням со скоростью c . При достижении образца эта волна ввиду разницы площадей поперечных сечений, а также акустических жесткостей с материалов стержня и образца расщепляется: часть ее отражается обратно волной $\varepsilon^R(t)$, а часть проходит через образец во второй стержень волной $\varepsilon^T(t)$. При этом ввиду малости длины образца время прохождения волны вдоль него мало по сравнению с длительностью нагружающего импульса, что приводит к многократному отражению волн и, следовательно, в образце в течение испытания реализуется одноосное напряженное состояние с равномерным распределением напряжений и деформаций по его длине (основная предпосылка метода). Так, при скорости звука в бетоне 4 250–5 250 м/с и длине образца 10 мм время прохождения волны вдоль него составляет 2,35–1,9 мкс, что в несколько десятков раз меньше длительности нагружающего импульса 79,2 мкс при стержнях и ударнике длиной 200 мм из алюминиевого сплава В95 ($c = 5\,050$ м/с). Схема испытания на сжатие по методу Кольского и картина распространения волн в системе РСГ представлены на рис. 1.

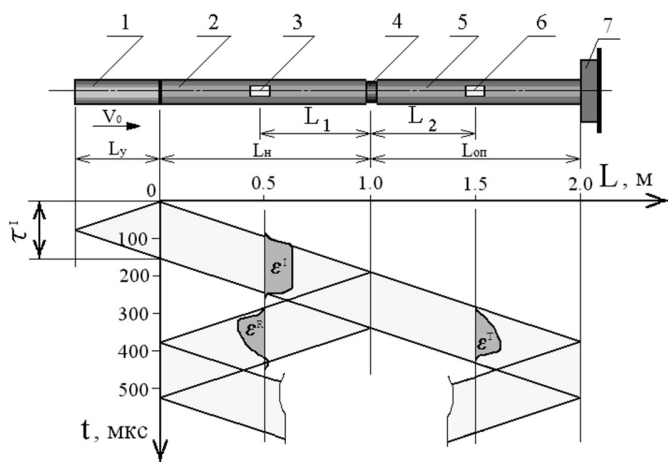


Рис. 1. Схема РСГ: 1 – ударник, 2 – нагружающий стержень, 3 и 6 – тензодатчики, 4 – образец, 5 – опорный стержень, 7 – демпфер

В процессе нагружения образец претерпевает упругопластическую деформацию или разрушение, в то время как стержни деформируются упруго. Амплитуды и формы импульсов деформации мерных стержней $\varepsilon^R(t)$ и $\varepsilon^T(t)$ определяются соотношением акустических жесткостей материалов стержней и образца, а также реакцией материала образца на приложенную динамическую нагрузку. Регистрируя какими-либо датчиками эти упругие волны, удастся по формулам, предложенным впервые Кольским, определить процессы изменения во времени напряжения, де-

формации и скорости деформации в образце. Далее рассмотрим вывод этих формул.

Основные соотношения метода Кольского

При выводе формул сжимающим импульсам, для которых вектор массовой скорости частиц совпадает с направлением распространения волны, присвоен знак плюс. Однако следует помнить, что для отраженного импульса (импульс растяжения) вектор массовой скорости частиц и вектор скорости распространения волны являются противоположно направленными и при вычислении перемещений величину отраженного импульса нужно принимать со знаком минус.

Из одномерной теории распространения упругих волн в полубесконечных стержнях известно, что деформация в волне $\varepsilon(t)$ связана с массовой скоростью dU/dt простым соотношением:

$$\varepsilon^R(t) = \frac{1}{C} \cdot \frac{dU}{dt}, \quad (1)$$

откуда смещение $U(t)$ частиц в волне:

$$U(t) = C \int_0^t \varepsilon(t) \cdot dt. \quad (2)$$

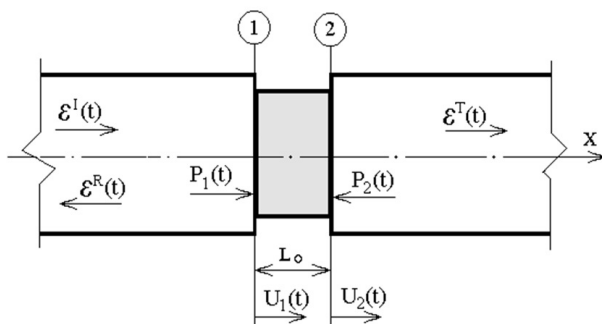


Рис. 2. Схема нагружения образца: 1 – торец нагружающего стержня; 2 – торец опорного стержня

Схема нагружения образца в системе РСГ представлена на рис. 2. На основании формулы 2 можно записать перемещения торцов стержней 1 и 2, примыкающих к образцу. Перемещение левого торца $U_1(t)$ складывается из перемещения $U_1^I(t)$, вызванного распространением импульса $\varepsilon^I(t)$, и перемещения $U_1^R(t)$, вызванного распространением импульса $\varepsilon^R(t)$:

$$U_1(t) = C \int_0^t \varepsilon^I(t) \cdot dt + (-C) \int_0^t \varepsilon^R(t) \cdot dt = C \int_0^t (\varepsilon^I(t) - \varepsilon^R(t)) \cdot dt. \quad (3)$$

Перемещение правого торца $U_2(t)$ вызвано распространением импульса $\varepsilon^T(t)$:

$$U_2(t) = C \int_0^t \varepsilon^T(t) \cdot dt. \quad (4)$$

Средняя относительная техническая деформация образца длиной L_0 будет равна:



$$\varepsilon_s(t) = \frac{U_1(t) - U_2(t)}{L_0} \quad (5)$$

или, если выразить ее через импульсы в стержнях:

$$\varepsilon_s(t) = \frac{C}{L_0} \int_0^t (\varepsilon^l(t) - \varepsilon^R(t) - \varepsilon^T(t)) \cdot dt, \quad (6)$$

отсюда скорость деформации образца $\dot{\varepsilon}_s(t) = d\varepsilon_s/dt$:

$$\dot{\varepsilon}_s(t) = \frac{C}{L_0} \cdot (\dot{\varepsilon}^l(t) - \dot{\varepsilon}^R(t) - \dot{\varepsilon}^T(t)). \quad (7)$$

Для нахождения напряжения в образце следует рассмотреть усилия на торцах образца. Усилие на левом торце $P_1(t)$ складывается из сжимающего усилия $P_1^l(t)$, вызванного импульсом $\varepsilon^l(t)$, и усилия $P_1^R(t)$, вызванного импульсом $\varepsilon^R(t)$, а усилие на правом торце $P_2(t)$ вызвано импульсом $\varepsilon^T(t)$. Тогда с учетом закона Гука (стержни имеют высокий предел упругости и деформируются упруго):

$$P_1(t) = EA(\varepsilon^l(t) - \varepsilon^R(t)). \quad (8)$$

$$P_2(t) = EA\varepsilon^T(t), \quad (9)$$

где E и A – соответственно модуль Юнга и площадь поперечного сечения стержней. Среднее усилие равно:

$$P = \frac{P_1(t) + P_2(t)}{2}, \quad (10)$$

отсюда среднее значение технического напряжения в образце:

$$\sigma_s(t) = \frac{P}{A_0} = \frac{EA}{2A_0} (\varepsilon^l(t) + \varepsilon^R(t) + \varepsilon^T(t)). \quad (11)$$

Здесь A_0 – исходная площадь сечения образца.

Как уже было отмечено, напряженное состояние образца ввиду малой его длины и большой длительности нагружающего импульса практически однородно, поэтому с достаточной точностью можно считать, что силы на торцах образца равны. Отсюда следует соотношение, выражающее основную предпосылку рассматриваемого метода:

$$\varepsilon^l(t) + \varepsilon^R(t) = \varepsilon^T(t). \quad (12)$$

Подставив это выражение в (6), (7) и (11), получим более простые выражения для вычисления напряжения, деформации и скорости деформации в образце, которые обычно используют на практике:

$$\sigma_s(t) = \frac{EA}{A_0} \cdot \varepsilon^T(t). \quad (13)$$

$$\varepsilon_s(t) = -\frac{2C}{L_0} \int_0^t \varepsilon^R(t) \cdot dt. \quad (14)$$

$$\dot{\varepsilon}_s(t) = -\frac{2C}{L_0} \int_0^t \cdot \varepsilon^R(t). \quad (15)$$

Истинная деформация определяется по формуле:



$$\varepsilon_s^{\text{ист}}(t) = \ln(1 - \varepsilon_s(t)), \quad (16)$$

в предположении, что импульс $\varepsilon^R(t)$ отрицательный и, следовательно, $\varepsilon_s(t)$ имеет знак плюс.

Истинное напряжение:

$$\sigma_s^{\text{ист}}(t) = \sigma_s(t) \cdot (1 - \varepsilon_s(t)). \quad (17)$$

Истинная скорость деформации определяется при дифференцировании истинной деформации по времени:

$$\dot{\varepsilon}_s^{\text{ист}}(t) = \frac{d\varepsilon_s^{\text{ист}}(t)}{dt} = \frac{\dot{\varepsilon}_s(t)}{1 - \varepsilon_s(t)}. \quad (18)$$

Исключая из зависимостей $\sigma_s(t)$ и $\varepsilon_s(t)$ время как параметр, строят диаграмму деформирования $\sigma_s(\varepsilon_s)$ при известных условиях нагружения $\dot{\varepsilon}$. Варьируя скорость ударника, получают диаграммы при разных скоростях деформации.

Проверку выполнения основной предпосылки метода Кольского (формула 12) обычно выполняют на основании сравнения суммы падающего и отраженного импульса с прошедшим импульсом, что означает равенство усилий, действующих слева и справа на образец. При испытаниях хрупких сред не всегда получается идеальное совпадение этих величин, и для улучшения ситуации необходимо соблюдать некоторые рекомендации, касающиеся соотношения геометрических размеров образца и использования смазки контактирующих с образцом торцов мерных стержней, а также использовать формирователь нагружающего импульса [24]. Рекомендуемое отношение длины образца к его диаметру составляет 0,3–1,0. При ударе бойка непосредственно по нагружаемому стержню формируется падающий импульс трапециевидальной формы практически постоянной амплитуды. При использовании ударника и нагружающего стержня с одинаковыми акустическими импедансами ρc и площадями поперечных сечений амплитуда и длительность нагружающего импульса определяются по формулам:

$$\varepsilon^I = \frac{V_0}{2c}. \quad (19)$$

$$\tau^I = \frac{2L_y}{c}. \quad (20)$$

Формирователь позволяет получить нагружающий импульс с нарастающей амплитудой, причем чтобы получить нагружающий импульс с ранним началом (точка А на рис. 3) нарастания фронта, материал формирователя должен иметь достаточно низкий предел текучести.

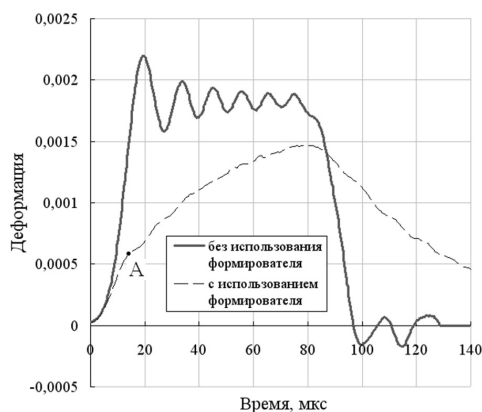


Рис. 3. Нагружающие импульсы, полученные в экспериментах (скорость ударника $V_0 = 19$ м/с)

В представленном исследовании использовался формователь в виде таблетки из меди диаметром 10 мм и длиной 3 мм. При одной и той же скорости ударника амплитуда нагружающей волны при использовании формователя получалась меньшей, чем в случае, когда формователь не применялся (см. рис. 3). Для увеличения скорости деформации необходимо увеличивать скорость ударника, причем значительное увеличение скорости последнего не позволяет значительно повысить скорость деформации в экспериментах.

Обработка экспериментальных данных

При реализации метода Кольского и его модификаций измерение импульсов деформации в мерных стержнях производится на некотором удалении от образца. Датчики на нагружающем мерном стержне, как правило, размещают в его середине для максимизации длительности нагрузки без наложения падающего и отраженного импульсов в точке измерения. Однако для построения диаграммы деформирования требуется информация о процессах на торцах мерных стержней, находящихся в контакте с образцом. При классической обработке данных считается, что в процессе движения по стержню упругие импульсы деформации сохраняют свою форму, а усилия, действующие на торцах стержней, и массовые скорости будут равны усилиям и массовым скоростям, действующим в местах измерения, но с определенным сдвигом во времени. Этот сдвиг (синхронизация импульсов) может осуществляться на величины времени, вычисленные через известные расстояния от образца до тензодатчиков. Регистрация падающего импульса происходит раньше, чем он придет к образцу, поэтому сигнал с тензодатчиков, размещенных на нагружающем стержне, следует сместить на время $\Delta t_1 = L_1 \cdot c$. Регистрация отраженного импульса происходит после его прихода от образца, поэтому для определения величины $\varepsilon^R(t)$ сигнал с тензодатчиков, размещенных на нагружающем стержне, смещаем на $\Delta t_2 = -L_1 \cdot c$. Для определения $\varepsilon^T(t)$ сигнал с тензодатчиков, размещенных на опорном стержне, сдвигаем на $\Delta t_3 = -L_2 \cdot c$. Здесь c – скорость звука в мерных стержнях, а L_1 и L_2 – расстояния от тензодатчиков до торцов мерных стержней (см. рис. 1).

В ряде случаев, например, когда импульс достаточно короткий (что имеет место при испытании с разрушением хрупких образцов), с крутым передним или задним фронтом, предположение о сохранении формы импульса при его движении по мерному стержню может не выполняться, и процедура параллельного



смещения импульса по временной оси может искажать представление о реальных процессах, протекающих в образце. Это связано с эффектом дисперсии, подробно проанализированном в [25]. Суть эффекта дисперсии состоит в том, что составляющие импульса с разной частотой имеют различную скорость движения в направлении оси стержня. Чем выше частота гармоник, тем ниже ее фазовая скорость. Это выражается в том, что форма импульса может меняться по мере его движения по мерному стержню. Таким образом, сигнал, зарегистрированный на некотором удалении от образца, может не вполне корректно отражать процессы, протекающие в самом образце.

Для учета этого эффекта и повышения точности обработки экспериментальных данных применяется процедура дисперсионного сдвига импульсов в мерных стержнях, основанная на решении частотного уравнения Похгаммера – Кри. Описание и экспериментальная проверка процедуры приводятся в [25].

Процедура дисперсионного сдвига волны в стержне осуществляется с использованием прямого и обратного преобразований Фурье следующим образом:

$$\varepsilon_{sh}^I(t) = FFT^{-1} \left[e^{i\xi(\omega) \cdot L_1} \cdot FFT(\varepsilon_m^I(t)) \right]; \quad (21)$$

$$\varepsilon_{sh}^R(t) = FFT^{-1} \left[e^{-i\xi(\omega) \cdot L_1} \cdot FFT(\varepsilon_m^R(t)) \right]; \quad (22)$$

$$\varepsilon_{sh}^T(t) = FFT^{-1} \left[e^{-i\xi(\omega) \cdot L_2} \cdot FFT(\varepsilon_m^T(t)) \right], \quad (23)$$

где $\varepsilon(t)$ – импульс деформации в мерном стержне, верхние индексы I , R и T обозначают падающий, отраженный и прошедший импульсы соответственно, нижние индексы m и sh соответствуют измеренным и сдвинутым сигналам соответственно, L_1 и L_2 – расстояния до тензодатчиков на нагружающем и опорном стержнях, $\xi(\omega)$ – зависимость волнового числа от частоты, которая определяется при решении частотного уравнения Похгаммера – Кри для конкретного мерного стержня (для заданных механических характеристик и геометрических размеров), FFT и FFT^{-1} – операторы прямого и обратного быстрого преобразования Фурье.

Следует отметить, что описанные способы синхронизации импульсов во времени не учитывают процессы распространения волн по образцу. Для уточнения относительного положения падающего, отраженного и прошедшего импульсов на временной оси в настоящей работе вводится дополнительная операция. Суть ее – в одной из основных предпосылок метода Кольского, а именно: в условии динамического равновесия образца в процессе нагружения, которое состоит в равенстве сил, действующих на образец со стороны нагружающего и опорного стержней. Таким образом, расположение импульсов по отношению друг к другу определялось на основе решения оптимизационной задачи, сводящейся к поиску минимальной величины расхождения между суммой нагружающего и отраженного импульсов, которая согласно формуле (8) отвечает за силу, действующую на образец со стороны нагружающего стержня, и прошедшим импульсом, который согласно формуле (9) определяет силу, действующую на образец со стороны опорного стержня. Полученные таким образом импульсы деформации в мерных стержнях приведены на рис. 4 и 5. В первом случае (рис. 4) первый этап синхронизации соответствовал классической схеме. Видно, что на импульсах имеются значительные колебания, а сумма нагружающего и отраженного импульсов неудовлетворительно совпадает с прошедшим импульсом, что не позволяет сделать вывод о состоянии равновесного деформирования образца и ставит под сомнение правильность определения механических характеристик исследуемого хрупкого материала.

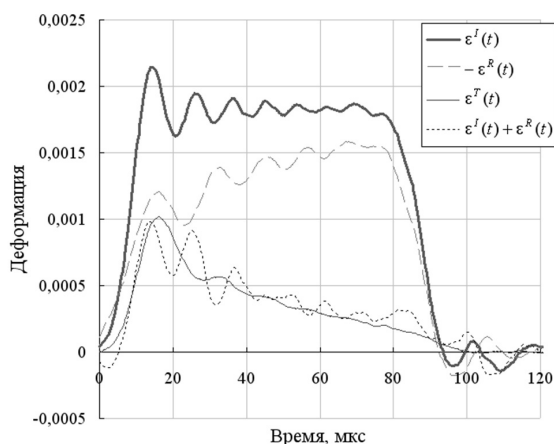


Рис. 4. Импульсы деформации мерных стержней после синхронизации, зарегистрированные в классическом эксперименте

Синхронизированные по времени импульсы деформации мерных стержней с учетом дисперсии приведены на рис. 5. Видно, что на импульсах по-прежнему имеются колебания, но сумма нагружающего и отраженного импульсов очень хорошо совпадает с прошедшим импульсом. Кроме того, амплитуда прошедшей волны после применения процедуры дисперсионного сдвига практически не отличается от амплитуды прошедшего импульса, зарегистрированного в сечении опорного мерного стержня. Поэтому можно сказать, что видимое на основании анализа синхронизированных импульсов деформации мерных стержней неудовлетворительное выполнение основной предпосылки метода Кольского в случае классической обработки опытных данных не сказывается на значении разрушающего напряжения испытываемого материала, которое пропорционально величине прошедшего импульса (см. формулу 13).

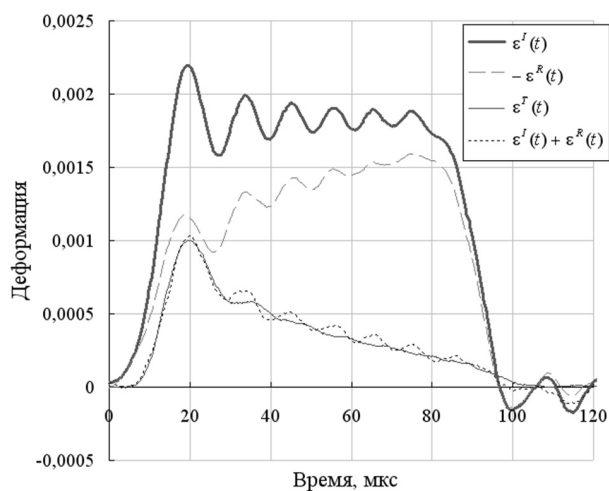


Рис. 5. Импульсы деформации мерных стержней после применения процедуры дисперсионного сдвига и их взаимной синхронизации

Синхронизированные по времени импульсы деформации мерных стержней, полученные в эксперименте с использованием формирователя нагружающего импульса, приведены на рис. 6. Видно, что импульсы намного глаже и не имеют ярко выраженных паразитных колебаний. Сумма нагружающего и отраженного импульсов практически совпадает с прошедшим импульсом и доказывает, что образец находился в состоянии равновесного деформирования.

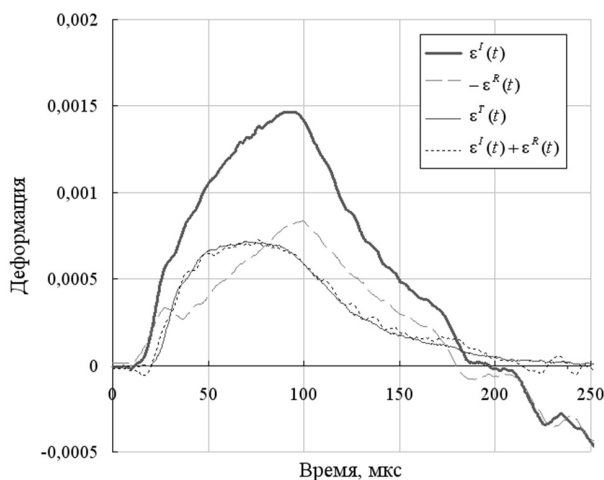


Рис. 6. Импульсы деформации мерных стержней после синхронизации, зарегистрированные в эксперименте при использовании формирователя нагружающего импульса

Для сравнения результатов, полученных при использовании формирователя нагружающего импульса и процедуры дисперсионного сдвига, а также без применения этих инструментов, на рис. 7 приведены средние диаграммы деформирования в осях $\sigma_s(t)$ и истории изменения скорости деформации $\dot{\epsilon}(t)$ в экспериментах. Момент начала разрушения образца определялся как время достижения максимального значения напряжения (на рис. 7а). Видно, что скорость деформации меняется в процессе испытания до разрушения образца (см. рис. 7б) и поэтому в качестве параметра, оценивающего схожесть условий нагружения, лучше принять скорость роста напряжений, которую можно определить как тангенс угла наклона восходящей ветви диаграммы $\sigma_s(t)$. Восходящая ветвь зависимости напряжение-время при использовании формирователя (скорость ударника $V_0 = 61$ м/с) более пологая по сравнению с зависимостью, построенной в эксперименте без его применения (скорость ударника $V_0 = 14$ м/с). Следовательно, скорость роста напряжений была больше в классической схеме испытания. Как видно на рис. 7а, при использовании формирователя нагружающего импульса скорость роста напряжений составляла 5 023 ГПа/с, а без его применения – 7 336 ГПа/с; таким образом, разница составляет 32 %. Тем не менее величины разрушающих напряжений не сильно отличаются друг от друга. Их значения: при классической обработке экспериментальных данных – 75,5 МПа; при использовании процедуры дисперсионного сдвига импульсов – 74,2 МПа; при использовании формирователя – 81,8 МПа. Таким образом, завышения прочности хрупких материалов при классической схеме испытания не происходит, а даже наоборот прочность выше в эксперименте с использованием формирователя нагружающей волны при меньшей скорости роста напряжений. Разница максимальных напряжений при использовании форми-

рователя нагружающего импульса и без его применения составляет только 7,7 %. Поэтому можно сделать вывод о допустимости применения классической схемы испытаний и традиционной обработки данных для хрупких сред.

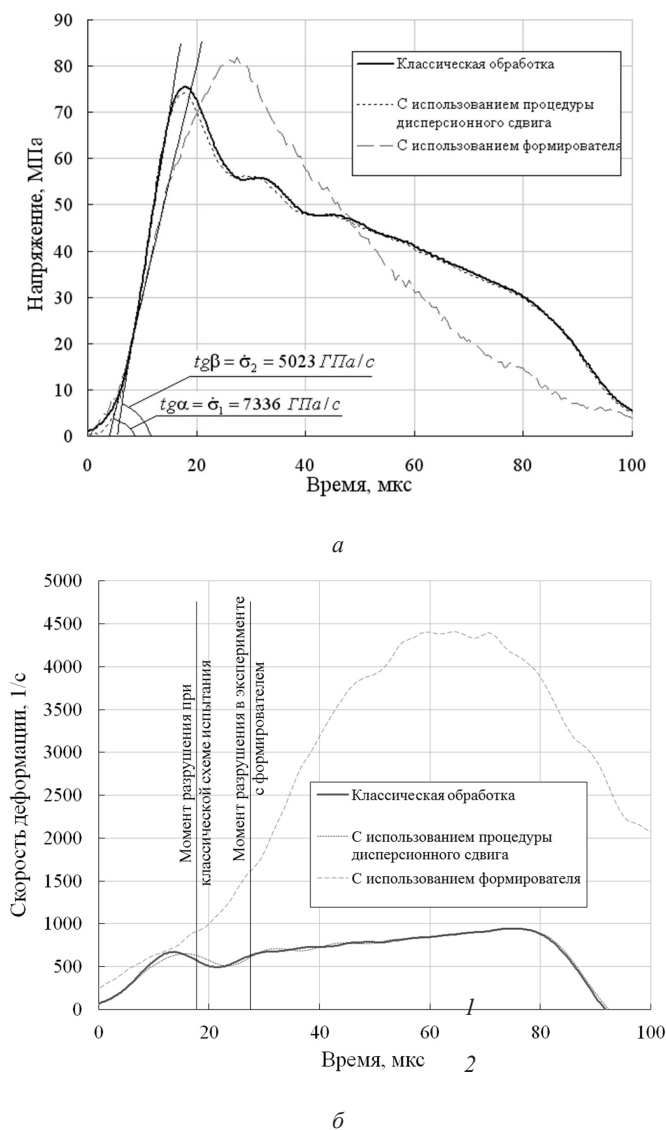


Рис. 7. Диаграммы деформирования мелкозернистого бетона в осях напряжение-время (а) и история изменения скорости деформации (б)

Выводы

При классической обработке данных испытаний хрупких сред, проводимых с использованием метода Кольского, на импульсах могут появляться значительные колебания, а сумма нагружающего и отраженного импульсов неудовлетворительно совпадать с прошедшим импульсом, что ставит под сомнение выполнение основной предпосылки используемого метода. Применение процедуры дисперсионного сдвига позволяет исправить ситуацию и добиться выполнения основной предпо-



сылки метода Кольского, но практически не сказывается на значениях разрушающих напряжений испытываемого материала, которые пропорциональны величине прошедшего импульса. При использовании формирователя импульсы деформации мерных стержней намного глаже и не имеют ярко выраженных паразитных колебаний. Кроме того, сумма нагружающего и отраженного импульсов в случае применения формирователя практически совпадает с прошедшим импульсом и доказывает, что образец находился в состоянии равновесного деформирования. Однако разница разрушающих напряжений при использовании формирователя нагружающего импульса и без его применения составляет не более 10 %, что позволяет сделать вывод о допустимости применения классической схемы испытаний и традиционной обработки экспериментальных данных для хрупких сред.

Экспериментальная часть исследования выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-20161), разработка и реализация процедур обработки экспериментальной информации выполнены при финансировании Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (проект МД-1221.2019.8).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bischoff, P. H. Compressive behaviour of concrete at high strain rates / P. H. Bischoff, S. H. Perry. – Текст : непосредственный // Materials and Structures (MATER STRUCT). – 1991. – № 24. – P. 425–450.
2. Malvar, L. J. Dynamic increase factors for concrete / L. J. Malvar, J. E. Crawford. – Текст : непосредственный // In Proceedings of the 28th DDESB Seminar. – Orlando, 1998.
3. Wang, S. Compressive behavior of plain and fiber-reinforced high-strength concrete subjected to high strain rate loading / S. Wang, M. Zhang, T. Quek. – Текст : непосредственный // Applied Mechanics and Materials (Appl. Mech. Mater.). – 2011. – № 82. – P. 57–62.
4. Динамическое деформирование и разрушение хрупких структурно-неоднородных сред / А. М. Брагов, А. Ю. Константинов, Д. А. Ламзин, А. К. Ломунов, А. Р. Филиппов. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности и пластичности. – 2012. – № 74. – С. 59–67.
5. Xu, H. Semi-empirical equations for the dynamic strength enhancement of concrete-like materials / H. Xu, H. M. Wen. – Текст : непосредственный // International Journal of Impact Engineering. – 2013. – № 60. – P. 76–81.
6. Dynamic strengths and toughness of an ultra high performance fibre reinforced concrete / A. M. Bragov, A. Y. Konstantinov, A. K. Lomunov, Y. V. Petrov, I. V. Smirnov, B. L. Karihaloo, D. A. Lamzin. – Текст : непосредственный // Engineering Fracture Mechanics. – 2013. – № 110. – P. 477–488.
7. Исследование механических свойств мелкозернистого бетона при динамическом нагружении / А. М. Брагов, А. Ю. Константинов, А. К. Ломунов, Д. А. Ламзин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2014. – № 4 (32). – С. 11–21.
8. Исследование энергоемкости мелкозернистых бетонов при динамическом нагружении / А. М. Брагов, А. Ю. Константинов, А. К. Ломунов, Д. А. Ламзин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2015. – № 2 (34). – С. 23–31.
9. Thomas, R. J. Review of strain rate effects for UHPC in tension / R. J. Thomas, A. D. Sorensen. – Текст : непосредственный // Construction and Building Materials. – 2017. – № 153. – P. 846–856.
10. Change of strength of brittle building materials under high strain and stress rates / A. M. Bragov, A. K. Lomunov, D. A. Lamzin, A. Y. Konstantinov. – Текст : непосредственный // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2019. – Vol. 40, № 3. – P. 284–291.
11. Kolsky, H. An investigation of the mechanical properties of materials at very high rates of loading / H. Kolsky. – Текст : непосредственный // Proceedings Physical Society of London

(Section B). – 1949. – № 62. – P. 676–704.

12. Schuler, H. Spall experiments for the measurement of the tensile strength and fracture energy of concrete at high strain rates / H. Schuler, C. Mayrhofer, K. Thoma. – Текст : непосредственный // International Journal of Impact Engineering. – 2006. – № 32. – P. 1635–1650.

13. Brara, A. Experimental characterization of concrete in dynamic tension / A. Brara, J. R. Klepaczko. – Текст : непосредственный // Mechanics of Materials. – 2006. – № 38. – P. 253–267.

14. Belouettar, R. A study of dynamic behavior of the autoclaved aerated concrete / R. Belouettar, J. R. Klepaczko. – Текст : непосредственный // Journal de Physique. – 2009. – IV. – P. 503–509.

15. Исследование механических свойств фибробетона с помощью методики Кольского и ее модификаций / А. М. Брагов, Б. Карихалоо, А. Ю. Константинов, Д. А. Ламзин, А. К. Ломунов. – Текст : непосредственный // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2011. – № 4(1). – С. 123–129.

16. Caverzan, A. Tensile behaviour of high performance fibre-reinforced cementitious composites at high strain rates / A. Caverzan, E. Cadoni, M. Prisco. – Текст : непосредственный // International Journal of Impact Engineering. – 2012. – № 45. – P. 28–38.

17. Xia, K. Dynamic rock tests using split Hopkinson (Kolsky) bar system – a review / K. Xia, W. Yao. – Текст : непосредственный // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2015. – № 7(1). – P. 27–59.

18. Оценка радиальной деформации образца на основе теоретико-экспериментального анализа методики динамических испытаний материалов в жесткой обойме / А. М. Брагов, А. Ю. Константинов, А. К. Ломунов, Д. А. Ламзин, В. В. Баландин. – Текст : непосредственный // Проблемы прочности и пластичности. – 2016. – Т. 78, № 4. – С. 378–387.

19. Модификация метода Кольского для испытаний хрупких материалов на растяжение / А. М. Брагов, А. Ю. Константинов, А. К. Ломунов, Д. А. Ламзин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2016. – № 2 (38). – С. 9–17.

20. A modified Kolsky method for determining the shear strength of brittle materials / A. M. Bragov, A. K. Lomunov, A. Y. Konstantinov, D. A. Lamzin. – Текст : непосредственный // Technical Physics Letters. – 2017. – V. 43, № 1. – P. 130–132.

21. Li, Q. M. About the dynamic strength enhancement of concrete-like materials in a split Hopkinson pressure bar test / Q. M. Li, H. Meng. – Текст : непосредственный // Journal of Solids and Structures. – 2003. – № 40. – P. 343–360.

22. Further investigation on the dynamic compressive strength enhancement of concrete-like materials based on split Hopkinson pressure bar tests. Part I: experiments / M. Zhang, H. J. Wu, Q. M. Li, F. L. Huang. – Текст : непосредственный // Journal of Impact Engineering. – 2009. – № 36. – P. 1327–1334.

23. Li, Q. M. Further investigation on the dynamic compressive strength enhancement of concrete-like materials based on split Hopkinson pressure bar tests. Part II: numerical simulations / Q. M. Li, Y. B. Lu, H. Meng. – Текст : непосредственный // Journal of Impact Engineering. – 2009. – № 36. – P. 1335–1345.

24. Frew, D. J. Pulse shaping techniques for testing brittle materials with a split Hopkinson pressure bar / D. J. Frew, M. J. Forrestal, W. Chen. – Текст : непосредственный // Experimental Mechanics (Exp. Mech.). – 2002. – Vol. 42, № 1. – P. 93–106.

25. Dispersion correction in split-Hopkinson pressure bar: theoretical and experimental analysis / A. M. Bragov, A. K. Lomunov, D. A. Lamzin, A. Y. Konstantinov. – Текст : электронный // Continuum Mechanics and Thermodynamics. – 2019. – URL: <https://doi.org/10.1007/s00161-019-00776-0>.

LAMZIN Dmitry Aleksandrovich, candidate of technical sciences, senior researcher of the laboratory of dynamic tests of materials; BRAGOV Anatoly Mikhaylovich, doctor of technical sciences, professor, chief researcher of the laboratory of



dynamic tests of materials; LOMUNOV Andrey Kirillovich, doctor of physical-mathematical sciences, professor, chief researcher of the laboratory of dynamic tests of materials; KONSTANTINOV Aleksandr Yurevich, doctor of physical-mathematical sciences, senior researcher of the laboratory of dynamic tests of materials; NOVIKOV Valery Vyacheslavovich, doctor of physical-mathematical sciences, associate professor, leading researcher of the laboratory of modeling physical and mechanical processes of the Center of supercomputer modeling; GONOV Mikhail Evgenevich, junior researcher of the laboratory of dynamic tests of materials

METHODICAL ASPECTS OF COMPRESSIVE DYNAMIC TESTS OF BRITTLE MATERIALS

Research Institute of Mechanics, Lobachevsky National State Nizhny Novgorod Research University

23, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 465-16-22; fax: +7 (831) 465-60-25; e-mail: bragov@mech.unn.ru

Key words: dynamics, Kolsky method, brittle materials, deformation curve, strain rate, stress rate.

The article examines methodological features of the dynamic testing of brittle materials using the Kolsky method on the example of fine-grained concrete. A comparison of the deformation diagrams obtained using a pulse shaper, the dispersion shift procedure and without using these tools is given.

REFERENCES

1. Bischoff P. H., Perry S. H. Compressive behavior of concrete at high strain rates. *Mater. Struct.*, 1991, 24, p. 425–450.
2. Malvar L. J., Crawford J. E. Dynamic increase factors for concrete. In *Proceedings of the 28th DDESB Seminar*, Orlando, FL, 1998.
3. Wang S., Zhang M., Quek T. Compressive behavior of plain and fiber-reinforced high-strength concrete subjected to high strain rate loading. *Appl. Mech. Mater.*, 2011, № 82, p. 57–62.
4. Bragov A. M., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A., Lomunov A. K., Filippov A. R. Dinamicheskoe deformirovanie i razrushenie khrupkikh strukturno-neodnorodnykh sred [Dynamic deformation and fracture of brittle structurally heterogeneous mediums]. *Problemy prochnosti i plastichnosti [Problems of Strength and Plasticity]*. 2012, № 74, p. 59–67.
5. Xu H., Wen H. M. Semi-empirical equations for the dynamic strength enhancement of concrete-like materials. *International Journal of Impact Engineering*, 2013, № 60, p. 76–81.
6. Bragov A. M., Konstantinov A. Y., Lomunov A. K., Petrov Y. V., Smirnov I. V., Karihaloo B. L., Lamzin D. A. Dynamic strengths and toughness of an ultra high performance fibre reinforced concrete. *Engineering Fracture Mechanics*, 2013, № 110, p. 477–488.
7. Bragov A. M., Konstantinov A. Yu., Lomunov A. K., Lamzin D. A. Issledovanie mekhanicheskikh svoystv melkozernistogo betona pri dinamicheskom nagruzhении [Study of mechanical properties of fine concrete at dynamic loading]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2014, № 4 (32), p. 11–21.
8. Bragov A. M., Lomunov A. K., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A. Issledovanie energoyomkosti melkozernistyykh betonov pri dinamicheskom nagruzhении [Research of power-consuming of fine concretes at dynamic loading]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2015, № 2 (34), p. 23–31.
9. Thomas R. J., Sorensen A. D. Review of strain rate effects for UHPC in tension. *Construct.*



Building Mater, 2017, № 153, p. 846–856.

10. Bragov A. M., Lomunov A. K., Lamzin D. A., Konstantinov A. Yu. Change of strength of brittle building materials under high strain and stress rates. Lobachevsky Journal of Mathematics, 2019, Vol. 40, № 3, p. 284–291.

11. Kolsky H. An investigation of the mechanical properties of materials at very high rates of loading. Proceedings Physical Society of London, Section B, № 62, 1949, p. 676–704.

12. Schuler H., Mayrhofer C., Thoma K. Spall experiments for the measurement of the tensile strength and fracture energy of concrete at high strain rates. International Journal of Impact Engineering, 2006, № 32, p. 1635–1650.

13. Brara A., Klepaczko J. R. Experimental characterization of concrete in dynamic tension. Mechanics of Materials, 2006, № 38, p. 253–267.

14. Belouettar R., Klepaczko J.R. A study of dynamic behavior of the autoclaved aerated concrete. Journal de Physique IV, 2009, p. 503–509.

15. Bragov A. M., Karihaloo B., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A., Lomunov A. K. Issledovanie mekhanicheskikh svoystv fibrobetona s pomoschyu metodiki Kolskogo i eyo modifikatsiy [Investigation of mechanical properties of fiber reinforced concrete using Kolsky method and its modifications]. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo [Vestnik of Lobachevsky University of Nizhny Novgorod]. 2011, № 4(1), p. 123–129.

16. Caverzan A., Cadoni E., Prisco M. Tensile behavior of high performance fibre-reinforced cementitious composites at high strain rates. International Journal of Impact Engineering, 2012, № 45, p. 28–38.

17. Xia K., Yao W. Dynamic rock tests using split Hopkinson (Kolsky) bar system – a review. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2015, № 7(1), p. 27–59.

18. Bragov A. M., Lomunov A. K., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A., Balandin V. V. Otsenka radialnoy deformatsii obraztsa na osnove teoretiko-eksperimentalnogo analiza metodiki dinamicheskikh ispytaniy materialov v zhyostkoy oboyme [Estimation of radial strain of specimen on the basis of the theoretical and experimental analysis of a technique of dynamic tests of materials in a rigid ferrule]. Problemy prochnosti i plastichnosti [Problems of Strength and Plasticity]. 2016, V. 78, № 4, p. 378–387.

19. Bragov A. M., Lomunov A. K., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A. Modifikatsiya metoda Kolskogo dlya ispytaniy khrupkikh materialov na rastyazhenie [Modification of the Kolsky method for tension tests of brittle materials]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2016, № 2 (38), p. 9–17.

20. Bragov A. M., Lomunov A. K., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A. A modified Kolsky method for determining the shear strength of brittle materials. Technical Physics Letters, 2017, V. 43, № 1, p. 130–132.

21. Li Q. M., Meng H. About the dynamic strength enhancement of concrete-like materials in a split Hopkinson pressure bar test. Int. J. Solids. Struct., 2003, № 40, p. 343–360.

22. Zhang M., Wu H. J., Li Q. M., Huang F. L. Further investigation on the dynamic compressive strength enhancement of concrete-like materials based on split Hopkinson pressure bar tests. Part I: experiments. Int. J. Impact Eng., 2009, № 36, p. 1327–1334.

23. Li Q. M., Lu Y. B., Meng H. Further investigation on the dynamic compressive strength enhancement of concrete-like materials based on split Hopkinson pressure bar tests. Part II: numerical simulations. Int. J. Impact Eng., 2009, № 36, p. 1335–1345.

24. Frew D. J., Forrestal M. J., Chen W. Pulse shaping techniques for testing brittle materials with a split Hopkinson pressure bar. Exp. Mech., 2002, Vol. 42 (№ 1), p. 93–106.

25. Bragov A. M., Lomunov A. K., Lamzin D. A., Konstantinov A. Yu. Dispersion correction in split-Hopkinson pressure bar: theoretical and experimental analysis. Continuum Mechanics and Thermodynamics, 2019. URL: <https://doi.org/10.1007/s00161-019-00776-0>.

© Д. А. Ламзин, А. М. Брагов, А. К. Ломунов, А. Ю. Константинов, В. В. Новиков, М. Е. Гонов, 2019

Получено: 24.09.2019 г.



УДК 691.316+691.421

Д. А. ЛАМЗИН, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории динамических испытаний материалов; А. М. БРАГОВ, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр. лаборатории динамических испытаний материалов; А. К. ЛОМУНОВ, д-р физ.-мат. наук, проф., гл. науч. сотр. лаборатории динамических испытаний материалов; А. Ю. КОНСТАНТИНОВ, д-р физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. лаборатории динамических испытаний материалов; В. В. НОВИКОВ, д-р физ.-мат. наук, доц. вед. науч. сотр. лаборатории моделирования физико-механических процессов Центра суперкомпьютерного моделирования; Д. Т. ЧЕКМАРЕВ, д-р физ.-мат. наук, доц.

УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГОЕМКОСТЬ КИРПИЧА ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Научно-исследовательский институт механики Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского
Россия, 603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 6. Тел.: (831) 465-16-22; факс: (831) 465-60-25; эл. почта: bragov@mech.unn.ru

Ключевые слова: динамика, метод Кольского, силикатный кирпич, керамический кирпич, удельная энергия, скорость деформации.

Представлены результаты экспериментального исследования энергоемкости при динамическом нагружении силикатного и керамического кирпича. Испытания образцов проводились по методу Кольского с использованием разрезного стержня Гопкинсона. Результатом выполненного анализа опытных данных явились графики удельного энергопоглощения при разных режимах нагружения и зависимости энергетических характеристик от скорости деформации для исследованных материалов. Отмечен сходный характер изменения рассмотренных механических свойств для обоих исследуемых материалов и проведено его сравнение с другими хрупкими средами.

Современные фундаментальные научные исследования должны быть направлены на решение конкретных задач в рамках направлений, определенных в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Среди этих направлений выделяют противодействие техногенным угрозам и терроризму, которые являются прямыми источниками опасности для общества и государства. Техногенные или природные катастрофы, а также террористические акты приводят к значительным разрушениям и большому материальному ущербу, не говоря уже о невосполнимых людских потерях. В основе одного из путей решения обозначенных проблем лежат исследования свойств хрупких строительных материалов при изменяющихся во времени ударных воздействиях. Знание поведения материалов и величин их механических свойств при разных видах напряженно-деформированного состояния и скоростях деформации необходимо для достоверного моделирования динамических процессов и прогнозирования наступления предельного состояния конструкций.

К настоящему времени известно большое количество публикаций о поведении хрупких сред при динамическом нагружении. Имеются работы о закономерностях изменения механических свойств при динамическом нагружении различных типов бетона [1–15], фибробетона [12–21], горных пород [12, 15, 22–25], кирпича [12, 14, 26]. Тем не менее в России и за рубежом проводится большое

количество конференций и симпозиумов, на которых обсуждаются проблемы динамической прочности конструкционных материалов, что свидетельствует о наличии нерешенных проблем в обозначенной области. Среди них можно выделить слабо изученные принципы изменения энергетических характеристик в условиях ударных воздействий. Данная работа является продолжением исследования, описанного в [27], которое на основании экспериментальных результатов оценивает энергоемкость двух мелкозернистых бетонов при динамическом нагружении.

Представленная статья раскрывает экспериментально наблюдаемые особенности энергопоглощения силикатного и керамического кирпича при динамическом нагружении. Результатом проведенных по методу Кольского испытаний явились диаграммы деформирования при разных скоростях деформации, которые были использованы для определения удельной энергоемкости исследуемых материалов. Выявлены эмпирические закономерности изменения энергетических характеристик с ростом скорости деформации для двух видов кирпича, которые были отмечены ранее при динамических испытаниях других хрупких сред.

Методика испытаний и используемые образцы

Динамические испытания до разрушения образцов силикатного и керамического кирпича проводились по методу Кольского с использованием разрезного стержня Гопкинсона [27]. При подготовке к испытаниям были выполнены рекомендации, относящиеся к соотношению геометрических размеров образцов и смазке торцов мерных стержней. В процессе обработки опытных данных производилось сравнение суммы падающего и отраженного импульса с прошедшим импульсом, которое показало равенство усилий, действующих слева и справа на образец, и доказало однородность напряженно-деформированного состояния последнего в экспериментах.

Для испытаний были изготовлены цилиндрические образцы диаметром 20 мм и длиной 10 мм из кирпичей марки 150. Технология изготовления образцов включала следующие операции. Сначала на камнерезном станке с алмазным диском от кирпичей отрезались пластины толщиной 10 и 20 мм, а затем на сверлильном станке коронкой с алмазным напылением из этих пластин высверливались цилиндрические образцы для экспериментов. При этом возникали некоторые трудности с изготовлением качественных образцов силикатного кирпича, у которых часто скалывались края при сверлении.

Результаты испытаний

После обработки зарегистрированных в экспериментах импульсов деформации мерных стержней были построены диаграммы деформирования силикатного и керамического кирпича при нескольких режимах нагружения по скорости деформации. Усредненные диаграммы деформирования, полученные при испытаниях силикатного кирпича, показаны на рис. 1а, а полученные при испытаниях керамического кирпича – на рис. 1б. На этом рисунке параллельно с зависимостями $\sigma \sim \epsilon$ (левая вертикальная ось – напряжение), изображенными сплошными линиями, показаны истории изменения скорости деформации $\dot{\epsilon} \sim \epsilon$ (правая вертикальная ось – скорость деформации) пунктирными линиями. Маркеры на кривых соответствуют одному режиму нагружения. Можно сказать, что динамические диаграммы деформирования, полученные в условиях одноосного напряженного состояния экспериментальных образцов, имеют качественно схожий вид для обоих типов кирпича и он подобен виду динамических диаграмм деформирования других хрупких материалов, например, бетона [8, 27]. На первом участке ветви нагружения происходит рост напряжений и деформаций до достижения напряже-

ниями своего предельного значения. После этого диаграмма имеет довольно протяженный участок разрушения, характеризующийся снижением уровня напряжений при росте деформаций.

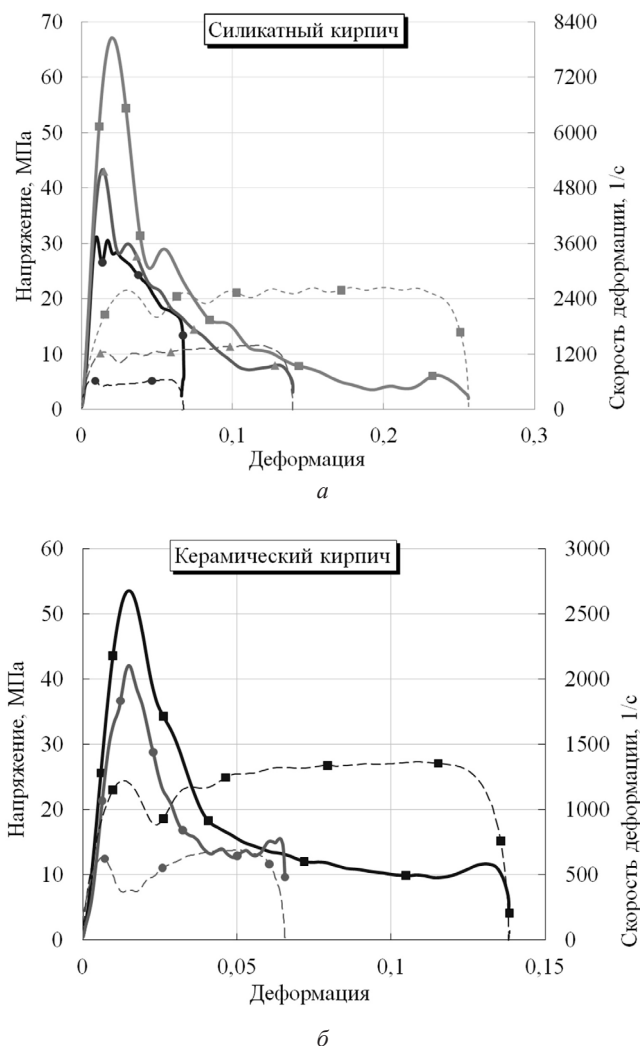


Рис. 1. Диаграммы деформирования силикатного (а) и керамического (б) кирпича при разных скоростях деформации

На основании полученных диаграмм деформирования определялась энергия, затраченная на деформирование единицы объема образцов силикатного и керамического кирпича:

$$E = \frac{A}{V} = \frac{\int_{l_0}^l F(l) \cdot dl}{Sl_0} = \int_0^\varepsilon \sigma(\varepsilon) \cdot d\varepsilon, \quad (1)$$

где A – работа силы F , затраченная на деформирование цилиндрического образца объемом V , имеющего площадь сечения S и начальную длину l_0 .

Графики удельного энергопоглощения, полученные методом численного интегрирования зависимостей $\sigma - \varepsilon$, для нескольких режимов нагружения силикатно-

го кирпича показаны на рис. 2а, а для нескольких режимов нагружения керамического кирпича – на рис. 2б. Форма представления этих графиков аналогична форме представления диаграмм деформирования исследуемых материалов: параллельно с зависимостями $E \sim \epsilon$ (левая вертикальная ось – энергия), отображаемыми сплошными линиями, приведены истории изменения скорости деформации $\dot{\epsilon} \sim \epsilon$ (правая вертикальная ось – скорость деформации) пунктирными линиями. Маркеры на кривых также соответствуют определенному режиму нагружения.

Видно, что зависимости «энергия – деформация» – нелинейные и при увеличении скорости деформации для достижения определенной величины деформации необходимо совершить большую работу. Кроме того, вид кривых энергоемкости для обоих исследуемых материалов качественно одинаков и подобен виду аналогичных кривых для других хрупких сред [27].

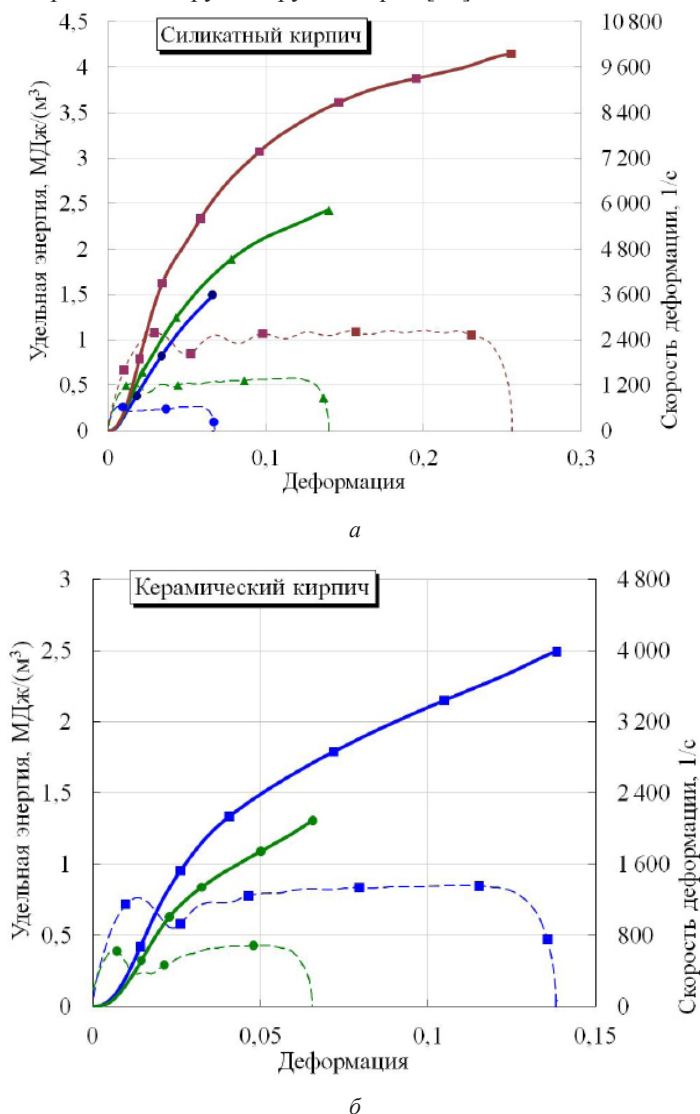


Рис. 2. Графики энергоемкости силикатного (а) и керамического (б) кирпича при разных скоростях деформации

В работе [27] полную энергию E , затрачиваемую в процессе нагружения образца мелкозернистого бетона, представляли в виде суммы двух составляющих $E = E_1 + E_2$. Первое слагаемое E_1 – энергия, которая затрачена на деформирование образца до достижения напряжениями максимального значения, была названа энергией предразрушения. Второе слагаемое E_2 (энергия постразрушения) характеризовало лавинообразный процесс разрушения образца.

Были определены значения вышеописанных энергетических характеристик силикатного и керамического кирпича и построены их зависимости от скорости деформации. Для построения эмпирических зависимостей было принято максимальное значение скорости деформации до начала разрушения в каждом испытании. Эти зависимости для силикатного кирпича приведены на рис. 3, а для керамического кирпича – рис. 4. Видно, что увеличение значений энергетических характеристик с ростом скорости деформации можно описать линейной функцией. Кроме того, увеличение энергопоглощения E в процессе деформирования и последующего разрушения происходит за счет более интенсивного роста энергии постразрушения E_2 по сравнению с ростом энергии предразрушения E_1 . Характер изменения исследуемых свойств с ростом скорости деформации качественно одинаков для двух видов кирпича. Более того, аналогичные закономерности были выявлены при динамических испытаниях мелкозернистых бетонов [27].

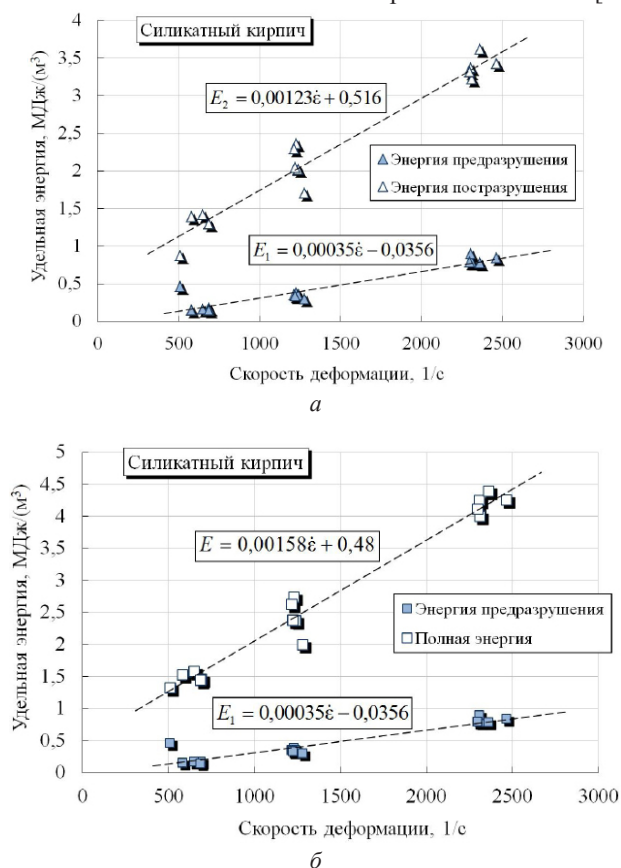


Рис. 3. Влияние скорости деформации на энергетические характеристики силикатного кирпича: сравнение степени роста энергии постразрушения (а) и полной энергии (б) со степенью роста энергии предразрушения

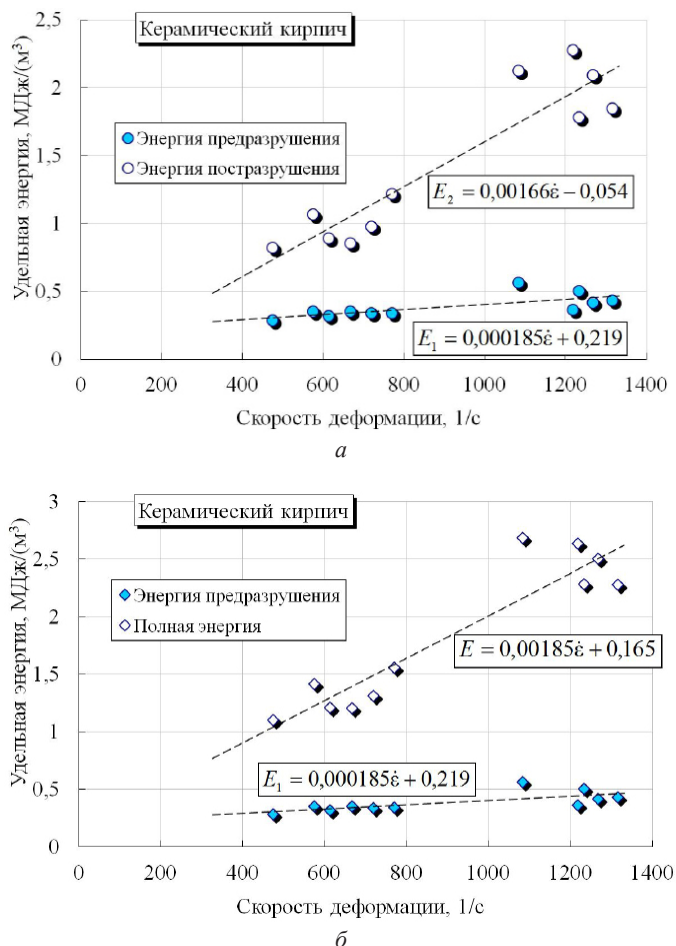


Рис. 4. Влияние скорости деформации на энергетические характеристики керамического кирпича: сравнение степени роста энергии постразрушения (а) и полной энергии (б) со степенью роста энергии предразрушения

Выводы

Полученные при одноосном динамическом сжатии диаграммы деформирования керамического и силикатного кирпича были использованы для оценки их деформационной энергоемкости. Построенные графики удельного энергопоглощения исследуемых сред имели нелинейный вид и показали, что при увеличении скорости деформации необходимо совершить большую работу для достижения определенной величины деформации. Построенные зависимости энергетических характеристик показали линейный рост последних с увеличением скорости деформации, причем рост энергии постразрушения происходит более интенсивно по сравнению с энергией предразрушения. Сходный характер изменения рассмотренных механических свойств был отмечен не только для двух исследуемых материалов, но и для ранее изученных хрупких сред (мелкозернистых бетонов).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-20161).



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Schuler, H. Spall experiments for the measurement of the tensile strength and fracture energy of concrete at high strain rates / H. Schuler, C. Mayrhofer, K. Thoma. – Текст : непосредственный // *International Journal of Impact Engineering*. – 2006. – № 32. – P. 1635–1650.
2. Braga, A. Fracture energy of concrete at high loading rates in tension / A. Braga, J. R. Klepaczko. – Текст : непосредственный // *International Journal of Impact Engineering*. – 2007. – № 34. – P. 1635–1650.
3. Bischoff, P. H. Compressive behaviour of concrete at high strain rates / P. H. Bischoff, S. H. Perry. – Текст : непосредственный // *Materials and Structures (MATER STRUCT)*. – 1991. – № 24. – P. 425–450.
4. Malvar, L. J. Dynamic increase factors for concrete / L. J. Malvar, J. E. Crawford. – Текст : непосредственный // *In Proceedings of the 28th DDESB Seminar*. – Orlando, 1998.
5. Grote, D. L. Dynamic behavior of concrete at high strain-rates and pressures: I. Experimental characterization / D. L. Grote, S. W. Park, M. Zhou. – Текст : непосредственный // *International Journal of Impact Engineering*. – 2001. – № 25. – P. 869–886.
6. Experimental and numerical investigation on the dynamic tensile strength of concrete / H. J. Wu, Q. M. Zhang, F. L. Huang, Q. K. Jin. – Текст : непосредственный // *International Journal of Impact Engineering*. – 2005. – № 32. – P. 605–617.
7. Braga, A. Experimental characterization of concrete in dynamic tension / A. Braga, J. R. Klepaczko. – Текст : непосредственный // *Mechanics of Materials*. – 2006. – № 38. – P. 253–267.
8. Исследование механических свойств мелкозернистого бетона при динамическом нагружении / А. М. Брагов, А. Ю. Константинов, А. К. Ломунов, Д. А. Ламзин. – Текст : непосредственный // *Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – Нижний Новгород, 2014. – № 4 (32). – С. 11–21.
9. Xu, H. Semi-empirical equations for the dynamic strength enhancement of concrete-like materials / H. Xu, H. M. Wen. – Текст : непосредственный // *International Journal of Impact Engineering*. – 2013. – № 60. – P. 76–81.
10. Thomas, R. J. Review of strain rate effects for UHPC in tension / R. J. Thomas, A. D. Sorensen. – Текст : непосредственный // *Construction and Building Materials*. – 2017. – № 153. – P. 846–856.
11. The structural-temporal approach to dynamic and quasi-static strength of rocks and concrete / I. Smirnov, A. Konstantinov, A. Bragov, A. Lomunov, Yu Petrov. – Текст : непосредственный // *Procedia Structural Integrity*. – 2017. – № 6. – P. 34–39.
12. The investigations of the dynamics of fracture of brittle media on the basis of experimental data and theoretical analysis / A. M. Bragov, L. A. Igumnov, B. L. Karihaloo, A. Yu. Konstantinov, D. A. Lamzin, A. K. Lomunov, Yu. V. Petrov, I. V. Smirnov. – Текст : непосредственный // *Procedia Structural Integrity*. – 2017. – № 6. – P. 161–167.
13. Mechanical Response Change in Fine Grain Concrete Under High Strain and Stress Rates. New Achievements in Continuum / F. Dell’Isola, A. M. Bragov, L. A. Igumnov, B. E. Abali, A. K. Lomunov, D. A. Lamzin, A. Yu. Konstantinov. – Текст : непосредственный // *Mechanics and Thermodynamics*. – 2019. – Vol. 108. – P. 71–80.
14. Change of strength of brittle building materials under high strain and stress rates / A. M. Bragov, A. K. Lomunov, D. A. Lamzin, A. Y. Konstantinov. – Текст : непосредственный // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. – 2019. – Vol. 40, № 3. – P. 284–291.
15. Динамическое деформирование и разрушение хрупких структурно-неоднородных сред / А. М. Брагов, А. Ю. Константинов, Д. А. Ламзин, А. К. Ломунов, А. Р. Филиппов. – Текст : непосредственный // *Проблемы прочности и пластичности*. – 2012. – № 74. – С. 59–67.
16. Behavior of steel fiber-reinforced high-strength concrete at medium strain rate / IAO Chujie J, SUN Wei, HUAN Shi, JIANG Guoping. – Текст : непосредственный // *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*. – 2009. – № 3(2). – P. 131–136.
17. Xu, Z. Influence of fibre shapes on dynamic compressive behaviour of fibre reinforced concrete / Z. Xu, H. Hao, H. Li. – Текст : непосредственный // *Applied Mechanics and Materials*. – 2011. – Vol. 82. – P. 112–117.



18. Mechanical characterization of cement composites reinforced with fiberglass, carbon nanotubes or glass reinforced plastic (GRP) at high strain rates / L. Coppola, E. Cadoni, D. Forni, A. Buoso. – Текст : непосредственный // *Applied Mechanics and Materials*. – 2011. – Vol. 82. – P. 190–195.
19. Wang, S. Compressive behavior of plain and fiber-reinforced high-strength concrete subjected to high strain rate loading / S. Wang, M. Zhang, T. Quek. – Текст : непосредственный // *Applied Mechanics and Materials (Appl. Mech. Mater.)*. – 2011. – № 82. – P. 57–62.
20. Dynamic strengths and toughness of an ultra high performance fibre reinforced concrete / A. M. Bragov, A. Y. Konstantinov, A. K. Lomunov, Y. V. Petrov, I. V. Smirnov, B. L. Karihaloo, D. A. Lamzin. – Текст : непосредственный // *Engineering Fracture Mechanics*. – 2013. – № 110. – P. 477–488.
21. Экспериментально-теоретическое исследование динамического деформирования и разрушения фибробетона / А. М. Брагов, Б. Л. Карихалу, Ю. В. Петров, А. К. Ломунов, А. Ю. Константинов, Д. А. Ламзин, И. В. Смирнов. – Текст : непосредственный // *Заводская лаборатория*. – 2014. – Т. 80, № 4. – С. 57–63.
22. Dynamic tensile behaviours of heterogeneous rocks: The grain scale fracturing characteristics on strength and fragmentation / X. F. Li, X. Li, H. B. Li, Q. B. Zhang, J. Zhao. – Текст : непосредственный // *International Journal of Impact Engineering*. – 2018. – № 118. – P. 98–118.
23. Mechanical characterization of rocks at high strain rate / E. Cadoni, A. M. Bragov, M. Dotta, D. Forni, A. Konstantinov, A. Lomunov. – Текст : непосредственный // *The European Physical Journal. Web of Conferences*. – 2012. – Vol. 26. – P. 6.
24. High strain rate response of rocks under dynamic loading using split Hopkinson pressure bar / S. Mishra, H. Meena, V. Parashar, A. Khetwal, T. Chakraborty, V. Matsagar, P. Chandel, M. Singh. – Текст : непосредственный // *Geotechnical and Geological Engineering*. – 2018. – № 36(1). – P. 531–549.
25. Xia, K. Dynamic rock tests using split Hopkinson (Kolsky) bar system – a review / K. Xia, W. Yao. – Текст : непосредственный // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – 2015. – № 7(1). – P. 27–59.
26. Hao, H. Experimental study of dynamic material properties of clay brick and mortar at different strain rates / H. Hao, B. G. Tarasov. – Текст : непосредственный // *Australian Journal of Structural Engineering*. – 2008. – № 8(2). – P. 117–132.
27. Исследование энергоемкости мелкозернистых бетонов при динамическом нагружении / А. М. Брагов, А. Ю. Константинов, А. К. Ломунов, Д. А. Ламзин. – Текст : непосредственный // *Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – Нижний Новгород, 2015. – № 2 (34). – С. 23–31.
28. Kolsky, H. An investigation of the mechanical properties of materials at very high rates of loading / H. Kolsky. – Текст : непосредственный // *Proceedings Physical Society of London (Section B)*. – 1949. – № 62. – P. 676–704.

LAMZIN Dmitry Aleksandrovich, candidate of technical sciences, senior researcher of the laboratory of dynamic tests of materials; BRAGOV Anatoly Mikhaylovich, doctor of technical sciences, professor, chief researcher of the laboratory of dynamic tests of materials; LOMUNOV Andrey Kirillovich, doctor of physical-mathematical sciences, professor, chief researcher of the laboratory of dynamic tests of materials; KONSTANTINOV Aleksandr Yurevich, doctor of physical-mathematical sciences, senior researcher of the laboratory of dynamic tests of materials; NOVIKOV Valery Vyacheslavovich, doctor of physical-mathematical sciences, associate professor, leading researcher of laboratory of modeling physical and mechanical processes of the Center of supercomputer modeling; CHEKMARYOV Dmitry Timofeevich, doctor of physical-mathematical sciences, associate professor



SPECIFIC ENERGY CAPACITY OF BRICK UNDER DYNAMIC LOADING

Research Institute of Mechanics, Lobachevsky National Research Nizhny Novgorod State University

23, Gagarina Ave., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 465-16-22; fax: +7 (831) 465-60-25; e-mail: bragov@mech.unn.ru

Key words: dynamics, Kolsky method, lime-sand brick, ceramic brick, specific energy, strain rate.

The article presents the results of an experimental study of energy capacity of lime-sand and ceramic bricks under dynamic loading. The tests of the samples were carried out according to the Kolsky method using a split Hopkinson pressure bar. The result of the analysis of the experimental data were the graphs of the specific energy absorption at different loading conditions and the dependence of the energy characteristics on the strain rate for the materials under study. A similar nature of the change in the considered mechanical properties for both materials under study was noted, and its comparison with other brittle media was carried out.

REFERENCES

1. Schuler H., Mayrhofer C., Thoma K. Spall experiments for the measurement of the tensile strength and fracture energy of concrete at high strain rates. *International Journal of Impact Engineering*, 2006, № 32, p. 1635–1650.
2. Brara A., Klepaczko J. R. Fracture energy of concrete at high loading rates in tension. *International Journal of Impact Engineering*, 2007, № 34, p. 424–435.
3. Bischoff P. H., Perry S. H. Compressive behavior of concrete at high strain rates. *Materials and Structures*, 1991, № 24, p. 425–450.
4. Malvar L. J., Crawford J. E. Dynamic increase factors for concrete. In *Proceedings of the 28th DDESB Seminar*, Orlando, FL, 1998.
5. Grote D. L., Park S. W., Zhou M. Dynamic behavior of concrete at high strain-rates and pressures: I. Experimental characterization. *Int. J. Impact Engng.*, 2001, № 25, p. 869–886.
6. Wu H. J., Zhang Q. M., Huang F. L., Jin Q. K. Experimental and numerical investigation on the dynamic tensile strength of concrete. *Int. J. Impact. Eng.*, 2005, № 32, p. 605–617.
7. Brara A., Klepaczko J. R. Experimental characterization of concrete in dynamic tension. *Mechanics of Materials*, 2006, № 38, p. 253–267.
8. Bragov A. M., Konstantinov A. Yu., Lomunov A. K., Lamzin D. A. Issledovanie mekhanicheskikh svoystv melkozernistogo betona pri dinamicheskom nagruzhении [Study of mechanical properties of fine concrete at dynamic loading]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2014, № 4 (32), p. 11–21.
9. Xu H., Wen H. M. Semi-empirical equations for the dynamic strength enhancement of concrete-like materials. *International Journal of Impact Engineering*, 2013, № 60, p. 76–81.
10. Thomas R. J., Sorensen A. D. Review of strain rate effects for UHPC in tension. *Construction and Building Materials*, 2017, № 153, p. 846–856.
11. Smirnov I., Konstantinov A., Bragov A., Lomunov A., Petrov Yu. The structural–temporal approach to dynamic and quasi-static strength of rocks and concrete. *Procedia Structural Integrity*, 2017, № 6, p. 34–39.
12. Bragov A. M., Igumnov L. A., Karihaloo B. L., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A., Lomunov A. K., Petrov Yu. V., Smirnov I. V. The investigations of the dynamics of fracture of brittle media on the basis of experimental data and theoretical analysis. *Procedia Structural Integrity*, 2017, № 6, p. 161–167.
13. Dell’Isola F., Bragov A. M., Igumnov L. A., Abali B. E., Lomunov A. K., Lamzin D. A., Konstantinov A. Yu. Mechanical Response Change in Fine Grain Concrete Under High Strain and Stress Rates. *New Achievements in Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 2019, Vol. 108, p. 71–80.



14. Bragov A. M., Lomunov A. K., Lamzin D. A., Konstantinov A. Yu. Change of strength of brittle building materials under high strain and stress rates. *Lobachevsky Journal of Mathematics*, 2019, Vol. 40, № 3, p. 284–291.
15. Bragov A. M., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A., Lomunov A. K., Filippov A. R. Dinamicheskoe deformirovanie i razrushenie khrupkikh strukturno-neodnorodnykh sred [Dynamic deformation and fracture of brittle structurally heterogeneous mediums]. *Problemy prochnosti i plastichnosti [Problems of Strength and Plasticity]*. 2012, № 74, p. 59–67.
16. Chujie JIAO, Wei SUN, Shi HUAN, Guoping JIANG. Behavior of steel fiber–reinforced high–strength concrete at medium strain rate. *Front. Archit. Civ. Eng. China* 2009, № 3(2), p. 131–136.
17. Xu Z., Hao H., Li H. Influence of fibre shapes on dynamic compressive behavior of fibre reinforced concrete. *Applied Mechanics and Materials*, 2011, Vol. 82, p. 112–117.
18. Coppola L., Cadoni E., Forni D., Buoso A. Mechanical characterization of cement composites reinforced with fiberglass, carbon nanotubes or glass reinforced plastic (GRP) at high strain rates. *Applied Mechanics and Materials*, 2011, Vol. 82, p. 190–195.
19. Wang S., Zhang M., Quek T. Compressive behavior of plain and fiber-reinforced high-strength concrete subjected to high strain rate loading. *Applied Mechanics and Materials*, 2011, Vol. 82, p. 57–62.
20. Bragov A. M., Petrov Yu. V., Karihaloo B. L., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A., Lomunov A. K., Smirnov I. V. Dynamic strengths and toughness of an ultra high performance fibre reinforced concrete. *Engineering Fracture Mechanics*, 2013, № 110, p. 477–488.
21. Bragov A. M., Karihaloo B. L., Petrov Yu. V., Lomunov A. K., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A., Smirnov I. V. Eksperimentalno-teoreticheskoe issledovanie dinamicheskogo deformirovaniya i razrusheniya fibrobetona [Experimental and theoretical study of dynamic deformation and fracture of fiber-reinforced]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov [Factory laboratory. Diagnostics of materials.]*. 2014. Vol. 80. № 4. P. 57–63.
22. Li X. F., Li X., Li H. B., Zhang Q. B., Zhao J. Dynamic tensile behaviors of heterogeneous rocks: The grain scale fracturing characteristics on strength and fragmentation. *International Journal of Impact Engineering*, 2018, № 118, p. 98–118.
23. Cadoni E., Bragov A. M., Dotta M., Forni D., Konstantinov A., Lomunov A. Mechanical characterization of rocks at high strain rate. *The European Physical Journal. Web of Conferences*, 2012, Vol. 26, p. 6.
24. Mishra S., Meena H., Parashar V., Khetwal A., Chakraborty T., Matsagar V., Chandel P., Singh M. High strain rate response of rocks under dynamic loading using split Hopkinson pressure bar. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2018, № 36(1), p. 531–549.
25. Xia K., Yao W. Dynamic rock tests using split Hopkinson (Kolsky) bar system – a review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2015, № 7(1), p. 27–59.
26. Hao H., Tarasov B. G. Experimental study of dynamic material properties of clay brick and mortar at different strain rates. *Australian Journal of Structural Engineering*, 2008, № 8(2), p. 117–132.
27. Bragov A. M., Lomunov A. K., Konstantinov A. Yu., Lamzin D. A. Issledovanie energoyomkosti melkozernistykh betonov pri dinamicheskom nagruzhenii [Research of power-consuming of fine concretes at dynamic loading]. *Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]*. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2015, № 2 (34), p. 23–31.
28. Kolsky H. An investigation of the mechanical properties of materials at very high rates of loading. *Proceedings Physical Society of London, Section B*, 1949, № 62, p. 676–704.

© Д. А. Ламзин, А. М. Брагов, А. К. Ломунов, А. Ю. Константинов, В. В. Новиков, Д. Т. Чекмарев, 2019

Получено: 24.09.2019 г.



УДК 528.482(470.341-25)

Ю. Н. РАСКАТКИН, канд. техн. наук, доц. кафедры технологии строительства

О МЕТОДИКЕ И РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ 40-МЕТРОВОЙ МАЧТЫ ОАО НАЗ «СОКОЛ»

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-74;
эл. почта: Raskatkin@mail.ru

Ключевые слова: крен, кривизна, разность диагоналей, секция, скручивание, эксцентриситет.

Показана методика использования «способа направлений» для исследования технического состояния строительных конструкций 40-метровой мачты. Приведены результаты определения: отклонений оси ствола мачты от вертикали; общей кривизны ствола; отклонений секций ствола от вертикали; разности диагоналей поперечного сечения ствола; величины скручивания ствола; эксцентриситета будки привода подъема лифта относительно центра ствола. Приведены формулы оценки точности получаемых результатов. Даны нормативные допуски, акцентировано внимание на местах, где они превышены и перечислены рекомендации для дальнейшей безопасной эксплуатации башни.

40-метровая мачта размещена на территории цеха 49 ОАО НАЗ «Сокол» и имеет размеры в плане на нулевой отметке 1 700×1 700 мм. Она состоит из трех секций: нижней – высотой 12 250 мм, средней – 10 500 мм и верхней – 15 000 мм и служит в качестве стенда для испытаний.

Мачта снабжена грузопассажирским лифтом грузоподъемностью 350 кг. На верху мачты расположена будка высотой 3 000 мм и размерами в плане 4 500×4 500 мм, в которой смонтирован привод подъема лифта. Каждая секция имеет по 4 оттяжки, расположенные по направлению диагоналей поперечного сечения ствола. Объект эксплуатируется с 1963 г. За это время окружающая мачту территория заросла лесом.

В соответствии с требованиями нормативных документов [1, 2] в задачу исследования технического состояния строительных конструкций мачты входило: определение отклонения оси ствола мачты от вертикали; общей кривизны ствола; отклонений секций ствола от вертикали; разности диагоналей поперечного сечения ствола; скручивания ствола; эксцентриситета будки относительно центра ствола.

Из всех возможных способов определения крена высоких сооружений башенного типа [3] наиболее приемлемым для решения поставленных задач является «способ направлений». Он заключается в определении магнитных азимутов на угловые образующие ствола мачты в верхнем, промежуточном и нижнем ее сечениях.

Работы включали в себя рубку просек, закрепление точек T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 (рис. 1), измерение длины базисов 50-метровой компарированной рулеткой, определение отметок конечных точек базисов относительно нулевой отметки мачты путем нивелирования с использованием нивелира Ni025 с самоустанавливающейся визирной осью и 3-метровой рейки РН-3. На рис. 1 показана схема расположения базисов, их длина, магнитные азимуты и отметки каждой базисной точки.

Базисные точки T_2 и T_4 были предназначены для определения вертикальности

оси ствола и его секций путем наблюдения угловых точек мачты (*а*, *б* и *в*) на различных ее ярусах по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Остальные базисные точки использовались для наблюдения угловых точек мачты (в том числе и точки *г*) с таким расчетом, чтобы каждая из них наблюдалась по двум направлениям, по возможности близким к взаимно перпендикулярным.

Определение отклонения оси ствола мачты от вертикали производилось с базисных точек T_2 и T_4 «способом направлений» после приведения монтажного натяжения оттяжек в соответствие с расчетным. С точки T_2 определялись магнитные азимуты на точки *а* и *б*, а с точки T_4 – на точки *б* и *в*. Образец записи и обработки результатов измерений представлен в табл. 1. С каждой станции было осуществлено наблюдение 12 пар таких точек, расположенных на отметках $H_{изм}$, соответствующих крыше и полу будки, монтажным стыкам, местам крепления оттяжек, лестничным площадкам, нулевому горизонту. На вертикальном разрезе мачты (рис. 2) эти пары точек обозначены 1-1', 2-2', 3-3', ..., 12-12'.

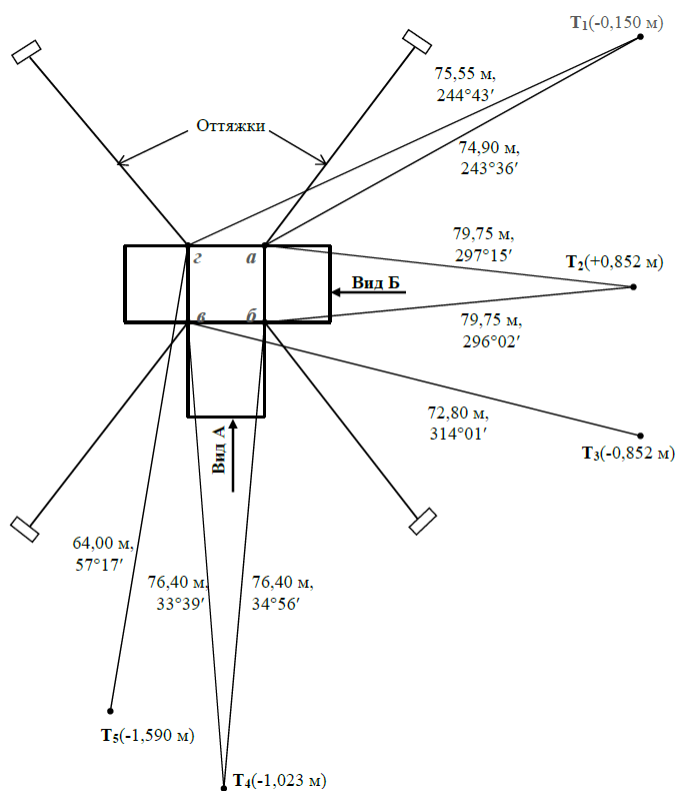


Рис. 1. План нулевого горизонта, схема расположения оттяжек и измерительных базисов

Наблюдения точек каждого сечения производились теодолитом 2Т5К, с использованием ориентир-буссоли, при двух положениях вертикального круга КП и КЛ (стб. 2 табл. 1). Одновременно измерялись углы наклона на наблюдаемые точки (стб. 7). Затем выводились средние отсчеты по горизонтальному кругу на каждую наблюдаемую точку (стб. 3) и вычислялся магнитный азимут на ось ствола мачты (стб. 4).



Таблица 1

Образец записи и обработки «способа направлений»

Номер точки	Отсчет по горизонтальному кругу, градус		Азимут на центр мачты, градус	Δ_i , градус	K_i , мм	Угол на-клона, градус	Примечание
	КП /КЛ	средний					
1	2	3	4	5	6	7	8
Наблюдения с точки T_2							
3	296,037	296,035		0,005	7	24,34	ребро \bar{b}
	116,033		296,656	0,022	31		ось ствола
3'	297,273	297,278		0,039	54	23,48	ребро \bar{a}
	117,282						
12	296,030	296,030		0,000	0	-1,07	ребро \bar{b}
	116,030		296,635	0,000	0		ось ствола
12'	297,239	297,239		0,000	0	-1,07	ребро \bar{a}
	117,239						
Наблюдения с точки T_4							
3	33,633	33,638		-0,025	-34	26,75	ребро \bar{v}
	213,642		34,287	-0,024	-33		ось ствола
3'	34,933	34,936		-0,024	-32	26,67	ребро \bar{b}
	214,938						
12	33,662	33,663		0,000	0	0,42	ребро \bar{v}
	213,663		34,311	0,000	0		ось ствола
12'	34,953	34,959		0,000	0	0,47	ребро \bar{b}
	214,965						

По разностям магнитных азимутов на ось ствола в i -м и нижнем наблюдаемом сечении 12-12' определялся ее крен Δ_i (стб. 5) в угловой мере и по формуле:

$$K_i = 0,49 \times \Delta_i \times 3\,600 \times 0,01 \times L_i, \text{ мм} \quad (1)$$

вычислялись значения частного крена (стб. 6), где знак «плюс» означает крен вправо, а знак «минус» – влево. В этой формуле L_i – расстояние от точки стояния теодолита до мачты в метрах, Δ_i – в градусах.

По значениям K_i построены графики (рис. 2б), характеризующие отклонения оси ствола мачты от вертикали по направлениям, перпендикулярным наблюдаемым по стрелкам **Вид А** и **Вид Б** (рис. 1).

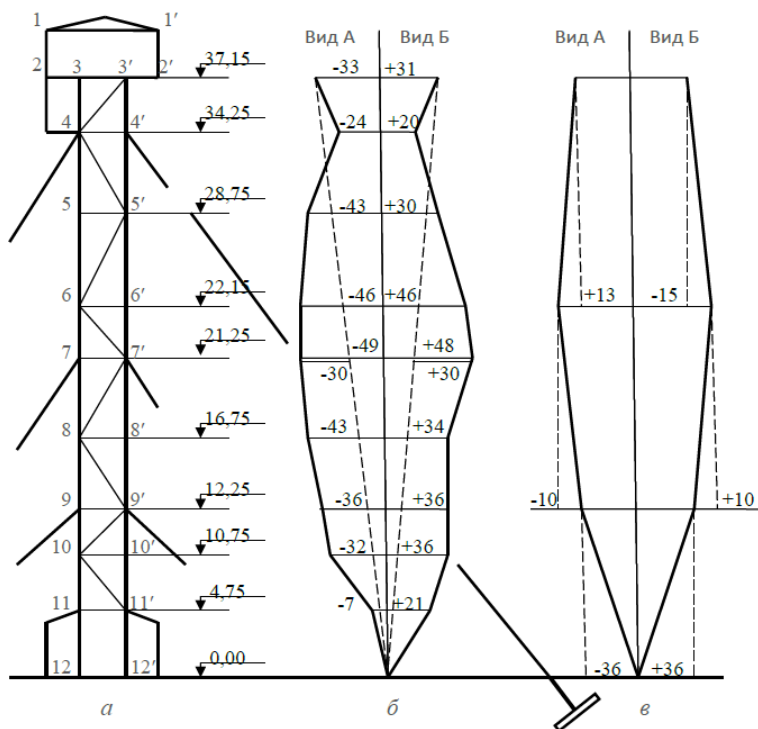


Рис. 2. Башня с наблюдаемыми сечениями (а), графики отклонений от вертикали ее оси (б) и секций (в)

Среднюю квадратическую ошибку (СКО) m_i определения частного крена можно вычислить по формуле:

$$m_i = 0,049 \sqrt{(L^2 m_{\Delta}^2 + \Delta^2 m_L^2)}, \quad (2)$$

где L в метрах, СКО m_{Δ} и Δ в секундах, СКО m_L в мм.

По формуле (2) для значений $L = 50$ и 100 м, $\Delta = 10, 20, 30, \dots, 100$ секунд, $m_{\Delta} = 5$ секунд и $m_L = 5$ мм подсчитаны ошибки частного крена. Результаты вычислений иллюстрируются графиками на рис. 3, из которых видно, что увеличение Δ в 10 раз приводит к увеличению m_i всего на 1 мм.

По формуле (2) можно производить оценку точности определения крена любого высокого сооружения башенного типа.

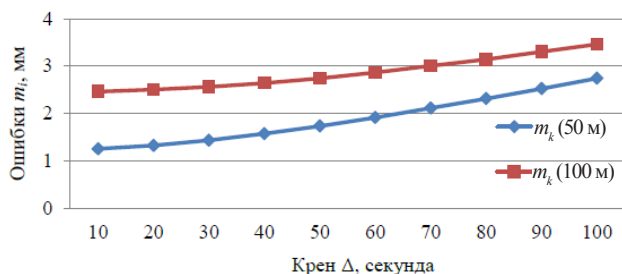


Рис. 3. Графики зависимости m_i от Δ и L для $m_{\Delta} = 5$ секунд и $m_L = 5$ мм

Полное значение крена K ствола мачты и его направление наиболее просто определяется способом перпендикуляров (рис. 4а). Крен также может быть вычислен по формуле:

$$K = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{(K_A^2 + K_B^2 - 2K_A K_B \cos \gamma)}, \quad (3)$$

где γ – угол засечки с двух станций T_2 и T_4 ; K_A и K_B – частные крены верха мачты, мм.

В нашем случае при $\gamma = 360^\circ - (296^\circ - 34^\circ) = 98^\circ$, $K_A = -33$ мм, $K_B = +31$ мм полное значение крена $K = 42$ мм, направление (магнитный азимут) $A_M = 344^\circ$. Таким образом, отклонение оси ствола мачты от вертикали составляет $1/952H$ и превышает допуск $1/1500H$, равный 27 мм, на 15 мм.

Поскольку в «способе направлений» угол γ должен быть равен 90° , то приняв в формуле (3) $K_A = K_B$, можно с незначительной долей приближения определить СКО полного значения крена $m_k = m_{KA} \sqrt{2}$, где m_{KA} вычисляют по формуле (2).

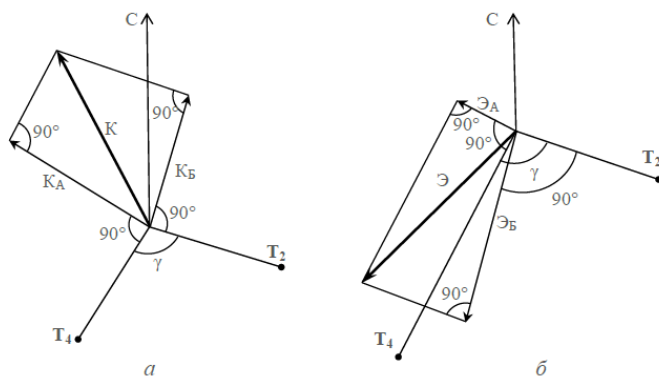


Рис. 4. Схема выполнения способа перпендикуляров для определения крена мачты (а) и эксцентриситета будки (б)

Определение общей кривизны ствола ΔH заключалось в определении максимального отклонения фактического центра ствола в i -м сечении от линии, соединяющей центр верхнего и нижнего поперечных сечений ствола.

На графиках (рис. 2б) такое максимальное отклонение наблюдается на отметке 21,25 м. Оно составляет в обоих взаимно перпендикулярных направлениях 30 мм и не превышает допуска $H/750 = 53$ мм.

Определение отклонений секций ствола от вертикали находили по разностям магнитных азимутов на центр ствола в верхнем и нижнем наблюдаемом сечении секции (табл. 2).



Таблица 2

Образец записи и обработки «способа направлений»

Номер точки	Отсчет по горизонтальному кругу, градус		Азимут на центр мачты, градус	Δ_p , градус	K_p , мм	Угол наклона, градус	Примечание
	КП /КЛ	средний					
1	2	3	4	5	6	7	8
Наблюдения с точки T_2 (Верхняя секция 15,000 м)							
3	296,037	296,035				24,34	
	116,033		296,656	-0,011	-15		ось ствола
3'	297,273	297,278				23,48	
	117,282						
6	296,060	296,063				14,06	
	116,065		296,667	0,000	0		ось ствола
6'	297,273	297,272				14,06	
	117,270						
Средняя секция 10,500 м							
6	296,060	296,063				14,06	
	116,065		296,667	0,007	10		ось ствола
6'	297,273	297,272				14,06	
	117,270						
9	296,047	296,045				7,32	
	116,042		296,660	0,000	0		ось ствола
9'	297,280	297,275				7,32	
	117,270						
Нижняя секция 12,250							
9	296,047	296,045				7,32	
	116,042		296,660	0,025	36		ось ствола
9'	297,280	297,275				7,32	
	117,270						
12	295,888	295,887					
	115,885		296,635	0,000	0	-1,07	ось ствола
12'	297,383	297,383					
	117,382					-1,07	
Наблюдения с точки T_4 (Верхняя секция 15,000 м)							
3	33,633	33,638				26,75	
	213,642		34,287	0,010	13		ось ствола
3'	34,933	34,936				26,67	
	214,938						
6	33,633	33,638				16,8	
	213,643		34,277	0,000	0		ось ствола



Окончание табл. 2

Номер точки	Отсчет по горизонтальному кругу, градус		Азимут на центр мачты, градус	Δ_i , градус	K_i , мм	Угол наклона, градус	Примечание
	КП /КЛ	средний					
1	2	3	4	5	6	7	8
6'	34,913	34,915				16,8	
	214,917						
Средняя секция 10,500 м							
6	33,633	33,638				16,8	
	213,643		34,277	-0,008	-10		ось ствола
6'	34,913	34,915				16,8	
	214,917						
9	33,633	33,638				9,22	
	213,643		34,284	0,000	0		ось ствола
9'	34,927	34,930				9,21	
	214,933						
Нижняя секция 12,250 м							
9	33,633	33,638				9,22	
	213,643		34,284	-0,027	-36		ось ствола
9'	34,927	34,930				9,21	
	214,933						
12	33,512	33,513				0,42	
	213,513		34,311	0,000	0		ось ствола
12'	35,103	35,109				0,47	
	215,115						

Графики, характеризующие отклонения секций ствола мачты от вертикали по направлениям, перпендикулярным наблюдаемым, по стрелке Вид А и по стрелке Вид Б приведены на рис. 2б.

Отклонения верхней секции от вертикали +13 и -15 мм не превышают допуска $h/1000 = 15$ мм (h – высота секции). Отклонения средней секции от вертикали +10 и -10 мм не превышают допуска 10,5 мм. Отклонения нижней секции +36 и -36 мм превышают допуск 12 мм на 24 мм.

Определение разности диагоналей d_1 и d_2 поперечного сечения ствола мачты производилось с крыши лифта с помощью раздвижного жезла. Измерения были выполнены на отметках: 0,00; 12,25; 21,25 и 34,25 м. Разности диагоналей оказались равными соответственно: -2; 0; -5 и -10 мм, и в последнем случае эта разность превосходит допуск $b/500 = 5$ мм на 5 мм (b – сторона поперечного сечения ствола мачты).

Определение скручивания ствола мачты было выполнено путем наблюдения ребер ствола v , z и a с точек T_1 , T_3 и T_5 . Здесь на каждую наблюдаемую точку, как и ранее, выводился средний отсчет. По разности средних отсчетов в i -м и нижнем 12-12' наблюдаемых сечениях вычисляли крен Δ_i в угловой мере и по формуле (1)

определяли значения частных кренов в линейной мере.

Значения частных кренов и диагоналей поперечного сечения ствола мачты были использованы для построения рис. 5.

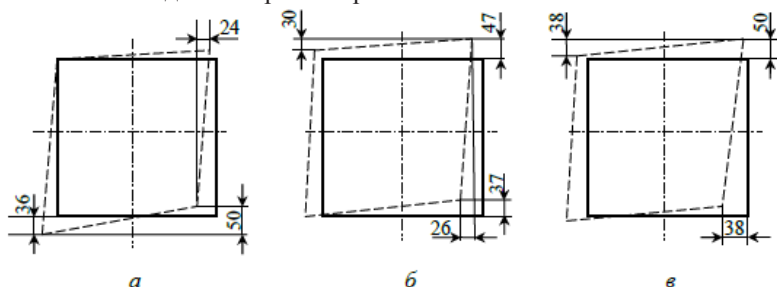


Рис. 5. Схема расположения сечений ствола 4-4' (а), 7-7' (б) и 9-9' (в) относительно нулевого горизонта 12-12' (Вид А)

На рис. 5 сплошной линией показано сечение ствола на нулевом горизонте 12-12', относительно которого определялось положение других сечений, а именно 4-4' на отметке 34,25 м, 7-7' на отметке 21,25 м и 9-9' на отметке 12,25 м. На рис. 5 эти сечения показаны пунктиром и приведены величины отклонений в мм, характеризующие скручивание ствола, которое находится в пределах от 3 до 50 мм.

Определение эксцентриситета будки относительно центра ствола мачты осуществлялось путем измерения теодолитом с базисов T_2 и T_4 магнитных азимутов на точки 1-1', 2-2' и 12-12' в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Результаты измерений были обработаны по изложенной выше методике.

Величина эксцентриситета по направлению, перпендикулярному стрелке Вид Б, составила: для сечения 1-1' $\mathcal{E}_B = -164$ мм, для сечения 2-2' $\mathcal{E}_B = -172$ мм или в среднем для будки $\mathcal{E}_B = -168$ мм (влево). Соответственно, по направлению, перпендикулярному стрелке Вид А, $\mathcal{E}_A = -54$ и -48 мм или в среднем $\mathcal{E}_A = -51$ мм (влево).

По этим данным на рис. 4б построена по способу перпендикуляров схема, показывающая направление (магнитный азимут) и величину результирующего эксцентриситета \mathcal{E} будки, которые оказались равными 231° и 184 мм.

Результаты проведенных исследований, оформленные в виде таблиц, схем, рисунков, приложений и пояснительного текстового материала переданы заказчику. Для дальнейшей безопасной эксплуатации мачты рекомендовано: уточнить степень влияния на ее устойчивость и работу грузопассажирского лифта отмеченных выше превышений нормативов; проверить, не оказывает ли влияние эксцентриситет будки на правильность монтажа привода подъема и его работу; выполнить профилировку стенок лифтовой шахты и направляющих лифта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 22-01-97. Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов (обследование строительных конструкций специализированными организациями) : руководящий документ : утвержден директором института ЦНИИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ им Мельникова от 10.12.1997 г. – Москва, 1997. – 23 с. – Текст : непосредственный.
2. ПБ 03-246-98. Правила проведения экспертизы промышленной безопасности : правила безопасности : утверждены постановлением Федерального горного и промышленного надзора от 06.11.1998 г. № 64 России. – Москва, 1999. – 16 с. – Текст : непосредственный. –



(утратил силу с 01.01.2014 на основании приказа Ростехнадзора от 14.11.2013 № 538).

3. Шеховцов, Г. А. Контроль пространственного положения и формы высоких сооружений башенного типа : монография / Г. А. Шеховцов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. – 214 с. – Текст : непосредственный.

RASKATKIN Yuri Nikolaevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of technology of building

ABOUT THE TECHNIQUE AND RESULTS OF RESEARCH OF TECHNICAL CONDITION OF THE CONSTRUCTION STRUCTURES OF THE 40-METER MAST OF THE JSC “SOKOL”

Nizhny Novgorod Stat University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-74;
e-mail: Raskatkin@mail.ru

Key words: heeling, curvature, diagonal difference, section, twisting, eccentricity.

The article describes the technique of the “referral method” to study technical condition of the building structures of the 40-meter mast. The results of the determination are given: deviation of the axis of the mast trunk from the vertical; total curvature of the trunk; deviation of the trunk sections from the vertical; differences in diagonals of the trunk cross-section; trunk twist values; eccentricity of the elevator lift box relative to the center of the trunk. Regulatory tolerances are given, attention is paid to places where they are exceeded and recommendations are given for further safe operation of the tower.

REFERENCES

1. RD 22-01-97. Trebovaniya k provedeniyu otsenki bezopasnosti ekspluatatsii proizvodstvennykh zdaniy i sooruzheniy podnadzornykh promyshlennykh proizvodstv i obektov (obsledovanie stroitelnykh konstruktsiy spetsializirovannymi organizatsiyami) [Requirements for safety assessment of operation of industrial buildings and structures of supervised industrial production facilities (inspection of building structures by specialized organizations)]: rukovodiyaschiy document : utverzhdyon direktorom institute TsNIIPROEKTSTALKONSTRUKTsIYa im. Melnikova ot 10.12.1997 g., Moscow, 1997, 23 p.
2. PB 03-246-98. Pravila provedeniya ekspertizy promyshlennoy bezopasnosti [Rules for examination of industrial safety]: pravila bezopasnosti : utverzhdeny postanovleniem Federalnogo gornogo i promyshlennogo nadzora ot 06.11.1998 g. № 64 Rossii. Moscow, 1999, 16 p.
3. Shekhovtsov G. A. Kontrol prostranstvennogo polozheniya i formy vysokikh sooruzheniy bashennogo tipa [Control of spatial position and form of high tower-type structures]: monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2018, 214 p.

© Ю. Н. Раскаткин, 2019

Получено: 24.09.2019 г.



УДК 693+528.482

Г. А. ШЕХОВЦОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры геоинформатики, геодезии и кадастра

О СОЗДАНИИ ПЛАНОВОЙ РАЗБИВОЧНОЙ СЕТИ СПОСОБОМ ОБРАТНОЙ ЛИНЕЙНО-УГЛОВОЙ ЗАСЕЧКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 434-05-26;
эл. почта: kaf_ig@nngasu.ru

Ключевые слова: замыкающая, квадратический полигон, обратная линейно-угловая засечка, периметр, полуоси эллипса, радиальная ошибка.

Рассматривается методика оценки точности обратной линейно-угловой засечки (ОЛУЗ) при строительстве зданий повышенной этажности. Методика основана на едином алгоритме, сущность которого заключается в определении периметра и замыкающей квадратического полигона по градиентам измеренных углов и расстояний засечки в зависимости от выбора их весов. Приведены формулы, по которым можно вычислить полуоси эллипса ошибок, радиальную ошибку, ошибки по осям координат. Отмечается, что при любом выборе весов будут получаться одни и те же результаты оценки точности. Выполнено знаковое моделирование, показавшее, что ограничения на величину угла ОЛУЗ в пределах 30–150° не теряют своей актуальности, а наиболее оптимальной схемой засечки является та, где замыкающая полигона равна нулю. Показано, что увеличение количества исходных пунктов более трех практически не приводит к заметному повышению точности ОЛУЗ.

При строительстве зданий повышенной этажности возникает задача создания на монтажных горизонтах плановой разбивочной сети. Для этого в ряде работ предлагается использовать комбинацию прямых и обратных угловых засечек [1], обратную линейно-угловую засечку (ОЛУЗ) [2] или многоярусную цепочку таких ОЛУЗ [3]. Приведена методика анализа точности таких геодезических построений по сложным формулам, содержащим большое количество слагаемых. При этом наблюдается явное несоответствие затрат на оценку точности с объемом получаемой по этим формулам информации. Кроме того, приведенные обобщающие выводы о точности ОЛУЗ, ее конфигурации, необходимом количестве исходных пунктов, основанные лишь на некоторых частных решениях, нуждаются в уточнениях.

В статье приведена простая методика оценки точности любой геодезической засечки, позволяющая в отличие от [1, 3, 4] обосновывать математическую модель каждой частной задачи, в том числе и ОЛУЗ любой конфигурации. Эта методика основана на градиентном способе, позволяющем получать максимум информации о погрешности положения определяемого пункта [5]. Причем в этом способе оценка точности засечки осуществляется с использованием ошибок ее непосредственно измеряемых, а не вычисляемых, как в работе [2], величин. Полученные в статье выводы базируются на результатах выполненного знакового моделирования как простых (однократных), так и многократных ОЛУЗ.

Напомним, что в однократной ОЛУЗ (рис. 1а) для определения прямоугольных координат точки Т измеряют горизонтальный угол β и два расстояния S_1 и S_2 .

В многократной ОЛУЗ, содержащей 3 и более исходных пунктов, определяемая точка Т может находиться вне (рис. 1б) или внутри фигуры, образованной этими пунктами (рис. 1в).

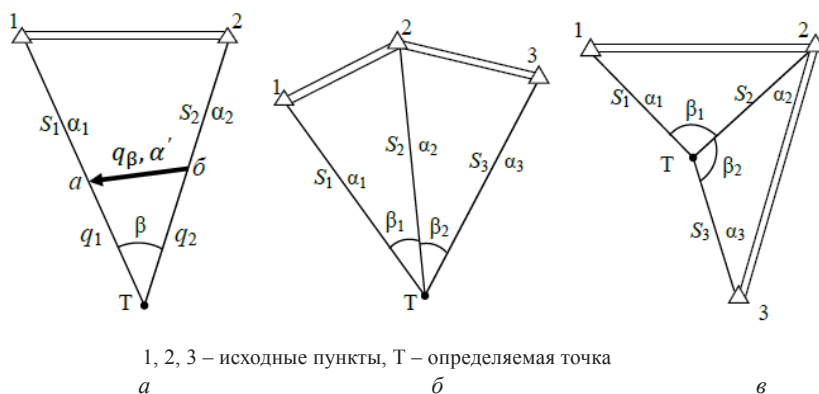


Рис. 1. Однократная (а) и многократные (б, в) обратные линейно-угловые засечки

Градиентный способ оценки точности засечек основан на значениях периметра квадратического полигона П, замыкающей этого полигона q_3 и ее румба $2\varphi'$. По величине П и q_3 можно вычислить практически любые известные в геодезии на данный момент скалярные оценки точности, в том числе большую А и малую В полуоси эллипса ошибок, радиальную ошибку М без учета корреляции и M_K с учетом корреляции, ошибки по осям координат m_x и m_y рассматриваемой засечки [4]:

$$A = \mu \sqrt{\frac{2}{\Pi - q_3}}, \quad B = \mu \sqrt{\frac{2}{\Pi + q_3}}, \quad (1)$$

$$M = 2\mu \sqrt{\frac{\Pi}{\Pi^2 - q_3^2}}, \quad M_K = 2\mu \sqrt{\frac{\Pi + q_3 |\sin 2\varphi'|}{\Pi^2 - q_3^2}}, \quad (2)$$

$$m_x^2 = \frac{2\mu^2}{\Pi^2 - q_3^2} (\Pi + q_3 \cos 2\varphi), \quad m_y^2 = \frac{2\mu^2}{\Pi^2 - q_3^2} (\Pi - q_3 \cos 2\varphi), \quad (3)$$

где μ – ошибка единицы веса; 2φ – дирекционный угол замыкающей, который находят по величине и названию ее румба $2\varphi'$.

В свою очередь, периметр полигона, замыкающую и ее румб $2\varphi'$ применительно к ОЛУЗ можно вычислить по формулам:

$$\Pi = \Sigma p_s + \Sigma p_\beta q_\beta^2, \quad (4)$$

$$q_3^2 = q_y^2 + q_x^2,$$

$$q_y^2 = [p_\beta q_\beta^2 \sin 2\alpha']^2 + [p_s \sin 2\alpha]^2, \quad (5)$$

$$q_x^2 = [p_\beta q_\beta^2 \cos 2\alpha']^2 + [p_s \cos 2\alpha]^2,$$

$$2\varphi' = \arctg \frac{q_y}{q_x}, \quad (6)$$

где p_s и p_β – веса линейных и угловых измерений; α' и α – дирекционные углы



соответственно градиентов q_β и сторон засечки.

Если принять $p_s = 1$, то $p_\beta = \mu^2/m_\beta^2$, а Π и q_s будут безразмерными величинами. Если принять $p_\beta = 1$, тогда $p_s = \mu^2/m_s^2$, а Π и q_s будут иметь размерность $\text{с}^2/\text{мм}^2$. Так, если тахеометр SET 530R/R3 позволяет измерять углы с точностью $m_\beta = 5''$, а длины сторон с точностью $m_s = 3$ мм, то при $p_s = 1$ – ошибка $\mu = 3$ мм, а при $p_\beta = 1$ – ошибка $\mu = 5''$. Обратим внимание, что в обоих случаях выбора весов будем получать одни и те же результаты оценки точности.

Наглядное представление о градиенте q_β угла β (рис. 1а) можно получить, если на сторонах этого угла отложить от точки Т градиенты направлений $q_1 = \rho/S_1$, $q_2 = \rho/S_2$ (где $\rho = 20\,6265''$) и полученные точки a и b соединить. Отрезок ab равен градиенту q_β с дирекционным углом α' , направление которого принимают в сторону того направления, от которого этот угол измеряется.

Градиент q_β и его румб r наиболее просто можно вычислить, используя только дирекционные углы α_1, α_2 и расстояния S_1, S_2 засечки:

$$q_\beta = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_x^2} = \sqrt{(q_{y_2} - q_{y_1})^2 + (q_{x_2} - q_{x_1})^2},$$

$$\begin{aligned} q_{y_1} &= q_1 \sin \alpha_1, & q_{x_1} &= q_1 \cos \alpha_1, \\ q_{y_2} &= q_2 \sin \alpha_2, & q_{x_2} &= q_2 \cos \alpha_2, \end{aligned} \quad (7)$$

$$r = \arctg \frac{\Delta_y}{\Delta_x}, \quad (8)$$

а по величине и названию румба r находят дирекционный угол α' градиента q_β .

Величина градиентов q_s измеряемых расстояний S принимается равной единице, а дирекционные углы градиентов совпадают с дирекционными углами сторон засечки.

С целью установления степени влияния геометрии однократной ОЛУЗ (рис. 1а) на форму и размеры A и B эллипса ошибок и радиальную ошибку M было выполнено соответствующее знаковое моделирование при принятом $p_s = 1$. В качестве модели фигурировал равнобедренный треугольник, в котором измеряемому в точке Т углу β придавались значения от 10 до 170°, а длины сторон принимались равными 50, 100 или 150 м. Результаты вычислений A, B и M по приведенной выше методике при $m_\beta = 5''$ и $m_s = 3$ мм иллюстрируются графиками на рис. 2. На основании этих графиков можно констатировать новые важные свойства ОЛУЗ.

Так, с увеличением угла β величина периметра Π увеличивается, в то время как замыкающая q_z вначале уменьшается почти до нуля (см. рис. 2а, в, д), а затем растет, приближаясь к значению периметра. Однако величина угла засечки и длины ее сторон практически не оказывают влияния на изменения малой полуоси B эллипса ошибок (см. рис. 2б, з, е).

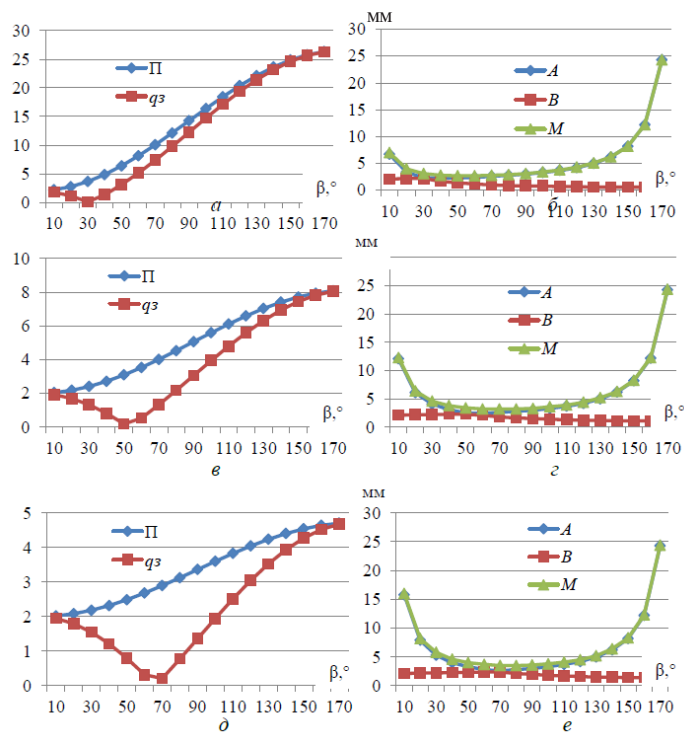


Рис. 2. Графики зависимости Π , q_3 , A , B , M от угла β однократной засечки при длине ее сторон: 50 м (а, б); 100 м (в, г); 150 м (д, е)

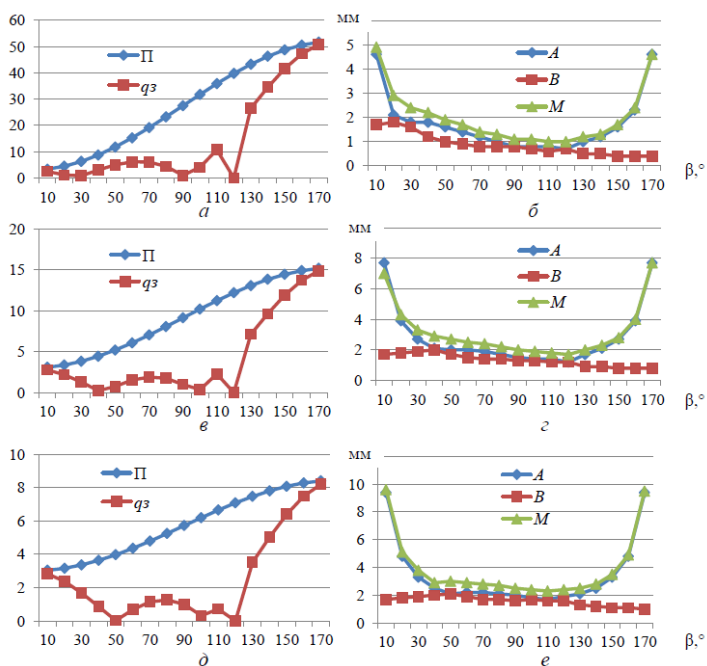


Рис. 3. Графики зависимости Π , q_3 , A , B , M от углов β_1 и β_2 трехкратной засечки при длине ее сторон: 50 м (а, б); 100 м (в, г); 150 м (д, е)



Причем, если $q_s = 0$, то имеет место изотропия, когда эллипс ошибок вырождается в круг радиуса $A = B$, а M принимает минимальное значение (см. рис. 2б, з, е), и имеет место так называемая E -оптимальная засечка. В этом случае формулы (1), (2), (3) примут вид:

$$A = B = m_x = m_y = \mu\sqrt{(2/\Pi)}, \quad (9)$$

$$M = M_K = 2\mu\sqrt{(1/\Pi)}. \quad (10)$$

Отметим также, что существующие ограничения для угловых и линейных засечек ($30^\circ \leq \beta \leq 150^\circ$) не теряют своей актуальности и для ОЛУЗ. Например, чтобы M не превышала 4 мм (при $m_\beta = 5''$, $m_s = 3$ мм) угол однократной засечки со сторонами 50, 100 или 150 м должен находиться в пределах соответственно 20–110°, 40–110° и 50–110° (рис. 2б, з, е).

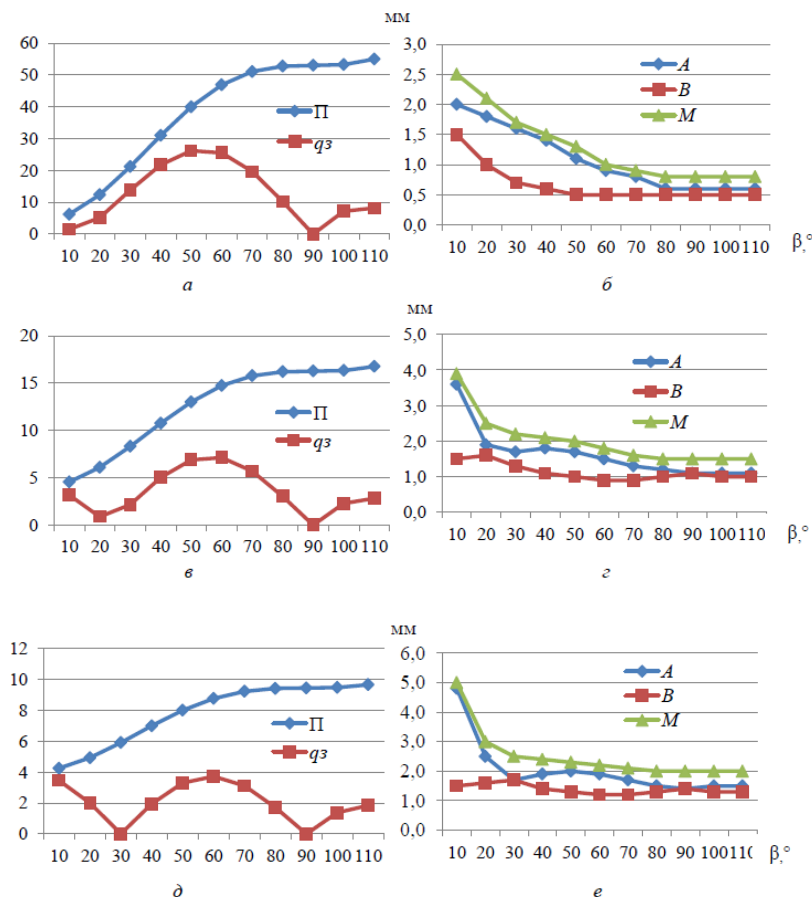


Рис. 4. Графики зависимости Π , q_s , A , B , M от углов β_1 , β_2 и β_3 четырехкратной засечки при длине ее сторон 50 м (а, б); 100 м (в, г); 150 м (д, е)

С целью установления степени влияния геометрии многократной ОЛУЗ на форму и размеры A и B эллипса ошибок и радиальную ошибку M было выполнено соответствующее знаковое моделирование при принятом $p_s = 1$.

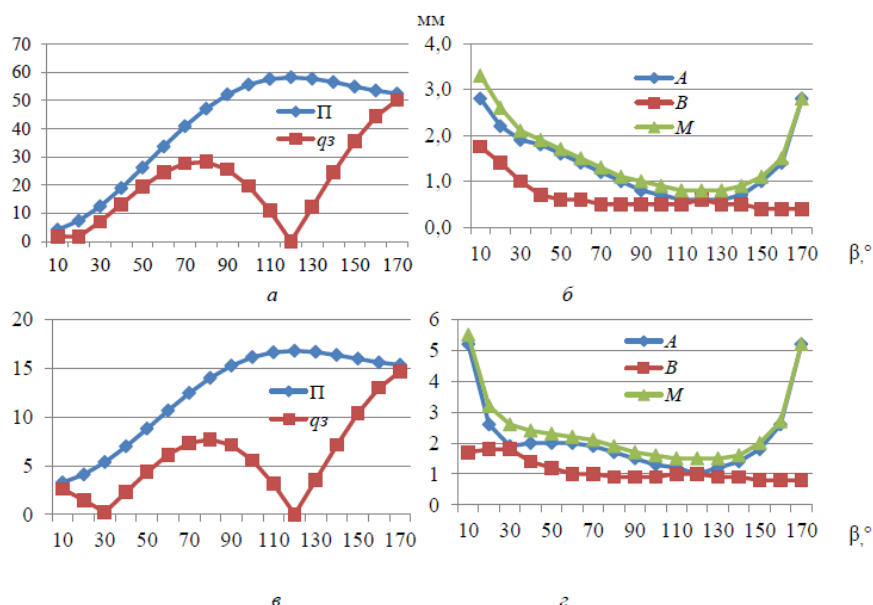
В качестве модели фигурировала многократная засечка (рис. 1б, в), в которой измеряемым в точке Т углам $\beta_1 = \beta_2$ придавались значения от 10 до 170°, а длины сторон $S_1 = S_2 = S_3$ принимались равными 50, 100 или 150 м. Результаты вычислений A , B и M по приведенной выше методике при $m_\beta = 5''$ и $m_s = 3$ мм иллюстрируются графиками на рис. 3. На основании этих графиков можно констатировать следующее.

Как и в однократной ОЛУЗ, с увеличением угла β величина периметра Π увеличивается, в то время как замыкающая q_3 вначале доходит по некоторой кривой до нуля при $\beta_{1,2} = 360^\circ/3 = 120^\circ$ (см. рис. 3а, в, д), а затем растет, приближаясь к значению периметра. Однако величина углов засечки и длина ее сторон, как и в однократной ОЛУЗ, оказывают незначительное влияние на изменения малой полуоси B эллипса ошибок (см. рис. 3б, г, е).

Следует сказать, что если сумма углов $\beta_1 + \beta_2$ меньше или равна 180° , то есть $\beta_{1,2} \leq 90^\circ$, то имеет место внешнее расположение точки Т (рис. 1б). Если эта сумма больше 180° , то есть $\beta_{1,2} > 90^\circ$, то имеем внутреннее расположение точки Т (рис. 1в). В нашем примере (рис. 3б, г, е) какого-либо осязательного различия между A и M до 90° и после 90° не наблюдается. Также не теряют своей актуальности существующие ограничения ($30^\circ \leq \beta \leq 150^\circ$) и в случае многократной ОЛУЗ.

Общеизвестно, что повысить точность определения координат точки Т можно путем увеличения в схеме ОЛУЗ числа исходных пунктов. Однако это не является единственным путем решения задачи.

На рис. 4 представлены графики для модели четырехкратной засечки, в которой измеряемым в точке Т углам $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ придавались значения от 10 до 110° , а длины сторон $S_1 = S_2 = S_3 = S_4$ принимались равными 50, 100 или 150 м. Графики полностью подтверждают ранее сделанные выводы, в том числе и то, что $q_3 = 0$ при $\beta_{1,2,3} = 360^\circ/4 = 90^\circ$, когда M имеет минимальное значение.



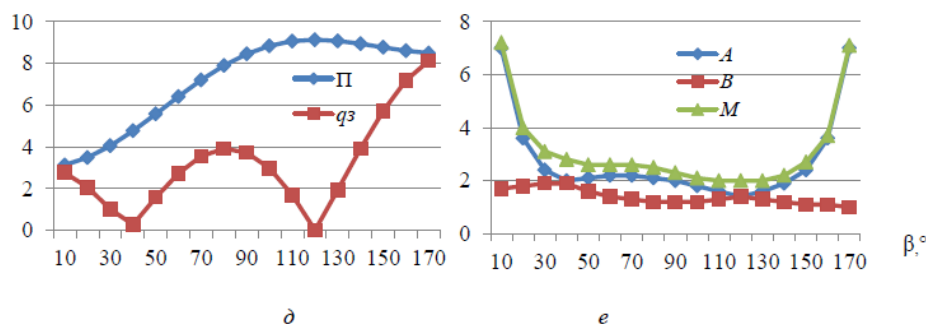


Рис. 5. Графики зависимости Π , q^3 , A , B , M от углов β_1 , β_2 и β_3 трехкратной засечки при длине ее сторон: 50 м (а, б); 100 м (в, з); 150 м (д, е)

Если в трехкратной засечке на рис. 1б, в дополнительно измерить третий угол β_3 , то точность такой засечки при ранее принятых условиях будут характеризовать графики на рис. 5.

Графики полностью подтверждают ранее сделанные выводы, в том числе и то, что $q_3 = 0$ при $\beta_{1,2,3} = 360^\circ/3 = 120^\circ$, когда M имеет минимальное значение.

По значениям M , полученным для трехкратной ОЛУЗ (рис. 5б, з, е) и для четырехкратной (рис. 4б, з, е), были найдены разности Δ между ними для каждого угла засечки и отдельно для длин 50, 100 и 150 м. Результаты такого сравнения иллюстрируются графиками на рис. 6.

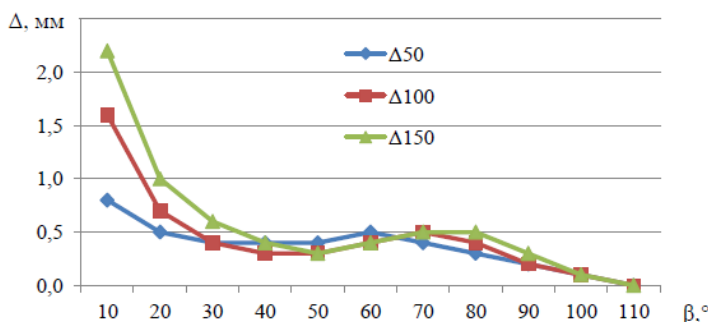


Рис. 6. Графики зависимости разностей Δ от углов β

Рис. 6 наглядно показывает, что, начиная с 30° практически все кривые сливаются в одну. Это говорит о том, что вместо увеличения числа исходных пунктов можно для получения желаемого результата ограничиться, например, дополнительным угловым измерением.

Для установления зависимости величины ошибки определяемой точки T от числа n исходных пунктов, рассмотрим ОЛУЗ, у которой стороны засечки равны между собой и равномерно распределены по азимуту. Если в такой засечке число n измеренных углов β соответствует числу измеренных расстояний S , то формулы (9) и (10) могут быть записаны в виде:

$$A = B = \mu \sqrt{\frac{2}{n(p_s + p_\beta q_\beta^2)}}, \quad (11)$$

$$M = 2\mu \sqrt{\frac{1}{n(p_s + p_\beta q_\beta^2)}}. \quad (12)$$

Если в ОЛУЗ на рис. 1 α число измеренных углов β равно $(n - 1)$, то в этом случае в формулах (11) и (12) знаменатель подкоренного выражения будет равен $np_s + (n - 1)p_\beta q_\beta^2$.

Для этих двух случаев были выполнены по формулам (11) и (12) вычисления для $S = 50, 100, 150, 200$ м и $3 \leq n \leq 10$ при $m_\beta = 5''$, $m_s = 3$ мм и $p_s = 1$, $p_\beta = 0,36$. Результаты вычислений иллюстрируются графиками на рис. 7.

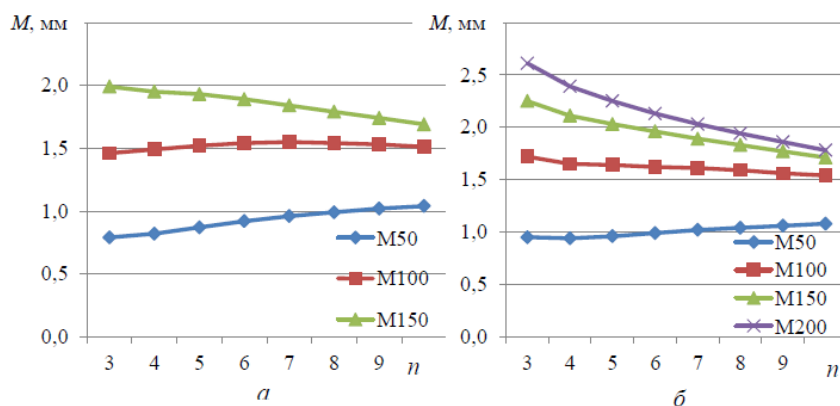


Рис. 7. Графики зависимости ошибки M от числа n исходных пунктов при числе измеренных углов n (а) и $n-1$ (б)

На основании этих графиков можно констатировать, что применительно к ОЛУЗ общепринятый постулат о том, что увеличение числа исходных пунктов всегда ведет к повышению точности определения точки Т, не является безоговорочным. Так, если $m_\beta = 5''$, $m_s = 3$ мм, то при $S = 50$ м наблюдается даже некоторое снижение этой точности. При $S = 100$ м увеличение числа исходных пунктов практически не оказывает влияние на точность определения точки Т. И лишь при $S = 150$ м и более постулат начинает действовать.

В связи с этим непонятно, для какой схемы ОЛУЗ приведена в работе [2]

формула $M = \frac{\mu}{\sqrt{n}}$, где в качестве ошибки единицы веса фигурирует m_s , и что

делать, если μ будет равна m_β . Кроме того, графики на рис. 7 показывают, что увеличение количества исходных пунктов более трех практически не приводит к заметному повышению точности определения точки Т.

Рассмотрим случай, когда два пункта 1 и 2 близко расположены к точке Т, а третий пункт 3 удален, то есть имеет место рекомендуемое в работах [2, 3] так называемое «разноплечие» сторон. Для этого по изложенной выше методике определим ошибки A , B и M при $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 120^\circ$, когда длины сторон S_1 и S_2 равны 50 м, а длина S_3 изменяется от 50 до 400 м. Результаты расчетов иллюстрируются



графиками на рис. 8, которые показывают, что рекомендуемая в работах [2, 3] «целесообразность придерживаться разноплечия измеряемых сторон» проведенным экспериментом не подтверждается.

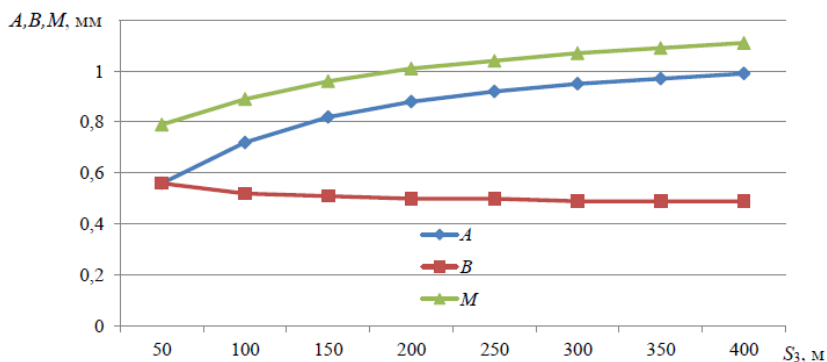


Рис. 8. Графики зависимости ошибок A , B , M при «разноплечии» длин сторон ОЛУЗ

Так, малая полуось B эллипса ошибок вообще не претерпела никаких изменений, а большая полуось A и радиальная ошибка M изменились всего на 0,4 и 0,3 мм соответственно, причем в сторону увеличения, а не наоборот.

Таким образом, базируясь лишь на значениях периметра и замыкающей квадратического полигона, можно без сложных математических выкладок определить практически любые известные в геодезии на данный момент скалярные оценки точности геодезических засечек с любой комбинацией угловых и линейных равноточных или неравноточных измерений. С этой целью в MS Excel составлена программа, в которую достаточно ввести длины сторон ОЛУЗ и их дирекционные углы и получить любую информацию о точности рассматриваемой засечки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключин, Е. Б. Создание плановой разбивочной сети на монтажном горизонте при строительстве зданий повышенной этажности / Е. П. Власенко, Заки Мохамед Зейдан Эль-Шейха. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Сер. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2009. – № 5. – С. 48–54.
2. Горяинов, И. В. О наилучшей конфигурации обратной линейно-угловой засечки и необходимом количестве пунктов для достижения заданной точности / И. В. Горяинов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Сер. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2016. – № 4. – С. 41–47.
3. Зайцев, А. К. Исследование точности передачи координат и высот на монтажные горизонты построением сети обратных линейно-угловых засечек / А. К. Зайцев, И. В. Горяинов, А. А. Шевчук. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Сер. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2018. – № 4. – С. 271–276.
4. Noremuz, M. Optimum establishment of total station / M. Noremuz, P. Jansson. – Текст : непосредственный // Journal of Surveying Engineering. – 2017 (May). – Vol. 143, Is. 2. – P. 1–8.
5. Шеховцов, Г. А. Единый алгоритм уравнивания, оценки точности и оптимизации геодезических засечек : монография / Г. А. Шеховцов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ. – 2017. – 123 с. – Текст : непосредственный.



SHEKHOVTSOV Gennady Anatolevitch, doctor of technical sciences, professor of the chair of geoinformatics, geodesy and cadastre

ABOUT BUILDING A PLANNED CENTER NETWORK BY MEANS OF INVERSE LINEAR-ANGULAR NOTCHES IN CONSTRUCTION OF HIGH- RISE BUILDINGS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 434-05-26;
e-mail: kaf_ig@nngasu.ru

Key words: closing, quadratic polygon, inverse linear and angular notch, perimeter, semi-axes of ellipse, radial error.

The article considers methods of estimating the accuracy of the inverse linear-angular serif (OLUZ) in the construction of high-rise buildings. The technique is based on a single algorithm, the essence of which is to determine the perimeter and the closing of a quadratic polygon by the gradients of measured angles and distances of the notch, depending on the choice of their weights. Formulas to calculate the semi-axes of error ellipse, radial error; error on the axes are given. It is noted that at any choice of weights the same results of accuracy assessment will be obtained. The sign modeling has shown that the restrictions on the value of the angle of OLUZ within 30°...150° do not lose their relevance, and the most optimal scheme of serif is the one where the closing polygon is zero. It is shown that the increase in the number of starting points above three practically does not lead to a noticeable increase in the accuracy of the OLUZ.

REFERENCES

1. Klyushin E. B., Vlasenko E. P., Zaki Mokhamed Zeydan El-Sheykha. Sozdanie planovoy pазbivochnoy seti na montazhnom gorizonte pri stroitelstve zdaniy povyshennoy etazhnosti [Creation of a planned center network on the installation horizon in the construction of high-rise buildings]. Izvestiya vuzov. Ser. "Geodeziya i aerofotosyomka" [News of Higher Education Institutions. Geodesy and Air Photography]. 2009, № 5, p. 48–54.
2. Goryainov I. V. O nailuchshey konfiguratsii obratnoy lineynouglovoy zasechki i neobkhodimom kolichestve punktov dlya dostizheniya zadannoy tochnosti [On the best configuration of the inverse linear-angular serif and the required number of points to achieve a given accuracy]. Izvestiya vuzov. Ser. "Geodeziya i aerofotosyomka" [News of Higher Education Institutions. Geodesy and Air Photography]. 2016, № 4, p. 41–47.
3. Zaytsev A.K., Goryainov I.V., Shevchuk A.A. Issledovanie tochnosti peredachi koordinat i vysot na montazhnye gorizonty postroeniem seti obratnykh lineynouglovykh zasechek [Investigation of the accuracy of transmission of coordinates and heights to the mounting horizons by constructing a network of inverse linear-angular serifs]. Izvestiya vuzov. Ser. "Geodeziya i aerofotosyomka" [News of Higher Education Institutions. Geodesy and Air Photography]. 2018, № 3, p. 271–276.
4. Horemuz M., Jansson P. Optimum establishment of total station // Journal of Surveying Engineering. May 2017. Vol. 143. Is. 2. P. 1–8.
5. Shekhovtsov G. A. Ediny algoritm uravnivaniya, otsenki tochnosti i optimizatsii geodesicheskikh zasechek [Unified algorithm for adjustment, accuracy estimation and optimization of geodetic serifs]: monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod: NNGASU. 2017, 123 p.

© Г. А. Шеховцов, 2019

Получено: 26.09.2019 г.



УДК 624.04:539.3:514.74

С. Н. КРИВОШАПКО, д-р техн. наук, проф. департамента строительства
Инженерной академии

УПРОЩЕННЫЙ КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Российский университет дружбы народов»

Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Тел.: (495) 955-02-28; эл. почта: sn_krivoshapko@mail.ru

Ключевые слова: оболочка вращения, критерий оптимальности, напряженно-деформированное состояние, вариационно-разностный метод.

Критерий оптимальности – признак, на основании которого производится сравнительная оценка возможных альтернатив и выбор наилучшего решения. В простейшем случае задача оптимизации состоит в поиске минимального или максимального значения функции путем выбора ее в рамках поставленных ограничений. Это довольно сложная математическая задача. Предлагается упрощенный критерий оптимальности для оболочек вращения, который назван «Минимальные нормальные напряжения в оболочках вращения с одинаковыми габаритными размерами, граничными условиями и внешней нагрузкой».

Введение

Для рассмотрения берутся несколько оболочек вращения, срединные поверхности которых образуются выпуклыми или вогнутыми в одну сторону меридианами. Выбираются константы в параметрических уравнениях поверхностей таким образом, чтобы получить одинаковые габаритные размеры оболочек. Затем определяют параметры НДС отобранных оболочек, строят соответствующие эпюры перемещений, изгибающих моментов, нормальных и поперечных сил, вычисляют максимальные нормальные напряжения в соответствующих сечениях. Затем находят из них минимальные значения, и эта оболочка считается оптимальной. При необходимости можно использовать дополнительную оптимизацию выбранной формы оболочки вращения, применяя дополнительно некоторые известные критерии из 24 известных.

В работе [1] перечисляются 24 критерия оптимальности оболочек вращения при учете их статической и динамической прочности, устойчивости, соотношения геометрических параметров, объема материалов, стоимости и веса. Принцип оптимальности заимствован из математического программирования и теории управления. В простейшем случае задача оптимизации состоит в поиске минимального или максимального значения функции путем выбора ее в рамках поставленных ограничений. Как отмечают Н. И. Абрамов и В. Т. Александров [2]: «Алгоритмы и программные средства в основном посвящены решению классических оптимизационных задач (в чисто математической постановке) и не учитывают реальных проектных требований, конструктивных ограничений и положений СНиП». Трудность заключается не только в том, какие принципы положить в основу оптимального проектирования конструкций, но и в том, как формализовать их сущность на математической основе, т. е. как задать критерий оптимальности на языке, понятном ЭВМ [3]. Таким образом, применение критериев оптимальности в чисто математической постановке вызовет довольно большие трудности в его реализации у простых инженеров-проектировщиков. В этом случае можно использовать

упрощенный выбор оптимальной оболочки вращения, состоящий из трех этапов.

Первый этап упрощенного выбора оптимальной формы оболочки вращения

В данной статье предлагается разбить упрощенный выбор оптимальной оболочки вращения на два этапа. Первый этап будет состоять в выборе формы оболочки, срединную поверхность которой можно будет задать аналитическими формулами, тем более в настоящее время известны более 600 аналитических поверхностей, и можно предварительно выбрать для рассмотрения несколько форм поверхностей с одинаковыми базовыми размерами на любой вкус и для любых поставленных целей. Выбор оптимальной по первому этапу формы оболочки следует проводить на основании сравнения результатов статического или динамического расчета или на основании других критериев, которые являются наиболее важными для конкретного случая. Здесь рекомендуется использовать типовые компьютерные программы.

Например, в статье [4] рассматриваются на первом этапе 5 видов оболочек вращения отрицательной гауссовой кривизны с одинаковыми размерами оснований, верхних отверстий, толщины и высоты оболочек (рис. 1). Как видно из рисунка, они внешне практически не отличаются друг от друга. Но как показал статический расчет на линейную нагрузку, распределенную по верхнему краю оболочки, значения внутренних усилий и моментов отличаются значительно. Статический расчет проводился вариационно-разностным методом.

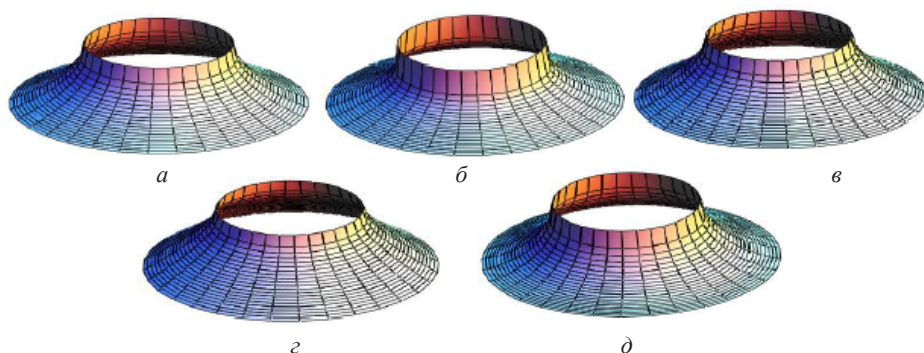


Рис. 1. Пять типов поверхностей вращения отрицательной гауссовой кривизны: *а* – катеноид; *б* – поверхность вращения параболы четвертого порядка; *в* – поверхность вращения параболы второго порядка; *г* – однополостный гиперболоид вращения; *д* – глобоид

Предлагаемый метод выбора оптимальной оболочки вращения был апробирован на шести типах куполов при действии нагрузки типа собственного веса (рис. 2). Результаты расчета показали, что лучшими показателями обладает параболический купол (рис. 2*а*) и купол с меридианом в виде цепной линии (рис. 2*е*). Статический расчет проводился вариационно-разностным методом. Для проверки полученных результатов применялся также МКЭ, используемый в программе СКАД.

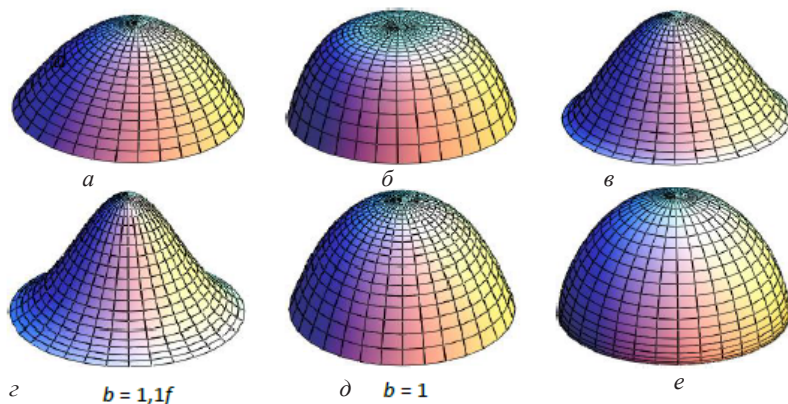


Рис. 2. Шесть типов поверхностей вращения положительной и знакопеременной гауссовой кривизны: *a* – параболоид вращения; *б* – параболоид вращения четвертого порядка; *в* – поверхность вращения «Блюдце» (“Soucouroid”); *г* – поверхность вращения кривой $z = b \exp(-a^2 x^2)$ вокруг оси Oz ; *д* – поверхность вращения кривой $z = -a \operatorname{ch}(x/b)$ вокруг оси Oz ; *е* – обтекатель циклоидального типа (“Fairing of cycloidal type”)

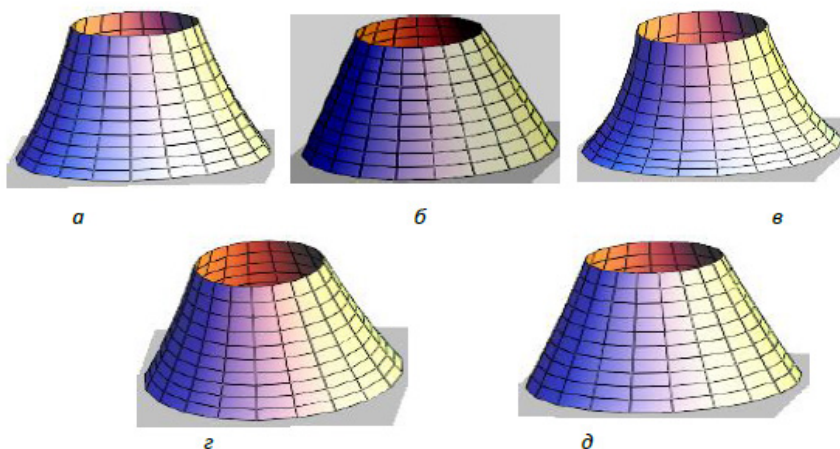


Рис. 3. Пять видов поверхностей вращения: *a* – псевдосфера; *б* – конус; *в* – меридиан – гиперболы $z = b/x$; *г* – меридиан – астроида; *д* – однополостный гиперболоид вращения

Иногда полезно сравнить известные поверхности вращения с редко используемыми, как это сделано в работе [5], где при помощи вариационно-разностного метода определено напряженно-деформированное состояние пяти видов оболочек вращения с одинаковыми базовыми размерами при их загрузке одинаковой распределенной поверхностной нагрузкой (рис. 3). В последнее время оболочки вращения нетипичных форм привлекают все большее внимание исследователей. Они хотят выяснить их достоинства или недостатки в сравнении с широко используемыми и уже привычными оболочками вращения [5, 6, 7, 8].

Использованный в статьях [4, 5] метод нахождения оптимальной оболочки вращения можно назвать методом нахождения оптимальной оболочки вращения



по упрощенному критерию оптимальности «Минимальные нормальные напряжения в оболочках вращения с одинаковыми габаритными размерами, граничными условиями и внешней нагрузкой».

Исследование Б. Ника (*Nick B.*) [9], проведенное с 5 типами куполов (сферические, эллиптические, параболические и гиперболические вращения, а также комбинированные, состоящие из гиперболической поверхности и параболической поверхности вращения), выполнено, по сути, с использованием этого же критерия. Он утверждает, что лучше всего зарекомендовал себя комбинированный купол, составленный внизу из гиперболического купола, а сверху – из параболоида вращения.

Иногда достаточно только первого этапа определения оптимальной оболочки вращения с постоянной толщиной.

Например, критерий оптимальности, названный максимумом избыточного внутреннего давления от взрыва, используемый для проектирования сооружений, защищенных от террористической угрозы взрыва, предлагается к внедрению в работе [10]. Здесь важную роль играет форма купола. В статье [10] изучается влияние избыточного внутреннего давления от взрыва на шесть видов куполов. Установлено, что параболический купол лучше всего выдерживает деформацию от взрыва.

Второй уточняющий этап выбора оптимальной формы оболочки вращения

Если первого этапа недостаточно, необходимо перейти ко второму уточняющему этапу.

Выбрав оптимальную форму срединной поверхности оболочки вращения на первом этапе, при необходимости можно перейти ко второму этапу. Этот этап – уточняющий. Можно применить по желанию проектировщика некоторые из 24 критериев оптимальности оболочек вращения, перечисленных в статье [1], то есть определить оптимальное распределение толщины оболочки в направлении выбранного меридиана; заменить меридиан, описываемый одним аналитическим уравнением, несколькими фрагментами окружностей [11]; поставить задачу оптимизации оболочки по массе при наложении ограничений на значение минимальной собственной частоты; или за критерий взять минимум затрат на изготовление [12], транспортировку, монтаж и эксплуатацию составных оболочек.

Упомянутая выше оптимизация оболочки путем аппроксимации меридиана ее срединной поверхности окружностями производится только за счет изменения радиуса кривизны отдельных участков, все остальные параметры, такие как исходные геометрические размеры, толщина, механические характеристики материала предполагаются неизменными [11].

Критерий минимума затрат на изготовление можно применить, если предусмотреть аппроксимацию срединной поверхности оболочки вращения разворачиваемыми поверхностями [13], то есть конусами и цилиндрами. В некоторых работах утверждается, что иногда дешевле применить оболочку большей толщины, но при удобном варианте устройства опалубки железобетонной или армоцементной оболочки, или при выгодном варианте раскроя металлической оболочки. В статьях [14, 15] показано, что можно уменьшить полную стоимость оболочки вращения, выбрав определенную схему ее разбивки на сборные плоские панели. Имеются предложения по оптимизации параметров стержневых куполов по критерию минимума веса, минимума типоразмеров [16] и трудозатрат.

На втором этапе можно также использовать критерий «Минимальный вес оболочки с заданными углами наклона касательных к меридиану на круговых тор-

цах», предложенный в работе [17], после того как сделан выбор формы по первому этапу, но придется отказаться от постоянного значения высоты оболочки. Этот критерий используется в аэрокосмической отрасли. Метод использует безмоментную линейную теорию оболочек.

Третий этап выбора оптимальной формы оболочки вращения

В ряде случаев может потребоваться и третий этап выбора, который заключается в поиске уже описанных в научной литературе примеров применения и исследований выбранных для рассмотрения оболочек вращения [18]. Иногда это может привести к пересмотру окончательного решения, т. к. апробированные или стандартные решения часто вызывают большее доверие.

Заключение

Одним из первых выбором оболочек вращения с наиболее выгодными показателями напряженно-деформированного состояния занялся В. В. Новожилов. В частности, рассматривая четыре различных купола (сферический, параболический, половина эллиптического и меньшая часть эллиптического), он установил, что наиболее выгоден купол в форме меньшей части эллипсоида вращения, так как его можно заставить работать по безмоментной теории при относительно малой жесткости опорного контура. Расчет проводился в рамках безмоментной теории оболочек на нагрузку типа собственного веса. Таким образом, В. В. Новожилов впервые предложил для рассмотрения критерий оптимальности «Минимальные нормальные напряжения в оболочках вращения с одинаковыми габаритными размерами, граничными условиями и внешней нагрузкой». В настоящей статье расширена только область применения этого упрощенного критерия и предложен второй уточняющий этап.

Анализ литературы, проведенный В. Г. Малаховым [19], показывает, что ежегодное число публикаций по оптимальному проектированию оболочек на протяжении последних десятилетий остается очень большим, что указывает на устойчивый интерес исследователей к задачам оптимального проектирования, в том числе и к упрощенным его вариантам.

Аналогичный подход к нахождению оптимальных форм оболочек вращения продемонстрирован в работах [20–23], но авторы указанных статей использовали чисто математическую постановку задачи.

Е. Рамм (*E. Ramm*) [24] установил, что линейную вертикальную нагрузку на верхнем краю лучше держат оболочки вращения, верхняя часть которых имеет отрицательную гауссову кривизну, а нижняя – положительную. Ветровую нагрузку лучше воспринимают оболочки отрицательной гауссовой кривизны (рис. 1), снеговую – оболочки положительной гауссовой кривизны с шарнирными опорами (рис. 2а).

В исследовании [25] установлено, что до настоящего времени нашли применение только 12 типов оболочек вращения с меридианами, заданными аналитическими уравнениями, из 56 предложенных геометрами для внедрения. Предлагаемый упрощенный критерий оптимальности может помочь в поиске новых нетипичных форм оболочек вращения, привлекательных как для архитекторов, так и для проектировщиков машиностроительных конструкций [18].



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Krivoshapko, S. N. Optimal shells of revolution and main optimizations / S. N. Krivoshapko. – Текст : непосредственный // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2019. – Т. 15. – № 3. – С. 201–209.
2. Абрамов, Н. И. Об использовании математических методов оптимизации в проектировании / Н. И. Абрамов, В. Т. Александров. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 1989. – № 4. – С. 40–41.
3. Фурунжиев, Р. И. САПР или как ЭВМ помогает конструктору / Р. И. Фурунжиев, В. А. Гугля, Р. И. Фурунжиев. – Минск : Вышэйшая школа, 1987. – 208 с. – Текст : непосредственный.
4. Кривошапко, С. Н. Катеноидные оболочки / С. Н. Кривошапко, В. Н. Иванов. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 12. – С. 7–13.
5. Кривошапко, С. Н. Псевдосферические оболочки в строительной индустрии / С. Н. Кривошапко, В. Н. Иванов. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 2(76). – С. 32–40.
6. Jasion, P. Elastic buckling of clothoidal-spherical shells under external pressure - theoretical study / P. Jasion, K. Magnucki. – Текст : непосредственный // Thin-Walled Structures. – 2015. – Vol. 86. – P. 18–23.
7. Zhang J., Wang M., Tang W., Wang W. Buckling of egg-shaped shells subjected to external pressure / J. Zhang, M. Wang, W. Tang, W. Wang. – Текст : непосредственный // Thin-Walled Structures. – 2017. – Vol. 113. – P. 122–128.
8. Jasion, P. Buckling and post-buckling analysis of an untypical shells of revolution / P. Jasion, K. Magnucki. – Текст : непосредственный // Insights and Innovations in Structural Engineering, Mechanics and Computation - Proceedings of the 6th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, SEMC 2016 6th. – 2016. – P. 766–771.
9. Nick, B. Search for dome. 3D Warehouse / B. Nick. – Nederland : Trimble Inc, 2017. – Текст : непосредственный.
10. Ram, R. S. Blast Diffusion by Different Shapes of Domes / Ram Ranjan Sahu, Pramod Kumar Gupta. – Текст : непосредственный // Defense Science Journal. – 2015. – Vol. 65, № 1. – P. 77–82.
11. Поливанов, А. А. Расчет оптимальных геометрических характеристик оболочечных конструкций при статическом нагружении / А. А. Поливанов. – Текст : электронный // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 6-3. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=1442> (дата обращения: 17.04.2019).
12. Travush, V. I. Network from the circles of the same radius for sustainable energy-efficient roof structures / V. I. Travush, V. D. Antoshkin, A. G. Sviatkina. – Текст : электронный // TPACEE 2018 - Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (Moscow, Russia, December 3-5, 2018). – Moscow, 2019. – DOI: 10.1051/e3sconf/20199102011.
13. Hoschek, J. Approximation of surfaces of revolution by developable surfaces / J. Hoschek. – Текст : непосредственный // CAD. – 1998. – № 30(10). – P. 757–763.
14. Складнев, Н. Н. Оптимизация оболочек на основе системного анализа и численных методов / Н. Н. Складнев, Э. З. Жуковский, Л. М. Шаршукова. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 1989. – № 1. – С. 9–13.
15. Антошкин, В. Д. Конструктивно-технологическое формообразование оболочек из сборных плоских шестиугольных и треугольных панелей, размещенных в повторяющихся секторах сфер / В. Д. Антошкин. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 4 (72). – С. 3–8.
16. Travush, V. I. To the problem 6 of emplacement of triangular geometric net on the sphere / V. I. Travush, V. D. Antoshkin, I. V. Yerofeyeva. – Текст : электронный // MATEC Web of Conferences. – Moscow, 2017. – DOI: 10.1051/matecconf/201710602012.
17. Stroud, W. Jefferson. Minimum-mass isotropic shells of revolution subjected to uniform pressure and axial load: Report № NASA TN D-6121 / NASA Langley Research Center. – Hampton, 1971. – 43 p. – Текст : непосредственный.



18. Кривошапко, С. Н. Оболочки вращения неканонических форм / С. Н. Кривошапко. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Серия «Строительство». – 2018. – № 7(715). – С. 66–79.
19. Малахов, В. Г. Оптимизация оболочек вращения : специальность 01.02.04 : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Малахов Владимир Георгиевич. – Казань, 2003. – 153 с. – Текст : непосредственный.
20. Firl, M. Optimal Shape Design of Shell Structures : doktor-Ingenieurs genehmigten Dissertation / Matthias Firl ; Technischen Universität München. – München, 2010. – Текст : непосредственный.
21. Mota Soares, C. A. Shape optimal design of axisymmetric shell structures / C. A. Mota Soares, J. Infante Barbosa, C. M. Mota Soares. – Текст : непосредственный // Optimization of Large Structural Systems. – 1993. – Vol. II. – P. 1023–1049.
22. The optimal form of shallow shells of revolution with a small flexible stiffness / L. Stupishin, S. Emelyanov, M. U. Pereverzev, M. L. Moshkevich. – Текст : непосредственный // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 988. – P. 367–370.
23. Rabello, F. T. Automatic procedure for analysis and geometry definition of axisymmetric domes by the membrane theory with constant normal stress / F. T. Rabello, N. A. Marcellino, D. D. Loriggio. – Текст : электронный // Rev. IBRACON Estrut. Mater. – 2016. – Vol. 9, № 4. – URL: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952016000400005>.
24. Ramm, E. Shape finding methods of shells / E. Ramm. – Текст : электронный // Nonlinear Analysis of Shells by Finite Elements. Edited by F.G. Rammerstorfer. – Wien, 1992. – DOI 10.1007/978-3-7091-2604-2.
25. Gbaguidi Aïssè, G. L. Influence of the geometrical researches of surfaces of revolution and translation surfaces on design of unique structures / G. L., Gbaguidi Aïssè. – Текст : непосредственный // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2019. – Т. 15. – № 4. – С. 299–305.

KRIVOSHAPKO Sergey Nikolaevich, doctor of technical science, professor of the department of construction of the Academy of Engineering

A SIMPLIFIED CRITERION OF OPTIMALITY FOR SHELLS OF REVOLUTION

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6, Miklukho-Maklay St., Moscow, 117198, Russia. Tel.: +7 (495) 955-02-28;
e-mail: sn_krivoshapko@mail.ru

Key words: shell of revolution, criterion of optimality, stress-strain state, finite difference energy method.

Optimization is a criterion, on the ground of which comparative estimation of possible alternatives and selection of the best decisions is carried out. In the simplest case, the optimization process includes the search of minimal or maximal value of the function choosing it within the limits of the given constraints. It is rather complicated mathematical problem. In this paper, a simplified criterion of optimality for shells of revolution called «Minimum normal stresses in shells of revolution with the same overall dimensions, boundary conditions, and external load» is presented.

REFERENCES

1. Krivoshapko S. N. Optimal shells of revolution and main optimizations. *Stroitel'naya Mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy* [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings]. 2019. Vol. 15, № 3, p. 201–209.



2. Abramov N. I., Aleksandrov V. T. Ob ispolzovanii matematicheskikh osnov optimizatsii v proektirovanii [On the use of mathematical methods of optimization in designing]. *Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzheniy* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 1989, № 4, p. 40–41.
3. Furunzhiev R. I., Guglya V. A., Furunzhiev Riza I. SAPR ili kak EVM pomogaet konstruktory [System of automated design or the help of Computer to designer]. Minsk: Vysheysheyshaya shkola, 1987, 208 p.
4. Krivoshapko S. N., Ivanov V. N. Katenoidnye obolochki [Catenoidal shells]. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2018, № 12, p. 7–13.
5. Krivoshapko S. N., Ivanov V. N. Psevdosfericheskie obolochki v stroitel'noy industrii [Pseudospherical shells in building industry]. *Stroitel'stvo i Rekonstruktziya* [Building and Reconstruction], 2018, № 2(76), p. 32–40.
6. Jasion P., Magnucki K. Elastic buckling of clothoidal-spherical shells under external pressure - theoretical study. *Thin-Walled Structures*, 2015, Vol. 86, p. 18–23.
7. Zhang J., Wang M., Tang W., Wang W. Buckling of egg-shaped shells subjected to external pressure. *Thin-Walled Structures*, 2017, Vol. 113, p. 122–128.
8. Jasion P., Magnucki K. Buckling and post-buckling analysis of untypical shells of revolution. *Insights and Innovations in Structural Engineering, Mechanics and Computation: Proc. of the 6th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, SEMC 2016 6th*. 2016, p. 766–771.
9. Nick B. Search for dome. 3D Warehouse, 2017 Trimble Inc., Nederland (ebook).
10. Ram R. S., Pramod K. G. Blast Diffusion by Different Shapes of Domes. *Defense Science Journal*, 2015, Vol. 65, № 1, p. 77–82.
11. Polivanov A. A. Raschyot optimal'nykh geometricheskikh kharakteristik obolocheknykh konstruktсий pri staticheskom nagruzhении [Calculation of optimal geometrical characteristics of shell structures under static loading]. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2009, № 6-3; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=1442> (data obrascheniya: 17.04.2019).
12. Travush V. I., Antoshkin V. D., Svyatkina A. G. Network from the circles of the same radius for sustainable energy-efficient roof structures. *TPACEE 2018 - Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics* (Moscow, Russia, December 3-5, 2018). Moscow, 2019. – DOI: 10.1051/e3sconf/20199102011.
13. Hoschek J. Approximation of surfaces of revolution by developable surfaces. *CAD*. 1998, 30(10), p. 757–763.
14. Skladnev N. N., Zhukovsky E. Z., Sharshukova L. M. Optimizatsiya obolochek na osnove sistemnogo analiza i chislennykh metodov [Optimization of shells on a base of system analysis and numerical methods]. *Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzheniy* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 1989, № 1, p. 9–13.
15. Antoshkin V. D. Konstruktivno-tehnologicheskoe formoobrazovanie iz sbornykh ploskikh shestiyugolnykh i treugolnykh paneley, razmeschyonnykh v povtoryayushchikhsya sektorakh sfer [Structural and technological shaping of shells from prefabricated flat hexagonal and triangular panels placed in repeating sectors of spheres]. *Stroitel'stvo i Rekonstruktziya* [Building and Reconstruction], 2018, № 4 (72), p. 3–8.
16. Travush V. I., Antoshkin V. D., Erofeeva I. V. To the problem 6 of emplacement of triangular geometric net on the sphere. *MATEC Web of Conferences*. Moscow, 2017. – DOI: 10.1051/matecconf/201710602012.
17. Stroud W. Jefferson. Minimum-mass isotropic shells of revolution subjected to uniform pressure and axial load: Report № NASA TN D-6121. NASA Langley Research Center Hampton. 1971, 43 p.
18. Krivoshapko S. N. Obolochki vrascheniya nekanonicheskikh form [Shells of revolution of non-trivial forms]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Stroitel'stvo* [News of Higher Education Institutions. Construction]. 2018, № 7(715), p. 66–79.
19. Malakhov V. G. Optimizatsiya obolochek vrascheniya [Optimization of Shells of Revolution]: Diss. kand. fiz.-mat. nauk: 01.02.04, Kazan, 2003, 153 p.
20. Firl M. Optimal Shape Design of Shell Structures: doktor-Ingenieurs genehmigten



Dissertation / Matthias Firl ; Technischen Universität München. – München, 2010.

21. Mota Soares C. A., J. Infante Barbosa, C. M. Mota Soares. Shape optimal design of axisymmetric shell structures. Optimization of Large Structural Systems, 1993, Vol. II, p. 1023–1049.

22. Stupishin L., Emelyanov S., Pereverzev M. U., Moshkevich M. L. The optimal form of shallow shells of revolution with a small flexible stiffness. Advanced Materials Research, 2014, Vol. 988, p. 367–370.

23. Rabello F. T., Marcellino N. A., Loriggio D. D. Automatic procedure for analysis and geometry definition of axisymmetric domes by the membrane theory with constant normal stress. Rev. IBRACON Estrut. Mater. – 2016. Vol. 9, № 4. – URL: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952016000400005>.

24. Ramm E. Shape finding methods of shells. Nonlinear Analysis of Shells by Finite Elements. Edited by F.G. Rammerstorfer. Springer – Verlag Wien GMBH. 1992. DOI 10.1007/978-3-7091-2604-2.

25. Gbaguidi Aïssè G. L. Influence of the geometrical researches of surfaces of revolution and translation surfaces on design of unique structures. Stroitel'naya Mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings]. 2019. Vol. 15 (4), p. 299–305.

© С. Н. Кривошапко, 2019

Получено: 12.10.2019 г.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 62-69: 62-971:628-1/-9

С. М. ЧЕКАРДОВСКИЙ, канд. техн. наук, доц.; **И. Ю. ШАЛАГИН**, канд. техн. наук, доц.; **К. Н. ИЛЮХИН**, канд. техн. наук, доц.; **В. В. МИРОНОВ**, д-р техн. наук, проф.; **М. Н. ЧЕКАРДОВСКИЙ**, д-р техн. наук, проф.

МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ЗАРУБЕЖНЫХ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38. Тел.: (3452) 28-39-40;
эл. почта: misha.tchekardovskij@yandex.ru

Ключевые слова: методика, тепловой расчет, спецификация теплообменника, технические характеристики пластин, результаты расчета зарубежных пластинчатых теплообменных аппаратов, система теплоснабжения.

Приведены результаты исследования эффективности теплового расчета зарубежных пластинчатых теплообменных аппаратов. Представлен модернизированный алгоритм и результаты расчета характеристик пластин. Составлен конечный алгоритм полного теплового расчета пластинчатых теплообменных аппаратов, включающий расчет средней скорости каждого теплоносителя. По сформированным исходным данным, включающим спецификацию теплообменных аппаратов и алгоритмы расчетов, получены результаты теплового расчета теплообменных аппаратов.

Известно, что проектный расчет пластинчатых теплообменных аппаратов (ПТА) систем теплоснабжения состоит из теплового расчета, в результате которого определяется поверхность аппарата, конструкторского расчета для определения схемы и компоновки пластин в теплообменнике, поверочного расчета и гидравлического расчета для определения потерь напора теплоносителей в аппарате [1].

Исходными данными являются: тепловая нагрузка Q , Вт; расходы греющего теплоносителя (ГТ) – M_1 , т/ч; нагреваемого теплоносителя (НТ) – M_2 , т/ч; t_1 и t_2 – температуры входа и выхода ГТ, °С; τ_1 и τ_2 – температуры входа и выхода НТ, °С; допустимые потери напора по ГТ – ΔP_1 , Па и по НТ – ΔP_2 , Па; технические характеристики пластин [2, 3], которые приведены только для пластин 0,3, 0,5 и 0,6. Для других типов пластин зарубежных фирм-изготовителей указывается ограниченное количество данных.

Современные зарубежные и совместные проектные организации не предоставляют заказчику или другим заинтересованным организациям полную информацию по техническим характеристикам пластин. Заказчику выдается спецификация пластинчатого теплообменника и при наличии запроса – программа расчета с засекреченными макросами.

Для определения технических характеристик пластин зарубежных ПТА необходимо проверить соответствие данных спецификации фактическим данным эксплуатирующегося аппарата. В результате входного контроля уточняются параметры аппарата. Спецификация теплообменника, дополненная результатами расчета по программе фирмы «Funke-Тюмень», представлена в табл. 1. Рассмотрим



последовательность определения технических характеристик пластин.

По данным табл. 1 видно, что общее количество каналов равно:

$$m_{\text{общ}} = m_1 + m_2 = \text{TK} = 20GH + 16HL = 20GH + 16HL = 36.$$

Количество пластин по ГТ: $n_1 = 2$, $m_1 = 40$; по НТ: $n_2 = 2$, $m_2 = 32$.

Схема компоновки пластин в аппарате: $C_x = 40/(1 + 32) [4, 5]$.

Согласно [6] и данным табл. 1, объем воды в одном канале равен:

$$\text{по ГТ: } V_{1\text{ кан}} = \frac{V_1}{m_1} = \frac{8,68}{40} = 0,217 \text{ дм}^3 = 0,000217 \text{ м}^3;$$

$$\text{по НТ: } V_{2\text{ кан}} = \frac{V_2}{m_2} = \frac{11,76}{32} = 0,3675 \text{ дм}^3 = 0,0003675 \text{ м}^3.$$

Зазоры в одном канале имеют ширину, м:

$$\text{по ГТ: } \delta_1 = \frac{V_{1\text{ кан}}}{F_1} = \frac{0,000217}{0,14} = 0,00155 \text{ м};$$

$$\text{по НТ: } \delta_2 = \frac{V_{2\text{ кан}}}{F_2} = \frac{0,0003675}{0,14} = 0,002625 \text{ м};$$

Эквивалентные диаметры каналов составляют, м:

$$\text{по ГТ: } d_{1\text{э}} = 2\delta_1 = 0,0031 \text{ м};$$

$$\text{по НТ: } d_{2\text{э}} = 2\delta_2 = 0,00525 \text{ м};$$

Площади поперечных сечений аппарата, м²:

$$\text{по ГТ: } f_1 = \frac{M_1 X_1}{3,6 \rho_1 w_{\text{max}1}} = \frac{8,83 \cdot 1}{3,6 \cdot 963,9 \cdot 0,22} = 0,011567 \text{ м}^2;$$

$$\text{по НТ: } f_2 = \frac{M_2 X_2}{3,6 \rho_2 w_{\text{max}2}} = \frac{25,23 \cdot 1}{3,6 \cdot 976,4 \cdot 0,5} = 0,014356 \text{ м}^2.$$

Площади поперечных сечений одного канала, м²:

$$\text{по ГТ: } f_{01} = \frac{f_1}{m_1} = \frac{0,011567}{40} = 0,00028916 \text{ м}^2;$$

$$\text{по НТ: } f_{02} = \frac{f_2}{m_2} = \frac{0,014356}{32} = 0,00044861 \text{ м}^2.$$

Смачиваемые периметры канала, м:

$$\text{по ГТ: } \Pi_1 = \frac{4f_1}{d_{1\text{э}}} = \frac{4 \cdot 0,00028916}{0,0031} = 0,3731 \text{ м};$$

$$\text{по НТ: } \Pi_2 = \frac{4f_2}{d_{2\text{э}}} = \frac{4 \cdot 0,00044861}{0,00525} = 0,3418 \text{ м}.$$

Коэффициенты гидравлического сопротивления канала:

$$\text{по ГТ: } \xi_1 = \frac{8K\Theta_m \Delta H_1}{w_{\text{max}1}^3 C_{\text{пл}} (t_1 - t_2) \rho_1^2} = \frac{8 \cdot 4679 \cdot 14,28 \cdot 6867}{0,22^3 \cdot 4186 \cdot (120 - 63) \cdot 963,9^2} = 1,555;$$

$$\text{по НТ: } \xi_2 = \frac{8K\Theta_m \Delta H_2}{w_{\text{max}2}^3 C_{\text{пл}} (\tau_2 - \tau_1) \rho_2^2} = \frac{8 \cdot 4679 \cdot 14,28 \cdot 31209}{0,5^3 \cdot 4174 \cdot (80 - 60) \cdot 976,4^2} = 1,677.$$



Таблица 1

Спецификация теплообменника фирмы «Funke-Тюмень»

Технические данные	Аппарат: FP 14-73-1-EN				
Теплоноситель	Греющий			Нагреваемый	
Среда	Вода			Вода	
Массовый расход	M_1 , т/ч	8,83		M_2 , т/ч	25,23
Температура на входе	t_1 , °C	120,00		τ_1 , °C	60,00
Температура на выходе	t_2 , °C	63,00		τ_2 , °C	80,00
Физические характеристики					
Динамическая вязкость	$10^3\mu_1$, Па/с	0,30788		$10^3\mu_2$, Па/с	0,40435
Плотность	ρ_1 , кг/м ³	963,901		ρ_2 , кг/м ³	976,364
Теплоемкость	C_{p1} , Дж/кг·K	4185,73		C_{p2} , Дж/кг·K	4173,91
Теплопроводность	λ_1 , Вт/м·K	0,65685		λ_2 , Вт/м·K	0,64901
Характеристики аппарата					
Тепловая мощность	Q , Вт	0,22/0,17	585 200	w_{max2}/w_{min2} , м/с	0,5/0,28
Поверхность ПТА	F_a , м ²		9,94		
Среднегарифмическая разность температур	Θ_m , °C		14,28/14,28		
Средняя скорость теплоносителя макс./мин	w_{max1}/w_{min1} , м/с				
Коэффиц. теплоотдачи	α_1 , Вт/м ² ·K		8813		
Коэффиц. теплопередачи необходимый/фактический	K , Вт/м ² ·K		4 122/4 679	α_2 , Вт/м ² ·K	13592
Техническое загрязнение	Rz , м ² ·K/Вт		0,0000289		
Запас поверхности	%		13,53		
Потери давления	ΔH_1 , Па	6867		ΔH_2 , Па	31209
Количество ходов	X_1	1		X_2	1
Общее колич. каналов	$m_{общ}$		72		
Тип канала	TK		20HG+16HL		
Конструкция					
Вес без упаковки	кг	8,68	~ 169	V_2 , дм ³	11,76
Объем	V_1 , дм ³				
Расчетное давление	кг/см ²		16		
Макс. раб. температура	°C		120		
Материал: пластины уплотнения	1.4401 (0,40 мм) EPDM HT				
Поверхность теплообмена пластины	$F_1 = F_2$, м ²		0,14		

Числа Рейнольдса:

$$\text{по ГТ: } Re_1 = \frac{w_{max1} d_{1z}}{v_1} = \frac{w_{max1} d_{1z} \rho_1}{\mu_1} = \frac{0,22 \cdot 0,0031 \cdot 963,9}{0,3078 \cdot 10^{-3}} = 2135,74;$$

$$\text{по НТ: } Re_2 = \frac{w_{max2} d_{2z}}{v_2} = \frac{w_{max2} d_{2z} \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,5 \cdot 0,00525 \cdot 976,4}{0,40435 \cdot 10^{-3}} = 6338,7.$$



Эмпирические коэффициенты:

по ГТ: $B_1 = \xi_1 \text{Re}_1^{-0,25} = 1,555 \cdot 2135,72^{-0,25} = 10,57$;

по НТ: $B_2 = \xi_2 \text{Re}_2^{-0,25} = 1,667 \cdot 6338,7^{-0,25} = 14,874$.

Из уравнения Дарси для пластинчатых теплообменников:

$$\Delta H = \xi \frac{L_{\text{np}}}{d_3} \rho \frac{w^2}{2} X, \quad (1)$$

откуда приведенная длина одного канала:

$$\text{по ГТ: } L_{1\text{np}} = \frac{2\Delta H_1 d_{12}}{\xi_1 \rho_1 w_1^2 X_1} = \frac{2 \cdot 6867 \cdot 0,0031}{1,555 \cdot 963,9 \cdot 0,22^2 \cdot 1} = 0,5869 \text{ м};$$

$$\text{по НТ: } L_{2\text{np}} = \frac{2\Delta H_2 d_{23}}{\xi_2 \rho_2 w_2^2 X_2} = \frac{2 \cdot 31209 \cdot 0,00525}{1,677 \cdot 976,4 \cdot 0,5^2 \cdot 1} = 0,176 \text{ м};$$

Ширина одного канала равна:

$$\text{по ГТ: } b_1 = \frac{F_1}{L_{1\text{np}}} = \frac{0,14}{0,5869} = 0,2385 \text{ м};$$

$$\text{по НТ: } b_2 = \frac{F_2}{L_{2\text{np}}} = \frac{0,14}{0,1796} = 0,7796 \text{ м}.$$

Величина C определяется по формуле:

$$C = \frac{\text{Nu}_1}{\text{Re}_1^{0,73} \text{Pr}_1^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}_1}{\text{Pr}_{\text{cr}}} \right)^{0,25}} = \frac{\frac{\alpha_1 \cdot d_{31}}{\lambda_1}}{\text{Re}_1^{0,73} \text{Pr}_1^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}_1}{\text{Pr}_{\text{cr}}} \right)^{0,25}} = \frac{\frac{8813 \cdot 0,0031}{0,65685}}{2135,7^{0,73} 1,91^{0,43} \left(\frac{1,91}{2,17} \right)^{0,25}} = 0,12, \quad (2)$$

где α_1, λ_1 – по данным табл. 1; Pr_1 – число Прандтля:

$$\text{Pr}_1 = \left(\frac{200}{\frac{t_1 + t_2}{2} + 5,5} \right) - 0,15, \quad (3)$$

при t_1 и t_2 из табл. 1; число Прандтля при средней температуре стенки пластины Pr_{cr} составляет

$$\text{Pr}_{\text{cr}} = \frac{200}{\left[0,25 \cdot (t_1 + t_2 + \tau_1 + \tau_2) + 5,5 \right]} - 0,15. \quad (4)$$

Результаты расчетов сведены в табл. 2. Здесь же представлены известные характеристики типовых пластин 03, 05Пр, 06.

Алгоритм теплового расчета ПТА по данным табл. 1 и 2 следующий.

Вычисляют среднюю температуру греющего теплоносителя $t_b, ^\circ\text{C}$:

$$t_b = \frac{t_1 + t_2}{2}. \quad (5)$$

Рассчитывают теплофизические свойства греющего теплоносителя:



– плотность греющего теплоносителя ρ_1 , кг/м³, равна

$$\rho_1 = 1005 - 0,0025 (t_{\text{в}} + 37)^2; \quad (6)$$

– кинематическая вязкость ν_1 , м²/с, составляет

$$\nu_1 = \frac{28000}{\rho_1 t_{\text{в}}} \cdot 10^{-6}; \quad (7)$$

– теплопроводность λ_1 , Вт/м·К, вычисляется как

$$\lambda_1 = [68,73 - 0,0006 (t_{\text{в}} - 140)^2] 10^{-2}; \quad (8)$$

– теплоемкость C_{p1} , Дж/кг·°С, равна

$$C_{p1} = [4,187 + 1,05 \cdot 10^{-10} (t_{\text{в}} + 35)^4] 10^3; \quad (9)$$

– число Прандтля составляет

$$\text{Pr}_1 = \left(\frac{200}{t_{\text{в}} + 5,5} \right) - 0,15. \quad (10)$$

Таблица 2

Технические характеристики пластин

Показатель	Обозначение	Размерность	Тип пластины			
			FP14	0,3	05Пp	0,6
Толщина пластины	δ	м	0,0004	0,001	0,001	0,001
Поверхность теплообмена пластины	F_1	м ²	0,14	0,3	0,6	0,5
	F_2	м ²	0,14	0,3	0,6	0,5
Эквивалентный диаметр одного канала (ОК)	$d_{1\text{э}}$	м	0,0031	0,008	0,00825	0,0096
	$d_{2\text{э}}$	м	0,00525	0,008	0,00825	0,0096
Площадь поперечного сечения ОК	f_{01}	м ²	0,00029	0,0011	0,00245	0,003
	f_{02}	м ²	0,00045	0,0011	0,00245	0,003
Смачиваемый периметр ОК	Π_1	м	0,373	0,55	1,188	1,25
	Π_2	м	0,342	0,55	1,188	1,25
Ширина ОК	b_1	м	0,239	0,25	0,545	570
	b_2	м	0,176	0,25	0,545	570
Зазор в канале	t_1	м	0,00155	0,004	0,0045	0,00525
	t_2	м	0,00263	0,004	0,0045	0,00525
Приведенная длина ОК	$L_{1\text{пр}}$	м	0,5869	1,12	1,01	0,836
	$L_{2\text{пр}}$	м	0,796	1,12	1,01	0,836
Эмпирический коэффициент	B_1	-	10,57	19,3	15	28,8
	B_2	-	14,874	19,3	15	28,8
Эмпирический коэффициент	C	-	0,12	0,1	0,1	0,1
Коэффициент гидравлического сопротивления штуцера	$\xi_{\text{шт}}$	-	1,5	1,5	1,5	1,5
Коэффициент теплопроводности материала пластины	$\lambda_{\text{ст}}$	Вт/м·К	15	16,3		



Определяют теплофизические свойства нагреваемого теплоносителя:

– средняя температура НТ τ_b , °C, равна

$$\tau_b = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}; \quad (11)$$

– плотность ρ_2 , кг/м³, составляет

$$\rho_2 = 1005 - 0,0025 (t_b + 37)^2; \quad (12)$$

– кинематическая вязкость ν_2 , м²/с, определяется как

$$\nu_2 = \frac{28000}{\rho_2 \tau_b} 10^{-6}; \quad (13)$$

– теплопроводность λ_2 , Вт/м·К, равна

$$\lambda_2 = [68,73 - 0,0006 (t_b - 140)^2] 10^{-2}. \quad (14)$$

– теплоемкость C_{p2} , Дж/кг·°C, составляет

$$C_{p2} = [4,187 + 1,05 \cdot 10^{-10} (t_b + 35)^4] 10^3. \quad (15)$$

– число Прандтля находится по формуле

$$Pr_2 = \left(\frac{200}{t_b + 5,5} \right) - 0,15. \quad (16)$$

Число Прандтля при средней температуре стенки пластины равно

$$Pr_{ст} = \frac{200}{[0,25 \cdot (t_1 + t_2 + \tau_1 + \tau_2) + 5,5]} - 0,15. \quad (17)$$

Достоверность исходных данных проверяется равенством:

$$M_1 C_{p1} (t_1 - t_2) = M_2 C_{p2} (\tau_2 - \tau_1). \quad (18)$$

В теплообменном аппарате пластинчатого типа в основном используется противоточная схема движения теплоносителей. При организации других схем движения среднелогарифмическая разность температур рассчитывается по формуле для соответствующей схемы.

Дальнейший расчет ведется следующим образом.

По заданным температурам теплоносителей определяется среднелогарифмическая разность температур Θ_m , °C:

$$\Theta_m = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}, \quad (19)$$

где Δt_6 – большая разность температур греющего и холодного теплоносителей, °C;

Δt_m – меньшая разность температур, °C.

Из табл. 2 следует, что:

$$\Delta t_6 (t_1 - \tau_1) \text{ и } \Delta t_m (t_2 - \tau_2).$$

где t_1, t_2, τ_1, τ_2 – приведены в табл. 1.

В случае, когда $0,5 \leq \Delta t_6 / \Delta t_m \leq 2$, °C:

$$\Theta_m = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2}. \quad (20)$$

После расчета Θ_m выбираем любой тип пластин и их характеристики.

Средняя скорость ГТ в каналах теплообменников w_1 , м/с, равна:

$$w_1 = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{K_{31} \Theta_m \Delta P_1}{\xi_{31} C_{p1} (t_1 - t_2) \rho_1^2}}, \quad (21)$$

где K_{31} – задаваемый коэффициент теплопередачи, $K_{31} = 500\text{--}5000$ Вт/м²·°C;



$\Delta P_1 = \Delta H_1$, Па; ξ_{31} – задаваемый коэффициент гидравлического сопротивления ПТА, $\xi_{31} = 1-4$.

Определяем число Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{w_1 \cdot d_{13}}{\nu_1} \quad (22)$$

Если d_{13} неизвестно, но указана площадь поперечного сечения канала f_{01} , m^2 и смоченный периметр Π_1 , м, его можно рассчитать по формуле:

$$d_{13} = \frac{4f_{01}}{\Pi_1} \quad (23)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления канала ГТ равен:

$$\xi_{\phi 1} = \frac{B_1}{Re_1^{0,25}}, \quad (24)$$

где B_1 – эмпирический коэффициент, представленный в табл. 3.

Таблица 3

Значение коэффициентов В

Коэффициент	Тип пластин			
	0,3	0,6	0,5Пр	FP-14
$B_1 = B_2$	19,3	15	28,8	$B_1 = 10,57$; $B_2 = 14,96$
Материалы	коррозионностойкая сталь; титановый сплан; углеродистая сталь			

Значения фактического и задаваемого коэффициентов должны соответствовать условию, %:

$$\frac{\xi_{\phi 1} - \xi_{31}}{\xi_{\phi 1}} \cdot 100 \leq 3-5. \quad (25)$$

Число Нуссельта для ГТ равно:

$$\text{при } Re > 50 - Nu_1 = C Re_1^{0,73} Pr_1^{0,43} \left(\frac{Pr_1}{Pr_{cr}} \right)^{0,25}; \quad (26)$$

$$\text{при } Re < 50 - Nu_1 = C Re_1^{0,33} Pr_1^{0,33} \left(\frac{Pr_1}{Pr_{cr}} \right)^{0,25}. \quad (27)$$

В пластинчатых теплообменных аппаратах системы теплоснабжения и горячего водоснабжения режим турбулентный $Re > 50$.

Коэффициент теплоотдачи ГТ α_1 , Вт/ $m^2 \cdot ^\circ C$, составляет

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{d_{13}} \quad (28)$$

Средняя скорость НГ в каналах ПТА w_2 , м/с, равна

$$w_2 = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{K_{32} \cdot \Theta_m \cdot \Delta P_2}{\xi_{32} \cdot C_{p2} \cdot (t_2 - t_1) \cdot \rho_2^2}}, \quad (29)$$

где $K_{32} = K_{31}$; $\xi_{32} = \xi_{31}$; $\Delta P_2 = \Delta H_2$, Па.

Число Рейнольдса для НГ определяем по формуле:



$$Re_2 = \frac{w_2 \cdot d_{22}}{v_2}. \quad (30)$$

Фактический коэффициент гидравлического сопротивления по НТ $\xi_{\Phi 2}$ определяется по формуле:

$$\xi_{\Phi 2} = \frac{B_2}{Re_2^{0,25}}, \quad (31)$$

где B_1 – принимается по табл. 3.

Должно выполняться условие $\xi_{32} = \xi_{\Phi 2}$, допустимая невязка 3–5 %.

Значения Pr_2 , Pr_{ct} и Nu_2 для НТ определяются по формулам (16), (17) и (26), α_2 – по зависимости (28).

Расчетный коэффициент теплопередачи $K_{расч}$, Вт/м²·°С, равен

$$K_{расч} = \frac{\beta}{\frac{1}{\delta} + \frac{1}{\lambda_{ct}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (32)$$

где δ , λ_{ct} – приведены в табл. 2 и 4; β – коэффициент, учитывающий уменьшение теплопередачи из-за термического сопротивления накипи и загрязнений на пластине со стороны негреваемого и нагреваемого теплоносителей, $\beta = 0,7–0,85$.

Проверяется соблюдение условия, %:

$$\frac{K_{31} - K_{расч}}{K_{31}} 100 \leq 3–5. \quad (33)$$

Расчетная поверхность нагрева ТА $F_{расч}$, м², вычисляется как:

$$F_{расч} = \frac{Q}{K_{расч} \Theta_m}. \quad (34)$$

Проверяется соблюдение теплового баланса, Вт:

$$\frac{M_1 C_{p1} (t_1 - t_2)}{3,6} = \frac{M_2 C_{p2} (\tau_2 - \tau_1)}{3,6} = K_{расч} F_{расч} \Theta_m. \quad (35)$$

Результаты расчета ПТА фирмы «Funke-Тюмень» сведены в табл. 5.

Таблица 4

Коэффициент теплопроводности нержавеющей стали

Сталь	Температура t_{ct} , °С	Коэффициент теплопроводности λ_{ct} , Вт/м·°С
12X18H10T	20	15
	100	17



Таблица 5

Результаты расчета ПТА

Исходные данные			Тепловой расчет		
Обозначение	Величина	Ед. изм	Обозначение	Величина	Ед. изм
Q	585200	Вт	t_v	91,5	°C
M_1	8,83	т/час	ρ_1	963,72	кг/м ³
M_2	25,23	т/час	v_1	$3,175 \cdot 10^{-7}$	м ² /с
t_1	120	°C	λ_1	0,673	Вт/(м·°C)
t_2	63	°C	C_{p1}	4213,88	Дж/(кг·°C)
τ_1	60	°C	Pr_1	1,912	-
τ_2	80	°C	τ_v	70	°C
ΔH_1	6867	Па	ρ_2	976,38	кг/м ³
ΔH_2	31209	Па	v_2	$4,097 \cdot 10^{-7}$	м ² /с
K_3	4122	Вт/(м ² ·°C)	λ_2	0,6579	Вт/(м·°C)
ξ_{31}	1,56	-	C_{p2}	4199,8	Дж/(кг·°C)
d_3	0,0031	м	Pr_2	2,499	-
B	10,57	-	$Pr_{ст}$	2,169	-
β	0,85	-	θ_m	14,28	°C
δ	0,0004	м	w_1	0,21	м/с
$\lambda_{ст}$	15	Вт/(м·°C)	Re_1	2052,7	-
f_o	0,00029	м ²	ξ_1	1,570	-
F_1	0,14	м ²	Nu_1	40,23	-
F_2	0,14	м ²	α_1	8735,4	Вт/(м ² ·°C)
$L_{пр}$	0,587	м	ξ_2	1,6814	-
Погрешность расчета менее 5 %			Nu_2	109,003	-
			α_2	13659,7	Вт/(м ² ·°C)
			$K_{расч}$	4034,02	Вт/(м ² ·°C)
			$F_{расч}$	10,156	м ²

Погрешность расчета между задаваемым и расчетным значениями коэффициентов теплопередачи ПТА меньше 5 %, что подтверждает достоверность модернизированной методики теплового расчета зарубежных пластинчатых теплообменных аппаратов систем теплоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теплообменники энергетических установок / К. Э. Аронсон, С. И. Блинков, В. И. Брезгин [и др.] ; под. ред. Ю. М. Бродова. – Екатеринбург : Сократ, 2012. – 968 с. – Текст : непосредственный.
2. Банных, О. П. Основные конструкции и тепловой расчет теплообменников / О. П. Банных ; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. – Санкт-Петербург : СПб НИУ ИТМО, 2012. – 42 с. – Текст : непосредственный.
3. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов : свод правил : издание официальное : утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального



хозяйства Российской Федерации : дата введ. 01.07.96. – Москва, 1997. – 80 с. – Текст : непосредственный.

4. Теплогазоснабжение и вентиляция / Б. М. Хрусталева, Ю. Я. Кувшинов, В. М. Копко [и др.] ; под. ред. Б. М. Хрусталева. – Москва : АСВ, 2012. – 784 с. – ISBN 978-5-93093-394-4. – Текст : непосредственный.

5. Тепловой расчет теплообменных аппаратов / В. А. Иванов, К. Н. Илюхин, М. Н. Чекардовский, С. М. Чекардовский, А. С. Хамидов. – Текст : непосредственный // Известия ВУЗов. Серия: Нефть и газ. – 2008. – № 1. – С. 44–49.

6. Чекардовский, С. М. Разработка алгоритма расчета теплообменных аппаратов / К. Н. Илюхин, И. А. Чекардовская, С. М. Чекардовский, В. Е. Ушаков. – Текст : непосредственный // Вестник ТГАСУ. – 2008. – № 1. – С. 124–129.

CHEKARDOVSKY Sergey Mikhaylovich, candidate of technical sciences, associate professor; SHALAGIN Igor Yurevich, candidate of technical sciences, associate professor; ILYUKHIN Konstantin Nikolaevich, candidate of technical sciences, associate professor; MIRONOV Viktor Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor; CHEKARDOVSKY Mikhail Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor

MODERNIZED METHOD OF HEAT CALCULATION OF FOREIGN LAMINATE HEAT EXCHANGE DEVICES OF HEAT SUPPLY SYSTEMS

Tyumen Industrial University

38, Volodarsky St., Tyumen, 625000, Russia. Tel.: +7 (3452) 28-39-40;

e-mail: misha.tcchekardovskij@yandex.ru

Key words: methodology, heat calculation, heat exchanger specification, technical characteristics of plates, calculation results of foreign plate heat exchangers, heat supply system.

The results of a study of the efficiency of thermal calculation of foreign plate heat exchangers are presented. The modernized algorithm and the results of calculating the characteristics of the plates are presented. The final algorithm for the complete thermal calculation of plate heat exchangers is compiled, including the calculation of the average speed of each coolant. Based on the generated source data, including the specification of heat exchangers and calculation algorithms, the results of thermal calculation of heat exchangers are obtained.

REFERENCES

1. Aronson K. E., Blinkov S. I., Brezgin V. I., et al. Teploobmenniki energeticheskikh ustanovok [Power plant heat exchangers]: pod red. Yu. M. Brodova. – Ekaterinburg: Sokrat, 2012, 968 p.

2. Bannykh O. P. Osnovnye konstruksii i teplovoy raschyot teploobmennikov [Basic designs and heat calculation of heat exchangers]. Sankt-Peterburgskiy natsionalny issledovatel'skiy universitet informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki. – Saint-Petersburg: SPb NIU ITMO, 2012, 42 p.

3. SP 41-101-95. Proektirovanie teplovykh punktov [Design of heating points]: svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhdyon Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii : data vved. 01.07.96. Moscow. 1997, 80 p.

4. Khrustalyov B. M., Kuvshinov Yu. Ya., Kopko V. M., et al. Teplogazosnabzhenie i ventilyatsiya [Heat and ventilation]; pod red. B. M. Khrustalyova. – Moscow: ASV, 2012, 784 p. ISBN 978-5-93093-394-4.

5. Ivanov V. A., Ilyukhin K. N., Chekardovsky M. N., Chekardovsky S. M., Khamidov A. S. Teplovoy raschyot teploobmennyykh apparatov [Thermal calculation of heat exchangers]. Izvestiya



VUZov. Seriya: Neft i gaz [Un. News. Oil and gas]. 2008. № 1. P. 44–49.

6. Ilyukhin K. N., Chekardovskaya I. A., Chekardovsky S. M., Ushakov V.E. Razrabotka algoritma raschyota teploobmennyykh apparatov [Development of an algorithm for calculating heat exchangers] // Vestnik TGASU [Bulletin of TGASU]. 2008. № 1. P. 124–129.

© С. М. Чекардовский, И. Ю. Шалагин, К. Н. Илюхин, В. В. Миронов, М. Н. Чекардовский, 2019

Получено: 24.09.2019 г.

УДК 726.5+697.97:620.9

А. Г. КОЧЕВ, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой теплогазоснабжения;
М. М. СОКОЛОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения;
Е. А. КОЧЕВА, асс. кафедры теплогазоснабжения; **А. А. ФЕДОТОВ**, асп. кафедры теплогазоснабжения

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМАХ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-45-35;
факс: (831) 430-03-82; эл. почта: unirs@nngasu.ru

Ключевые слова: православные храмы, возобновляемые источники энергии, теплый пол, автономный храм, фотоэлектрические модули.

Рассматриваются особенности использования возобновляемых источников энергии в храмах за рубежом. Производится анализ нескольких православных храмов с целью выбора оптимального сооружения для использования в нем нетрадиционных источников энергии. Отмечаются достоинства и недостатки проводимых мероприятий. Приводятся соответствующие выводы.

Создание и поддержание требуемых параметров микроклимата в таких сооружениях, как православные храмы – это сложная инженерная задача, требующая индивидуального подхода в каждом конкретном случае [1–4]. Немаловажную роль играет выбор источника энергии для питания инженерных коммуникаций [5, 6]. В последнее время, наряду с традиционными невозобновляемыми источниками энергии, стали рассматриваться также нетрадиционные возобновляемые источники энергии (энергия солнца, ветра и т. д.). За рубежом эти установки активно применяются, в том числе и для культовых сооружений. В одной Великобритании более 3,5 тысяч храмов уже используют или собираются использовать возобновляемые источники энергии для электроснабжения, как правило, это фотоэлектрические модули, устанавливаемые на кровле зданий.

Во многом такой переход на возобновляемые источники энергии стал возможен благодаря энциклике папы Римского Франциска «Хвала Тебе», в которой он выражает беспокойство в связи с пагубным воздействием человеческой деятельности для окружающей среды, в частности глобальным потеплением [7].

Следует отметить, что, помимо фотоэлектрических панелей, в храмах Европы



применяют и грунтовые тепловые насосы как источник энергии для систем отопления, например, в церкви St. George's в епархии Оксфорда (Великобритания) после реконструкции, включающей утепление помещений и установку геотермальных насосов, значительно сократились и теплопотери, и энергопотребление здания.

Однако данный зарубежный опыт не может быть использован для нашей страны без учета таких факторов, как существенные архитектурные отличия между католическими и православными храмами, климатические особенности и т. д.

С другой стороны, применение возобновляемых источников энергии позволит сооружению стать полностью энергонезависимым или значительно снизить энергопотребление от внешних источников. В результате чего возникает вопрос – будет ли энергетически эффективным решением создать на территории Российской Федерации:

- автономный храм, т. е. храм который является полностью независимым от внешних источников энергии;

- энергоизбыточный храм, т. е. подключенный к внешним энергетическим сетям, но в то же время вырабатывающий энергетических ресурсов больше, чем нужно для его эксплуатации («излишки» энергии могут быть проданы энергетическим сетям).

Для того чтобы ответить на данный вопрос, был разработан комплексный анализ православных храмов, который включает в себя:

- анализ архитектурных форм и стилевых особенностей (тип храма, наличие или отсутствие подклета, расположение помещений и т. д.);

- оценку возможности применения систем естественной вентиляции для снижения затрат на потребляемую храмом электрическую энергию;

- оценку возможности применения возобновляемых источников энергии.

В качестве примера были рассмотрены четыре православных храма, представленные на рис. 1 и рис. 1 цв. вклейки. Они имеют существенные отличия как в архитектуре, так и в историческом плане.

Макарьевская, или Флачная часовня, 1866 г. (рис. 1а, цв. вклейки) в настоящее время была утрачена, и при проектировании приходится сталкиваться с полным восстановлением ранее построенного храма. Церковь Покрова Пресвятой Богородицы (рис. 1б, цв. вклейки) не была разобрана, однако нуждается в существенной реконструкции. Третий храм (рис. 1в, цв. вклейки) не имеет названия, т. к. рассматривается как возможный облик современного православного храма, который еще никогда не был построен. Четвертый храм (рис. 1), прототипом для которого послужила церковь Державной Божьей Матери, расположенная в поселке «Память Парижской Коммуны» Борского района Нижегородской области, является перестройкой здания котельной в здание храма.

Для каждого из рассмотренных храмов в качестве системы отопления был запроектирован теплый пол, поскольку для одного из самых популярных в настоящий момент возобновляемого источника энергии (теплового насоса) это наиболее оптимальное решение [8].

Анализируя получившиеся результаты в работе по использованию возобновляемых источников энергии, было решено продолжить с вариантом (рис. 1), поскольку для вариантов (рис. 1б, цв. вклейки) и (рис. 1в, цв. вклейки), стоимость установки теплового насоса будет весьма существенной. Также расположение помещений в варианте (рис. 1) позволило рассчитать систему естественной вентиляции, которая обеспечила требуемый воздухообмен не только в молельном зале, но и в приходе, и алтаре.

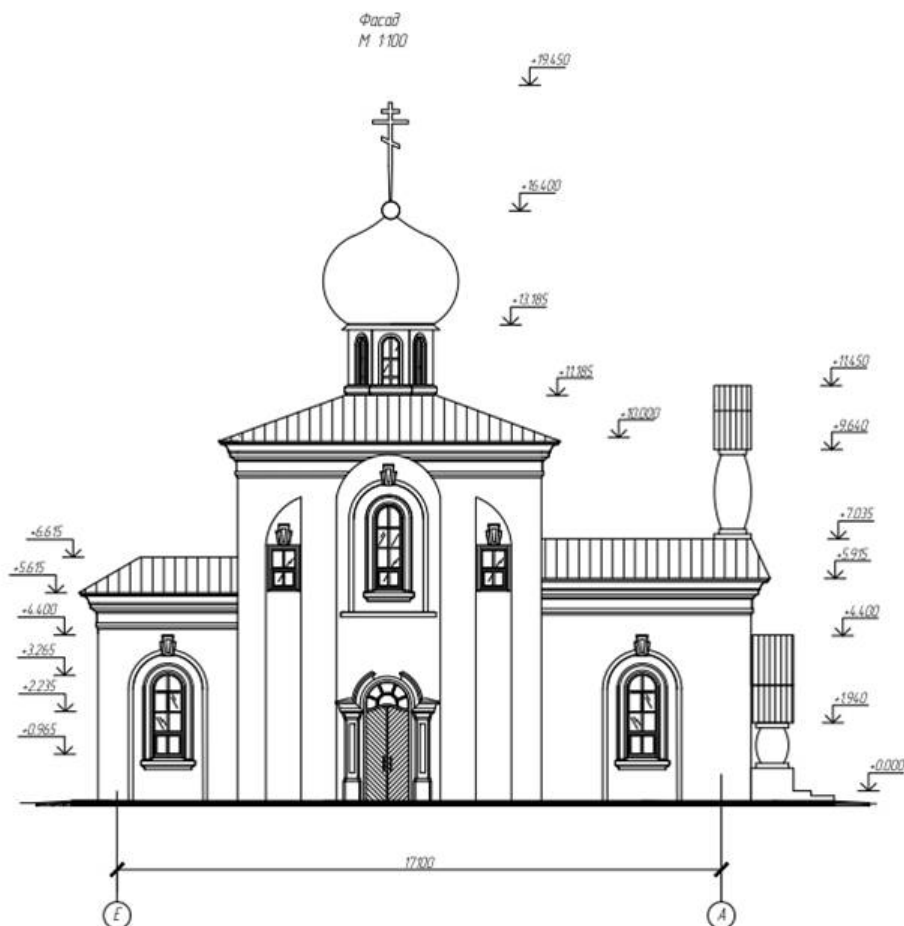


Рис. 1. Общий вид перестроенного храма из здания котельной

К сожалению, выбранный в качестве системы отопления теплый пол, пусть и способен покрыть нагрузку практически на весь отопительный период, но для покрытия пиковых нагрузок используются классическая радиаторная система отопления с источником теплоснабжения (котлом), работающим на древесных гранулах – пеллетах [8].

Возвращаясь к вопросу создания автономного храма, нельзя не отметить особенности его электроснабжения для его освещения и работы теплового насоса.

В данной работе мы рассмотрим наиболее благоприятный вариант, когда есть возможность расположить солнечные панели на кровле православного храма по аналогии с зарубежной практикой, тем более что кровля храма типа «Корабль» оптимальна для расположения фотоэлектрических модулей.

Основная проблема современных солнечных панелей – большая площадь при сравнительно невысоком КПД (для среднестатистических монокремниевых панелей не превышает 22 %).

Расчет количества солнечных панелей определялся для покрытия нагрузки теплового насоса (10,6 кВт·ч электрической энергии), насоса теплого пола (0,46 кВт·ч электрической энергии) и общей нагрузкой на освещение (3 кВт·ч

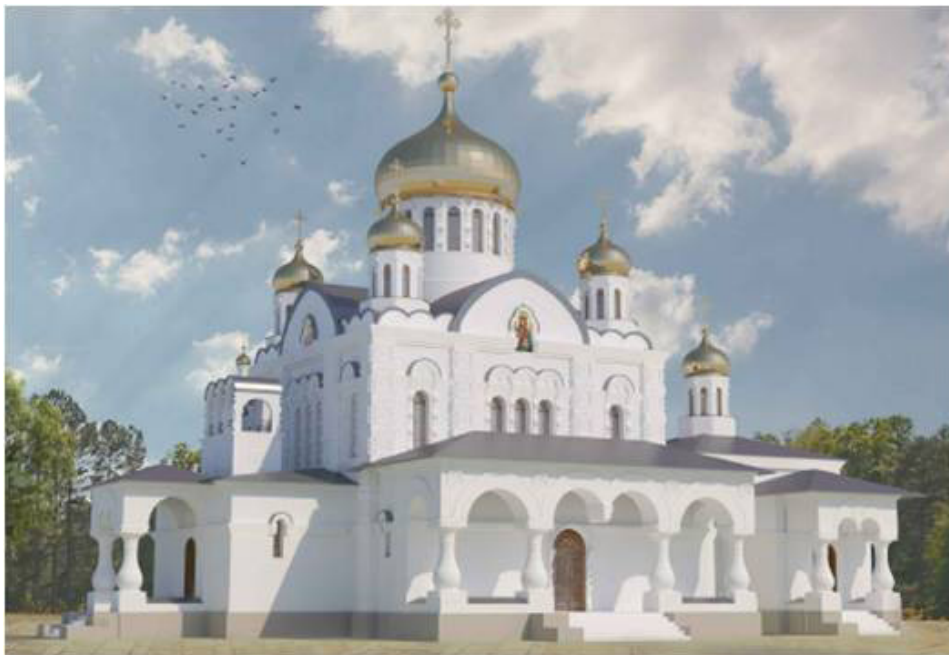
**К СТАТЬЕ А. Г. КОЧЕВА, М. М. СОКОЛОВА, Е. А. КОЧЕВОЙ,
А. А. ФЕДОТОВА «АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
И ПОДДЕРЖАНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА
В ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМАХ»**



а



б



в

Рис. 1. Исследуемые храмы: *а* – Флачная часовня; *б* – церковь Покрова Пресвятой Богородицы; *в* – современный храм



Рис. 2. Пример термограммы, полученной при обследовании церкви Пресвятой Живоначальной Троицы снаружи

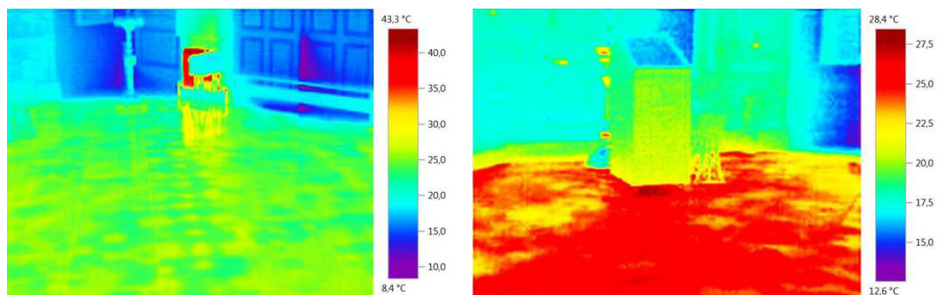


Рис. 3. Термограммы, полученные внутри церкви Пресвятой Живоначальной Троицы для работающего теплого пола совместно с отопительными приборами

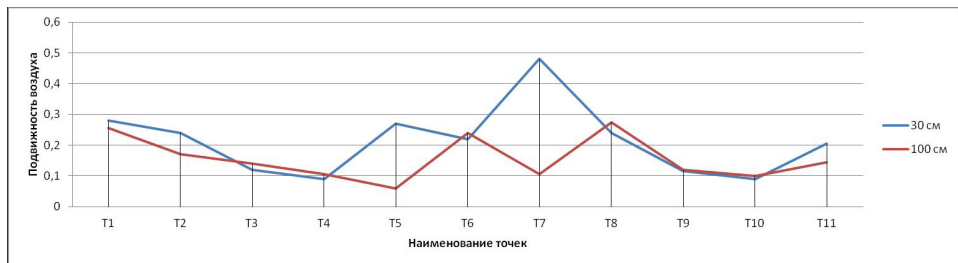


Рис. 4. Зависимость усредненной подвижности воздуха на разных отметках от положения точки с шагом 0,85 м при движении с запада на восток

электрической энергии). Принималось, что в течение дневного времени суток фотоэлектрический модуль заряжает аккумуляторную батарею и обеспечивает питанием потребителей. Принимаем за интервал дневного времени суток: летом $\Delta t_{\text{дв}} = 14$ ч (с 6⁰⁰ до 20⁰⁰), зимой $\Delta t_{\text{дв}} = 8$ ч (с 8⁰⁰ до 16⁰⁰). Общая потребность в электроэнергии с учетом 20 % в связи с неизбежными потерями в проводах, солнечном контроллере и инверторе, а также с возможным увеличением нагрузки и постепенным незначительным снижением эффективности ФЭМ при эксплуатации составила 45,2 кВт-ч на зимний период.

Выбирая в качестве единичной солнечной панели модуль с мощностью 500 Вт, размерами 1956×1340×45 мм производителя *Changzhou Sunday Energy Co* можно определить, что для покрытия нагрузки в 45,2 кВт-ч необходима 91 панель общей площадью 238,5 м², что значительно больше, чем площадь кровли. В то же время с учетом стоимости за одну солнечную панель 25 500 руб. общая стоимость солнечной электростанции (СЭС) составит 2 300 000 руб., что является экономически необоснованным. Таким образом, можно сделать вывод, что при совместной работе солнечных панелей и теплового насоса следует выбирать мощность последнего соразмерную с возможностью современных фотоэлектрических модулей.

С другой стороны, можно рассмотреть возможность использования солнечных панелей исключительно для компенсации нагрузки на освещение, т. е. с учетом потерь 5,4 кВт-ч.

Аналогичных панелей для компенсации данной нагрузки потребуется 11 шт. (рис. 2), то есть общая стоимость СЭС составит 280 500 руб. Угол наклона принимается $\beta = 26^\circ$ для летнего и осенне-весеннего периода. Для зимнего периода угол наклона будет равен $\beta = 65^\circ$, что позволит избежать накопления снега на панелях, так как угол естественного откоса снега равен 30–40°, а при угле более 60° на наклонной поверхности снег не задерживается.

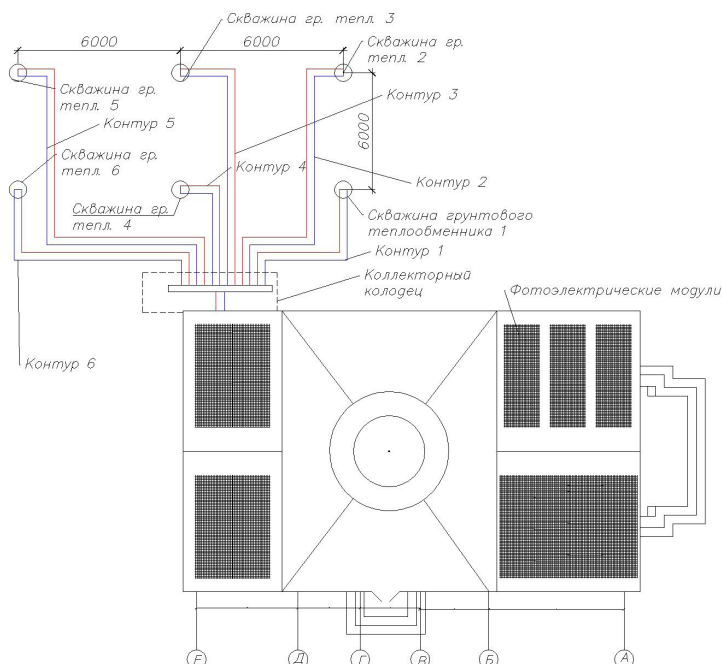


Рис. 2. Установка солнечных панелей и теплового насоса на плане



Стоит отметить, что производители солнечных батарей гарантируют, что за 25 лет эксплуатации КПД панелей не снизится ниже 80 %, а расчетный период жизни превышает 75 лет.

На основании проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1) в качестве возобновляемых источников для получения тепловой энергии при наличии места для размещения внутри храма наиболее гармонично (без нарушения внешней и внутренней архитектуры) будут смотреться тепловые насосы;

2) поскольку тепловые насосы более эффективно работают с теплым полом, то с целью исключения обморожения купола храма в зимний период года для наиболее холодных дней необходимо предусмотреть радиаторную отопительную систему;

3) каждый проект инженерных коммуникаций для различных храмов необходимо выполнять индивидуально с учетом конструктивных и климатических особенностей;

4) следует применять тепловые насосы преимущественно типа грунт-вода, однако, наравне с ними могут использоваться насосы вода-вода при наличии прилегающего к территории храма водоема;

5) при проектировании работы теплонасосной установки от фотоэлектрических модулей в первую очередь необходимо определять максимально возможную мощность солнечной электростанции, после чего на рассчитанную мощность подбирать теплонасосную установку.

Для существенного расширения списка рекомендаций и представления инженерной методики расчета вышеупомянутых систем для православных храмов следует провести дополнительные лабораторные и натурные испытания.

В частности, одним из главных вопросов является составление математического описания процессов естественной конвекции [9] при совместной работе отопительных приборов и теплого пола. На территории Нижнего Новгорода есть лишь несколько храмов, которые имеют такую совмещенную систему отопления, одним из которых является церковь Пресвятой Живоначальной Троицы (ул. Топольная).

Благодаря проведенным натурным исследованиям в этом храме, включающим тепловизионную съемку (рис. 2, 3 цв. вклейки) и замеры подвижности воздуха на разных отметках (рис. 4 цв. вклейки), при совместной работе системы радиаторного отопления и теплого пола появились данные, которые позволяют сформулировать краевые и граничные условия для математического описания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. АВОК Стандарт-2-2004. Храмы православные. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : отраслевой стандарт : дата введения НП «АВОК» 09.06.04. – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2004. – 14 с. : ил. – (АВОК стандарт). – ISBN 5-98267-004-9. – Текст : непосредственный.

2. МДС 31-9.2003. Православные храмы. Т. 2. Православные храмы и комплексы / Архитектурно-художественный центр Московской Патриархии ; составитель М. Ю. Кеслер. – Москва : Технорматив, 2008. – 194 с. : ил. – Текст : непосредственный.

3. Кочев, А. Г. Микроклимат православных храмов : монография / А. Г. Кочев ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2004. – 449 с. : ил. – ISBN 5-87941-343-8. – Текст : непосредственный.

4. Кочев, А. Г. Влияние внешней аэродинамики на микроклимат православных храмов / А. Г. Кочев, М. М. Соколов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2017. – 188 с. – ISBN 978-5-528-00192-0. – Текст : непосредственный.



5. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) : учебник для вузов / В. Н. Богословский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1982. – 415 с. : ил. – Текст : непосредственный.

6. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1973 – 287 с. – Текст : непосредственный.

7. Энциклика LAUDATO SI' Верховного понтифика Франциска. Епископам, пресвитерам и диаконам, людям, посвященным Богу, и всем верным мирянам. О заботе об общем доме / Libreria Editrice Vaticana. – Москва : Издательство Францисканцев, 2015. – 192 с. – Текст : непосредственный.

8. Соколов, М. М. Использование возобновляемых и нетрадиционных источников энергии: учеб. пособие / М. М. Соколов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2015. – 116 с. – ISBN 978-5-528-00054-1. – Текст : непосредственный.

9. Кочев, А. Г. Физико-математическое описание естественной конвекции в помещениях православных храмов / А. Г. Кочев, М. М. Соколов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2012. – № 2. – С. 78–85.

KOCHEV Aleksey Gennadevich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heat and gas supply; SOKOLOV Mikhail Mikhaylovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply; KOCHEVA Elena Alekseevna, assistant of the chair of heat and gas supply; FEDOTOV Artyom Aleksandrovich, postgraduate student of the chair of heat and gas supply

ANALYSIS OF USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR MAINTAINING REQUIRED MICROCLIMATE CONDITIONS IN ORTHODOX CHURCHES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: (831) 433-45-35;
e-mail: unirs@nngasu.ru

Key words: Orthodox churches, renewable energy sources, warm floor, autonomous church, photovoltaic modules.

The article considers specific features of use of renewable energy sources in Orthodox churches abroad. Several Orthodox churches are analyzed in order to choose an optimal building for using alternative energy sources in it. The advantages and disadvantages of the applied technologies are described. Relevant findings are provided.

REFERENCES

1. AVOK Standart–2–2004. Khramy pravoslavnye. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukh. [Orthodox temples. Heating, ventilation and air conditioning] : otraslevoy standart : data vved. NP “AVOK” 09.06.04. Moscow :AVOK-PRESS, 2004, 14 p.: il. (AVOK standart). ISBN 5-98267-004-9.

2. MDS 31-9.2003. Pravoslavnye khramy. T. 2. Pravoslavnye khramy i komplekсы [Orthodox churches. V. 2. Orthodox churches and complexes]. Arkhitektur.-khudozh. tsentr Moskovsk. Patriarkhii ; sostavitel M. Yu. Kesler. – Moscow : Tekhnormativ, 2008. – 194 p. : il.

3. Kochev A. G. Mikroklimat pravoslavnykh khramov [Microclimate of Orthodox churches]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2004, 449 p.: il.



ISBN 5-87941-343-8.

4. Kochev A. G., Sokolov M. M. Vliyanie vneshney aerodinamiki na mikroklimat pravoslavnykh khramov [The influence of external aerodynamics on the microclimate of Orthodox churches]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2017, 188 p. ISBN 978-5-528-00192-0.

5. Bogoslovsky V. N. Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha) [Building Thermophysics (thermophysical fundamentals of heating, ventilation and air conditioning)]: uchebnik dlya vuzov. – 2-e izd., pererab. i dop. – Moscow: Vyssh. shkola, 1982, 415 p., il.

6. Fokin K. F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayuschikh chastey zdaniy [Building heat engineering of enclosing parts of buildings]. Izd. 4-e, pererab. i dop. Moscow: Sroizdat, 1973, 287 p.

7. Entsiklika LAUDATO SI' Verkhovnogo pontifika Frantsiska. Episkopav, presviteram i diakonom, lyudyam, posvyaschyonnym Bogu, i vsem vernym mityanam. O zabote ob obschem dome [Encyclical LAUDATO SI' 'High Pontiff' Francis. Bishops, presbyters and deacons, people dedicated to God, and all faithful laymen. About caring for a shared home]. Libreria Editrice Vaticana. – Moscow: Izd-vo Frantsiskantsev, 2015, 192 p.

8. Sokolov M. M. Ispolzovanie vozobnovlyаемых i netraditsionnykh istochnikov energii [The use of renewable and alternative energy sources]: ucheb. posobie; Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2015, 116 p. ISBN 978-5-528-00054-1.

9. Kochev A. G., Sokolov M. M. Fiziko-matematicheskoe opisanie estestvennoy konveksii v pomeshcheniyakh pravoslavnykh khramov [Physical and mathematical description of natural convection in premises of Orthodox churches] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2012. № 2. P. 78–85.

© А. Г. Кочев, М. М. Соколов, Е. А. Кочева, А. А. Федотов, 2019

Получено: 24.09.2019 г.

УДК 628.543

А. С. ТАРАСОВ, асп. кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии¹, вед. инженер-технолог²; **А. Л. ВАСИЛЬЕВ**¹, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С БОЛЬШИМ СОДЕРЖАНИЕМ ТРУДНООКИСЛЯЕМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-87; эл. почта: k_viv@nngasu.ru

²ОАО «Дзержинский Водоканал»

Россия, 606019, Нижегородская обл., г. Дзержинск, пр-т Дзержинского, д. 43. Тел.: (8313) 25-96-17; эл. почта: alec-tarasoff@mail.ru

Ключевые слова: реактор-нейтрализатор, наружное устройство, внутреннее устройство, система эрлифтов, гидроэлеваторы, стружечная загрузка, поперечные перегородки, барботирующее устройство, трудноокисляемые органические вещества, взвешенные вещества.

Проведен патентный обзор существующего оборудования по нейтрализации сточных вод текстильных предприятий с большим содержанием трудноокисляемых органических соединений, изучены конструкции оборудования и принципы очистки, на основании этого сделаны выводы и разработана экспериментальная модель для испытаний и лабораторных исследований очистки сточных вод текстильного предприятия АО «Яковлевская фабрика».

Ритм жизни современного человека и последние достижения индустрии моды приводят к тому, что в повседневном гардеробе появляется много вещей достаточно ярких цветов. Производители ткани на основании проведенных маркетинговых исследований, условий и возможностей рынка сбыта производят достаточно большую номенклатуру цветных тканей, что приводит к появлению большого количества сточных вод с большим содержанием трудноокисляемых органических соединений и взвешенных веществ. Состав применяемых в производстве красителей меняется в течение рабочего дня, меняется и состав сточных вод, поэтому действующая в настоящее время система биологической очистки не справляется с возросшей нагрузкой, и большая часть поступающих загрязнений сбрасывается в водные объекты.

Трудность классической биологической очистки производственных сильно-окрашенных сточных вод текстильных производств вызвана тем, что основные загрязняющие вещества, такие как остатки красок печатных красителей, поверхностно-активных веществ (ПАВ), большое количество взвешенных веществ являются трудноокисляемыми органическими соединениями и находятся в сточных водах в растворенном состоянии. Для нейтрализации остатков растворов печатных красителей и удаления большого количества взвешенных веществ необходима предварительная локальная физико-химическая очистка [1].

Получили распространение конструкции устройств для деструктивной очист-

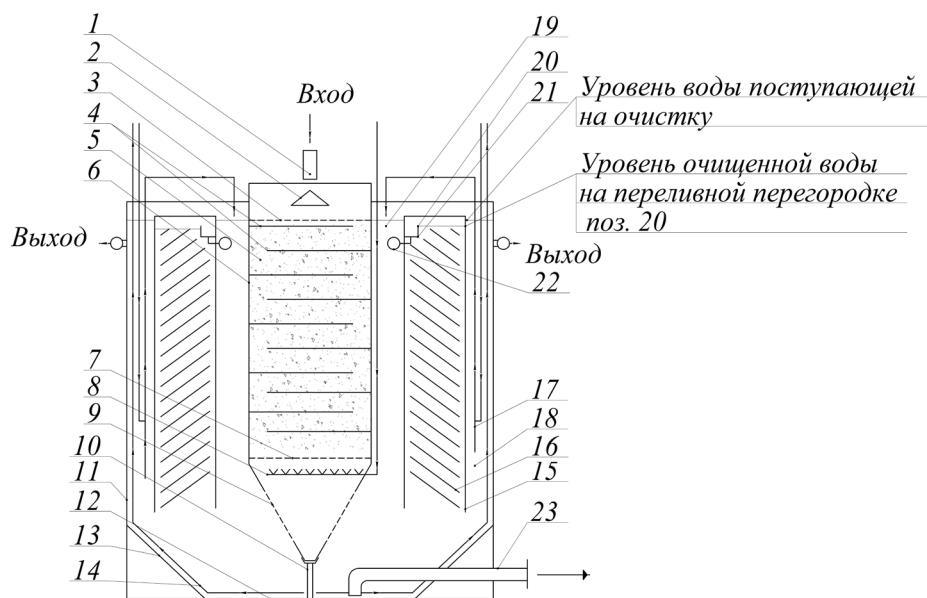
ки промышленных сточных вод, которые содержат нейтрализующую загрузку в виде отходов стальной стружки.

Применяемое оборудование для очистки стоков текстильных предприятий отличается большой разнообразностью конструкций, в процессе эксплуатации хорошо себя зарекомендовавших по надежности и эффективности очистки [2, 3, 4].

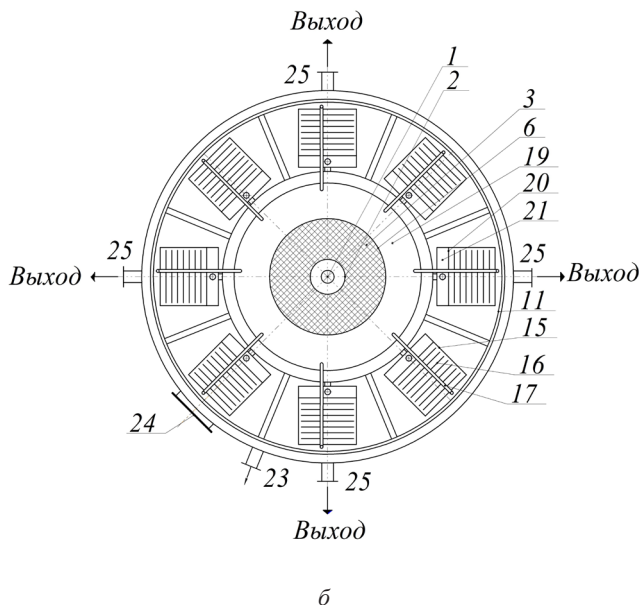
Установка включает последовательно установленные усреднитель стоков, узел подкисления, реактор, нейтрализатор и отстойник. Реактор выполнен в форме прямоугольного резервуара, имеющего продольные и поперечные перегородки, образующие сообщающиеся между собой приемную камеру, рабочие секции, загруженные стружкой, снабженные аэрирующим устройством и пеногасителем, конденсационную камеру пены и камеру обработки сточной воды [1, 5, 6].

Основным недостатком данной конструкции является то, что для перекачки жидкости от одного вида оборудования в другое необходимо насосное оборудование, что влечет за собой затраты электрической энергии и повышение стоимости очистки 1 м³ сточной воды. В составе установки присутствует теплообменное оборудование, которое не сможет эффективно работать со сточными водами, содержащими большое количество взвешенных веществ. Техническая проблема, решаемая предлагаемым изобретением, – создание эффективного устройства для очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений и взвешенных веществ [7, 8].

На рисунке (а, б) представлена предлагаемая конструкция устройства реактора-нейтрализатора для очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений и взвешенных веществ [9].



а



Реактор-нейтрализатор: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху: 1 – вход загрязненной сточной воды; 2 – водоразбрызгивающее приспособление; 3 – водораспределительная решетка; 4 – поперечные перегородки; 5 – стружечная загрузка; 6 – центральное устройство; 7 – опорная решетка; 8 – система барботирования; 9 – конусное перфорированное днище; 10 – опора; 11 – наружное устройство; 12 – плоское днище; 13 – перегородка; 14 – система гидроэлеваторов; 15 – блок тонкослойных пластин; 16 – тонкослойные пластины 17 – система эрлифтов; 18 – застойная зона; 19 – центральная часть устройства; 20 – переливная перегородка; 21 – погружной водосборный лоток; 22 – система водосборных трубопроводов; 23 – система аварийного опорожнения; 24 – люк обслуживания и ремонта; 25 – выход очищенной воды

Разработанное и предлагаемое оборудование работает следующим образом. Вход загрязненной сточной воды осуществляется сверху (1), поступающая вода проходит водоразбрызгивающее устройство (2), проходит через водораспределительную решетку (3), стекая вниз, очищаемая вода проходит ряд перегородок (4), тем самым увеличивается время контакта очищаемой воды со стружечной загрузкой (5), которой заполнен внутренний объем центрального устройства (6), внизу стальную загрузку поддерживает опорная решетка (7), предотвращающая сползание загрузки вниз. Для интенсификации массообменных процессов предусмотрено устройство системы барботирования (8), для выхода воды в нижней части предусмотрено конусное перфорированное днище (9), нагрузка от веса устройства передается на опору (10).

Далее очищаемая сточная вода перетекает в корпус наружного устройства (11) и плоского приварного днища (12), для накопления образующегося осадка взвешенных веществ предназначена перегородка (13), по которой он сползает, и по мере необходимости обслуживающий персонал посредством открывания гидроэлеваторов (14) удаляет и выводит его из устройства.

Очищаемая сточная вода входит в блок тонкослойных пластин (15), на параллельных рядах тонкослойных пластин (16) происходит укрупнение взвешенных веществ за счет разноименных зарядов и слипания, частицы сползают вниз.



Система эрлифтов (17) позволит исключить возникновение и влияние застойных зон (18) путем перекачки и рециркуляции в центральную зону устройства (19).

Очищенная сточная вода, поднимаясь вверх, переливается через переливную перегородку (20) и попадает в погружной водосборный лоток (21), собирается там и через систему сборных трубопроводов (22) уходит на выпуск из устройства, предусмотрена система аварийного опорожнения (23), люк для обслуживания и ремонта (24), выход очищенной воды (25).

Разработанное оборудование может быть изготовлено в производственных условиях с использованием технологического оборудования тяжелого химического машиностроения, с применением электрической сварки, методом рулонирования.

Для проверки эффективности предлагаемой конструкции устройства очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений и взвешенных веществ были проведены лабораторные исследования на реальных сточных водах, образующихся в процессе работы текстильного производства АО «Яковлевская фабрика» (г. Приволжск Ивановской области), содержащие трудноокисляемые органические соединения и взвешенные вещества.

Для проведения сравнительных исследований была собрана лабораторная установка, состоящая из резервуара-усреднителя с перемешивающим и подогревающим устройством, оборудованного приборами КиПиА (автоматический рН метр, расходомер, термометр) и реакторов нейтрализации в количестве двух единиц, первый реактор по внутреннему устройству соответствует прототипу, второй – предлагаемой модели.

Предусмотрено оборудование для приготовления и дозирования растворов кислоты и щелочи, встроенные рН метры позволяют контролировать параметры рН обрабатываемой сточной воды.

Устройство представляет собой два стеклянных цилиндра проточного типа диаметром $D = 100$ мм, рабочим объемом $V = 2\,000$ мл, со встроенным в нижней части пробоотборником, площадь поперечного сечения нейтрализующей загрузки составляет $F = 0,007$ м², в качестве нейтрализующей загрузки использовались отходы металлообработки – стружка стальная – при загрузке производилось уплотнение.

Определено, что максимальная эффективность по осаждению взвешенных веществ 82,0–84,0 % при тонкослойном отстаивании обеспечивается при скорости подачи сточной жидкости в пределах 5–10 мм /с и при угле наклона тонкослойных элементов 55° к горизонту. Удельная нагрузка на рабочую площадь тонкослойных модулей, рекомендуемая СНиП 2.04.03-85 Актуализированная версия п. 6.64, составляет 3,0–3,5 м³/(м² ч).

Резервуар-усреднитель заполнялся исходной сточной водой, включалось перемешивающее устройство и подогреватель для имитации рабочих температур, составляющих 60–70 °С, далее открывается запорный кран, включается подача воздуха в барботирующее устройство, включаются насосы-дозаторы для дозирования растворов кислоты и щелочи, очищаемая сточная вода по системе трубопроводов поступает в устройства нейтрализации № 1 и № 2. Оборудование оснащено пробоотборниками для отбора проб.

Испытания проводились тремя сериями опытов для подтверждения эффективности работы предлагаемого оборудования. Результаты обоснования эффективности предлагаемого оборудования для очистки сточных вод текстильных производств от трудноокисляемых органических соединений и взвешенных веществ приведены в табл. 1, 2, 3.



Таблица 1

Наименование загрязняющих веществ	Единица измерения	Показатели загрязнений до очистки	Предлагаемое устройство реактора
Температура	°С	80–90	20–30
ХПК	мг/дм ³	1080	295
БПК	мг/дм ³	315	84
СПАВ	мг/дм ³	10	2
Цветность	градус	45	5
Взвешенные вещества	мг/дм ³	747	205

Таблица 2

Наименование загрязняющих веществ	Единица измерения	Показатели загрязнений до очистки	Предлагаемое устройство реактора
Температура	°С	80–90	20–30
ХПК	мг/дм ³	1080	265
БПК	мг/дм ³	315	78
СПАВ	мг/дм ³	10	2
Цветность	градус	45	5
Взвешенные вещества	мг/дм ³	747	210

Таблица 3

Наименование загрязняющих веществ	Единица измерения	Показатели загрязнений до очистки	Предлагаемое устройство реактора
Температура	°С	80–90	20–30
ХПК	мг/дм ³	1080	280
БПК	мг/дм ³	315	80
СПАВ	мг/дм ³	10	2
Цветность	градус	45	5
Взвешенные вещества	мг/дм ³	747	180

В результате проведенных исследований установлено, что предлагаемое устройство для очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений и взвешенных веществ позволяет при прочих равных показателях загрязнений очищаемой сточной воды достигать более высокой степени очистки от основных загрязняющих веществ (табл. 4).



Таблица 4

Определяемый показатель	Предлагаемая модель эффективности очистки (%)
ХПК	74
БПК	74
СПАВ	80
Цветность	88
Взвешенные вещества	73

По результатам проведенных опытов установлены следующие показатели эффективности очистки предлагаемого устройства:

- 1) по ХПК – 74 %;
- 2) по БПК – 74 %;
- 3) по СПАВ – 80 %;
- 4) по цветности – 88 %;
- 5) по взвешенным веществам – 73 %.

Внедрение в состав оборудования производственных очистных сооружений предлагаемого устройства позволит эффективно извлекать из сточных вод трудноокисляемые органические соединения и взвешенные вещества, понизить температуру стоков, снять нагрузку с последующей ступени биологической очистки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию : учебное пособие для студентов химико-технологических специальностей высших учебных заведений / [Г. С. Борисов и др.] ; под ред. Ю. И. Дытнерского. – 4-е изд., стер. Перепечатка с изд. 1991 г. – Москва : Альянс, 2008. – 493 с. : ил. – ISBN 978-5-903034-35-2. – Текст : непосредственный.
2. Васильев, Г. В. Очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности / Г. В. Васильев. – Москва : Легкая индустрия, 1969. – 236 с. – Текст : непосредственный.
3. Демура, М. В. Проектирование тонкослойных отстойников / М. В. Демура. – Киев : Будивельник, 1981. – 49 с. – Текст : непосредственный.
4. Домашнев, А. Д. Конструирование и расчет химических аппаратов / А. Д. Домашнев. – Москва : Машгиз, 1961. – 624 с. – Текст : непосредственный.
5. Ефимов, А. Я. Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности / А. Я. Ефимов, И. М. Таварткиладзе, Л. И. Ткаченко ; под общ. ред. А. Я. Ефимова. – Киев : Техніка, 1985. – 231 с. : ил. – Текст : непосредственный.
6. Жуков, А. И. Очистка промышленных сточных вод / А. И. Жуков. – Москва : Госстройиздат, 1966. – 286 с. – Текст : непосредственный.
7. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Химия, 1973. – 750 с. – Текст : непосредственный.
8. Технологические инновации в области очистки сточных вод / Е. М. Крючихин, Н. А. Николаев, Н. А. Жильникова, Н. Ю. Большаков. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 6, ч. 1. – С. 9–14.
9. Устройство для очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений и взвешенных веществ : патент 2692381 Российской Федерация : МПК CO2F1/64 / А. Л. Васильев, А. С. Тарасов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – № 2018117026 ; заявл. 07.05.2018 ; опубл. 24.06.2019. 10 с. : ил. – Текст : непосредственный.



TARASOV Aleksandr Sergeevich, postgraduate student of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry¹, leading engineer-technologist²; VASILEV Aleksey Lvovich¹, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A DEVICE FOR TREATMENT OF WASTEWATER WITH A HIGH CONTENT OF HARD-TO-OXIDIZE ORGANIC COMPOUNDS AND SUSPENDED SOLIDS

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-87;
e-mail: k_viv@nngasu.ru

²JSC Dzerzhinsky Vodokanal

43, Dzerzhinsky Ave, Dzerzhinsk, 606019, Nizhny Novgorod region, Russia.
Tel.: +7 (8313) 25-96-17; e-mail: alec-tarasoff@mail.ru

Key words: reactor-neutralizer, outer device, inner device, airlift system, hydroelevators, chip load, cross partitions, bubbling device, hard-to-oxidize organic substances, suspended solids.

The article reviews patents on equipment for neutralization of wastewater of textile enterprises, with a high content of hard-to-oxidize organic compounds; equipment designs and principles of cleaning are studied; based on this, conclusions are drawn and a model is developed for testing and laboratory research of wastewater treatment of a textile enterprise JSC "Yakovlevskaya factory"

REFERENCES

1. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Basic processes and apparatuses of chemical technology]: posobie po proektirovaniyu : uchebnoe posobie dlya studentov khimiko-tekhnologicheskikh spetsialnostey vysshikh uchebnykh zavedeniy / [G. S. Borisov et al.] ; pod red. Yu I. Dytnerskogo. – 4-e izd., ster. Perepechatka s izd. 1991 g. Moscow, AlyanS, 2008. 493 p. : il. – ISBN 978-5-903034-35-2.
2. Vasilev G. V. Ochistka stochnykh vod predpriyatiy tekstilnoy promyshlennosti [Wastewater treatment of textile industry]. Moscow, Lyogkaya industriya, 1969, 236 p.
3. Demura M. V. Proektirovanie tonkosloynnykh otstoynikov [Design of thin-layer sedimentation tanks]. Kiev, Budivelnik, 1981, 49 p.
4. Domashnev A.D. Konstruirovaniye i raschyot khimicheskikh apparatov [Design and calculation of chemical devices]. Moscow, Mashgiz, 1961, 624 p.
5. Efimov A. Ya., Tavartkiladze I. M., Tkachenko L. I. Ochistka stochnykh vod predpriyatiy lyogkoy promyshlennosti [Purification of sewage of light industry enterprises]; pod obsch. red. A.Ya. Efimova. Kiev, Tekhnika, 1985, 231 p.: il.
6. Zhukov A. I. Ochistka promyshlennykh stochnykh vod [Industrial wastewater treatment]. Moscow, Gosstroyizdat, 1966, 286 p.
7. Kasatkin A. G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Basic processes and apparatuses of chemical technology]. – 2-e izd. pererab. i dop. Moscow, Khimiya, 1973, 750 p.
8. Kryuchikhin E. M., Nikolaev N.A., Zhilnikova N.A, Bolshakov N. Yu. Tekhnologicheskie innovatsii v oblasti ochistki stochnykh vod [Technological innovation in the field of wastewater treatment]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary technique]. 2007, № 6, ch. 1. P. 9–14.
9. Ustroystvo dlya ochistki stochnykh vod ot trudnookislyaemykh organicheskikh soedineniy i vzveshennykh veschestv [Devise for wastewater treatment from hard-to-oxidize organic compounds and suspended substances]: pat. 2692381 Ros. Federatsiya: MPK CO2F1/64/ A. L. Vasilev, A. S. Tarasov; Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. № 2018117026; zayavl. 07.05.2018; opubl. 24.06.2019. 10 p.:il.

© А. С. Тарасов, А. Л. Васильев, 2019

Получено: 24.09.2019 г.



УДК 628.2+628.3+696.12/14

М. В. ШУВАЛОВ, канд. техн. наук, директор Академии строительства и архитектуры, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ СТОЧНЫХ ВОД, ОТВОДИМЫХ ОТ САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И БЫТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244. Тел.: (846) 242-41-70, эл. почта: ekos240@gmail.com

Ключевые слова: бытовые сточные воды, хозяйственно-фекальные сточные воды, серые, желтые, коричневые, зеленые и черные воды, концепция раздельного отведения и обработки компонентов бытовых сточных вод, обработка и утилизация человеческих экскрементов, централизованная и децентрализованная схемы канализации.

Выполнено обобщение информации о видах сточных вод, отводимых от санитарно-технических приборов и бытового оборудования, на основе которой автором уточнена их классификация. Приведены иностранные эквиваленты терминов на английском языке видов сточных вод, формирующих бытовые сточные воды.

Вопрос о классификации видов сточных вод, отводимых после использования воды в бытовой деятельности человека в жилых и общественных зданиях и бытовых помещениях промышленных зданий, приобретает важное значение в современных условиях поиска наилучших доступных технологий очистки и обработки сточных вод и развития концепции разделения бытовых (хозяйственно-фекальных) сточных вод на отдельные потоки с целью утилизации компонентов сточных вод.

Целью настоящей статьи является обобщение информации о классификации видов сточных вод, отводимых от санитарно-технических приборов и бытового оборудования, а также уточнение ее для обеспечения понимания специалистами ключевых терминов и основных понятий в области санитарной техники. Данная классификация является важным инструментом для принятия решений при проектировании и строительстве новых и реконструкции существующих систем канализации поселений.

Идея раздельного сбора, обработки и утилизации человеческих экскрементов была предложена и реализована в древние времена.

В девятнадцатом столетии в процессе модернизации технологических решений и оборудования, применяемых при вывозной системе канализации, была разработана концепция разделения человеческих экскрементов на отдельные потоки и выделение хозяйственных сточных вод в отдельный поток. Большинство технологических решений, направленных на улучшение функциональных и санитарно-гигиенических свойств вывозной системы канализации были реализованы на практике в значительных масштабах. Во второй половине девятнадцатого столетия в рамках развития этой концепции параллельно с процессом модернизации вывозной системы были разработаны и построены многочисленные варианты раздельной системы сплавной канализации, отличающиеся по принципу функционирования трубопроводных сетей и сооружений на них (системы: Лирнура, Бурова, Шона, Грибоедова, Варинга и др.).



В первой четверти двадцатого столетия общепринятой парадигмой становится технология канализования поселений, основанная на применении централизованной схемы канализации с отведением хозяйственных и фекальных сточных вод в одном потоке на коммунальные станции биологической очистки.

В конце 90-х гг. двадцатого столетия был возобновлен поиск перспективных технологических решений по сбору, отведению, очистке, утилизации и захоронению бытовых (хозяйственно-фекальных) сточных вод и их компонентов на основе концепции разделения человеческих экскрементов на отдельные потоки и выделение хозяйственных сточных вод в отдельный поток [1]. Поиск перспективных технологических решений в рамках этой концепции был обусловлен следующими причинами: во-первых, истощением природных водных ресурсов в районах с высокой плотностью населения; во-вторых, формированием нового мировоззрения, согласно которому решение задач по снижению эмиссии загрязнений в окружающую среду и повышению энерго- и ресурсоэффективности технологий, применяемых для отведения (транспортирования) и очистки сточных вод, должно осуществляться на основе модернизации всего комплекса пяти взаимосвязанных видов деятельности (процессов): *сбора, отведения, очистки, утилизации и захоронения* сточных вод и их компонентов. Третьей причиной являлось накопление информации, полученной на основе систематических исследований, начатых в текущем столетии, о низкой эффективности классической технологии биологической очистки сточных вод по обезвреживанию и задержанию новых загрязняющих веществ (*emerging contaminants*), к числу которых относятся [2]: фармацевтические, гормональные и наркотические препараты; ультрафиолетовые фильтры, содержащиеся в солнцезащитных косметических кремах; наноматериалы и микро(нано) пластики, а также продукция и отходы химических предприятий, содержащие новые пестициды и органические кислородсодержащие, полициклические ароматические и металлоорганические соединения.

Одной из главных тем в области исследований по очистке, обработке и повторному использованию компонентов бытовых сточных вод является дискуссия по вопросу группирования первичных потоков сточных вод, отводимых непосредственно от санитарно-технических приборов и бытового оборудования.

В современных зданиях с классической системой внутренней канализации потоки сточных вод от всех санитарно-технических приборов и бытового оборудования отводятся в единую трубопроводную сеть бытовой (хозяйственно-фекальной) канализации. Для практической реализации технологических решений концепции разделения хозяйственных и фекальных сточных вод, а также разделения человеческих экскрементов на отдельные потоки требуется в первую очередь устройство в здании нескольких отводных трубопроводных сетей, к которым будут подключены определенные группы санитарно-технических приборов и бытового оборудования.

Группирование первичных потоков сточных вод в определенный вид сточных вод, как правило, выполняется исследователями в зависимости от качественных и количественных показателей загрязняющих веществ, содержащихся в использованной воде, целесообразности и доступности технологий их совместной обработки и утилизации компонентов сточных вод для конкретных условий местоположения объекта канализования. Например, в книге [3] приводится описание семи вариантов инновационных систем канализации поселения. Каждая из этих семи систем канализации «представляет собой конфигурацию различных технологий, которые выполняют различные функции в отношении компонентов бытовых сточ-



ных вод (мочи, фекалий, воды для смыва, воды для подмывания, хозяйственных вод и др.) или продуктов из отходов».

Поиск рационального решения по удалению бытовых сточных вод на основе концепции разделения хозяйственных и фекальных сточных вод, а также разделения человеческих экскрементов на отдельные потоки привел зарубежных исследователей [3–22] к введению в обращение следующих названий видов сточных вод, отводимых после использования воды в бытовой деятельности человека:

- *black water or blackwater* – черные воды;
- *toilet wastewater* – синоним *black water*;
- *grey water or grey wastewater* (US: *gray water or graywater*) – серые воды;
- *sullage* – синоним *grey water*;
- *diluted wastewater* – синоним *grey water*;
- *light wastewater* – синоним *grey water*;
- *light greywater* – светло-серые воды;
- *dark greywater* – темно-серые воды;
- *yellow water* – желтые воды;
- *brown water* – коричневые воды;
- *green water* – зеленые воды.

В техническом словаре, изданном в 2005 г. *IWA publishing* [21], по терминологии в области управления водой и отходами приведены определения терминов только для двух видов сточных вод: *black water* и *grey water (or sullage)*. Первый вид сточных вод образуется в туалетах или это содержимое, удаляемое из септиков в индивидуальных системах канализации зданий, а второй вид – сточные воды, отводимые из раковин, ванн, умывальников, душей, стиральных машин и т. д.

В словаре терминов, использованных в Руководстве ВОЗ (WHO), изданном в 2006 г. [22], приведены определения терминов: *blackwater* и *greywater*. Первый вид сточных вод образуется в туалетах и «содержит фекалии, мочу и воду для смыва (и в конечном итоге воду для подмывания в «моющих» сообществах)», а второй вид – «вода из кухни, ванной и/или прачечной, которая обычно не содержит значительные концентрации экскрементов».

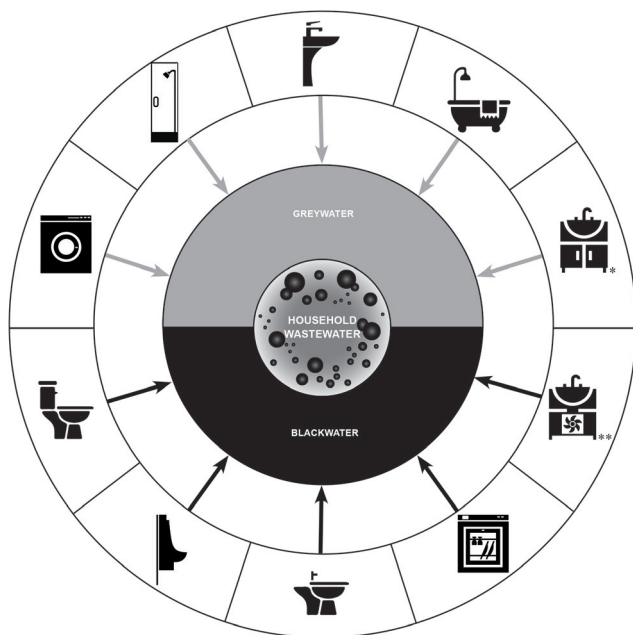
Разработчики пособия 1997 г. издания [23, с. 8] для описания сточных вод, отводимых от кухонных моек, ванн, умывальников и тому подобных приборов и не содержащих человеческие экскременты, использовали термин *хозяйственно-банные сточные воды*. Этот термин не нашел широкого применения в отечественной документации и литературе, а вместо него получил распространение заимствованный из зарубежной литературы термин *серые воды* – *grey water* (US: *graywater*).

В учебнике (2002 г.) С. В. Яковлева и Ю. В. Воронова [24, с. 644] представлена информация о том, что бытовые сточные воды, образующиеся в жилых зданиях, формируются из двух основных потоков. Первый вид сточных вод – *хозяйственные*, или *серые* воды, которые отводят от санитарных приборов: умывальников, кухонных раковин, ванн, душевых поддонов, стиральных и посудомоечных машин. Второй вид – *фекальные*, или *черные* воды, которые отводят от унитазов и писсуаров.

При рассмотрении на стадии проектирования процедуры группирования первичных потоков сточных вод, отводимых от санитарно-технических приборов и бытового оборудования, в работах [5–12] уделяется значительное внимание вопросу о том, объединять ли поток кухонных сточных вод (или как его предложил называть Р. А. Wilderer [10] – *green water*) с серыми водами или с потоком черных вод? Например, в США этот вопрос решается в разных штатах по-своему.

В инструкции по проектированию систем для повторного использования серой воды 2017 г. [6] сказано, что «вода из туалетов, кухонных раковин или вода от стирки пеленок (подгузников) не считается серой водой в штате Калифорния», а в Административном кодексе штата Вашингтон (в редакции 2017 г.) [20] приводятся определения терминов серые воды, светло-серые воды и темно-серые воды, из которых следует, что поток сточных вод из кухонных раковин и посудомоечных машин называется темно-серые воды, и этот поток не исключается из потока серые воды.

Введение в действие в декабре 2018 г. международного стандарта ISO 20670:2018(en) «*Water reuse – Vocabulary*», в котором установлены определения для видов сточных вод *blackwater* и *greywater* (*graywater*), подводит итог дискуссии на современном этапе по вопросу – куда направлять кухонные сточные воды. В указанном стандарте приведены две группы санитарно-технических приборов и бытового оборудования, каждая из которых формирует определенный вид сточных вод, состоящий из первичных потоков стоков от конкретных точек сброса. На рис. 1 представлено графическое отображение классификации видов сточных вод, отводимых от санитарно-технических приборов и бытового оборудования, в соответствии со стандартом ISO 20670:2018(en).



*– кухонная мойка

**– кухонная мойка, оборудованная измельчителем пищевых отходов

Рис. 1. Классификации видов сточных вод, отводимых от санитарно-технических приборов и бытового оборудования, в соответствии со стандартом ISO 20670:2018(en)

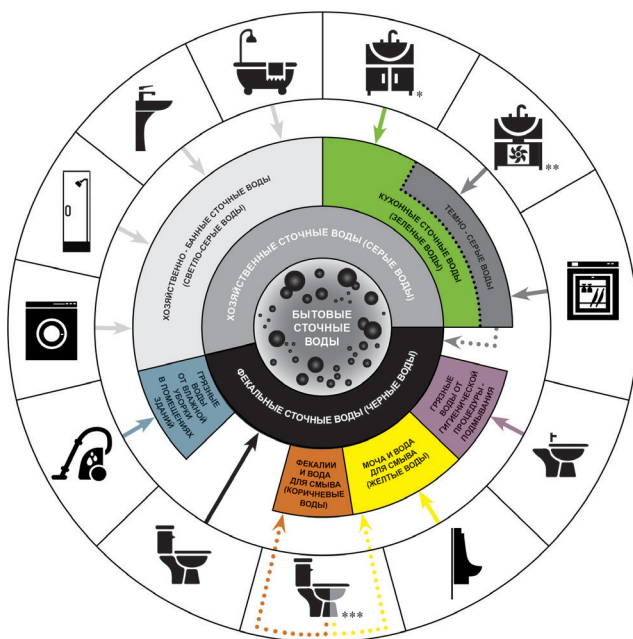
Необходимо добавить, что в определении термина *greywater* (*graywater*) из стандарта ISO 20670:2018(en) не был затронут важный вопрос, касающийся рисков для здоровья человека при использовании очищенных серых вод в тех случаях, когда в поток серых вод, отводимых от ванн для стирки одежды, поступают

микробиологические загрязнения фекального происхождения в процессе стирки и полоскания детских пеленок и грязной одежды. Этот специфический вопрос как нерешенная проблема классификации сточных вод затронут в работах [4, 5, 8, 12, 22].

Следует отметить, что в словаре *IWA publishing* [21] и стандарте ISO 20670:2018(en) не представлена информация о терминах *yellow water*, *green water* и *brown water*, которые часто применяются в технической литературе наряду с их синонимами, соответственно: *human urine*, *kitchen wastewater* и *wastewater containing faeces*.

Современная классификация видов сточных вод, формирующих при классической системе внутренней канализации здания объединенный поток бытовых сточных вод, основана на фиксации ряда вариантов схем по объединению потоков сточных вод, отводимых от определенных санитарно-технических приборов и бытового оборудования.

На рис. 2 представлено графическое отображение уточненной автором классификации видов сточных вод, отводимых от санитарно-технических приборов и бытового оборудования, составленное на основе обобщения информации из работ [3–22], стандарта ISO 20670:2018(en) и дополнения в иконографическую схему еще одного вида сточных вод, образующихся при влажной уборке в помещениях зданий, который не обозначен и не описан по составу в выявленных публикациях.



*— кухонная мойка

**— кухонная мойка, оборудованная измельчителем пищевых отходов

*** — унитаз с системой отделения мочи

Рис. 2. Классификации видов сточных вод, отводимых от санитарно-технических приборов и бытового оборудования



Выводы:

1. Классификация видов сточных вод является важным инструментом для принятия решений при проектировании и строительстве новых и реконструкции существующих систем канализации поселений. Подтверждением актуальности и большой значимости процедуры установления единых терминов видов сточных вод, отводимых от санитарно-технических приборов и бытового оборудования, является введение в действие в декабре 2018 г. международного стандарта ISO 20670:2018(en) “*Water reuse – Vocabulary*”.
2. Обобщенная информация о видах сточных вод, отводимых от санитарно-технических приборов и бытового оборудования, и уточненная на ее основе классификация видов сточных вод позволят установить единую терминологию основных понятий в области санитарной техники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шувалов, М. В. Дialeктика совокупности теоретических, методологических и нормативных положений, применяемых для проектирования канализации поселений / М. В. Шувалов. – DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.6. – Текст : электронный // Градостроительство и архитектура. – 2018. – Т. 8, № 2. – С. 35–45.
2. Кофман, В. Я. «Новые загрязняющие вещества» (emerging contaminants) в водной среде: зарубежные исследования / В. Я. Кофман. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 3. – С. 46–53.
3. Sustainable Sanitation in Cities: A Framework for Action / C. Lüthi, A. Panesar, T. Schütze, A. Norström, J. McConville, J. Parkinson, D. Saywell, R. Ingle. – Rijswijk : Papiroz Publishing House, 2011. – 165 p. – URL: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/sustainable-sanitation-in-cities--a-framework-for-action-susan-2011.pdf>. – Текст : электронный.
4. Eriksson, E. H. Potential and problems related to reuse of water in households : Ph. D. Thesis / E. H. Eriksson. – Текст : электронный // Environment & Resources / Technical University of Denmark (DTU). – Copenhagen, 2002. – P. 41. – URL: <http://www.er.dtu.dk>.
5. Imhof, B. Greywater treatment on household level in developing countries – a state of the art review / B. Imhof, J. Mühleemann ; supervisor A. Hochschule ; Swiss Federal Institute of Technology Zürich. – Zurich, 2005. – 98 p. – Текст : непосредственный.
6. Graywater design manual for outdoor irrigation. – San Francisco : Public utilities commission , 2017. – 42 p. – Текст : непосредственный.
7. Feasibility of on-site grey-water reuse for toilet flushing in China / J. Zhu, M. Wagner, P. Cornel, H. Chen and X. Dai. – DOI:10.2166/wrd.2016.086. – Текст : электронный // Journal of Water Reuse and Desalination. – 2018. – Vol. 08, № 1. – P. 1–13.
8. White paper on graywater / American Water Works Association, Water Environment Federation and the Watereuse Association. – 2009. – 49 p. – URL: https://www.google.com/search?q=770+White+paper+on+graywater+%2F+American+Water+Works+Association%2C+Water+Environment+Federation+and+the+Watereuse+Association.+--+2009.+--49+p.&rlz=1C1GGRV_enRU798RU798&oeq. – Текст : электронный.
9. Anaerobic treatment as a core technology for energy, nutrients and water recovery from source-separated domestic waste (water) / G. Zeeman, K. Kujawa, T. de Mes, L. Hernandez, M. de Graaf, L. Abu-Ghunn [et al]. – DOI: 10.2166/wst.2008.101. – Текст : электронный // Water Science and Technology. – 2008. – Vol. 57, № 8. – P. 1207–1212.
10. Wilderer, P. A. Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: Some thought about reasons, means and needs / P. A. Wilderer. – Текст : непосредственный // Water Sciens and Technology. – 2004. – Vol. 49, № 7. – P. 8–16.
11. Kujawa-Roeleveld, K. Anoerobic treatment in decentralized and source-separation-based sanitation concepts / K. Kujawa-Roekeveld, G. Zeeman. – Текст : непосредственный // Reviews in Environmental Sciense and Bio/Technology. – 2006. – № 5. – P. 115–139.
12. Schneider, L. Rule development committee issue research report final: Greywater reuse



- in Washington State / L. Schneider ; Washington State Department of Health. – Washington, 2009. – 16 p. – URL: <https://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/337-108.pdf>. – Текст : электронный.
13. Winward, G. P. Disinfection of grey water : Ph. D. Thesis / G. P. Winward ; Cranfield university, centre for water sciences, department of sustainable systems, school of applied science. – Cranfield (Bedfordshire), 2007 (October). – 189 p. – Текст : непосредственный.
14. Gaulke, L. S. On-site wastewater treatment and reuses in Japan / L. S. Gaulke. – Текст : непосредственный // *Water Management*. – 2006. – Vol. 159, № 2. – P. 103–109.
15. Shoa, T. Z. Source separation technologies, opportunities for sustainable wastewater management / T. Z. Shoa, M. Barjienbruh and A. Wriege-Bechtold. – Текст : непосредственный // *European Water*. – 2017. – № 58. – P. 111–117.
16. Otterpohl, R. Innovative technologies for decentralized wastewater management in urban and peri-urban areas / R. Otterpohl, U. Braun, M. Oldenburg. – Текст : электронный // 5th Specialised conference on small water and wastewater treatment systems, 24-26 september 2002. – Istanbul (Turkey), 2002. – P. 27–36. – URL: https://businessdoc.com/Green_Solution/67316725-Innovative-technologies-for-decentralized-wastewater-management-in-urban-and-peri-urban-areas.html.
17. Zeeman, G. Centralised or decentralized sanitation chains / G. Zeeman. – Текст : непосредственный // *Nieuwe nitdagingen ; 61e vakantiecursus in drinkwatervoorziening, 28e vakantiecursus riolering en afvalwaterbehandeling*. – Delft (Netherlands), 2009. – P. 101–110.
18. Alkaline dehydration of anion-exchanged human urine: volume reduction, nutrient recovery and process optimization / P. Simha, J. Srnecal, A. Nordin, C. Lalander, B. Vinnerås. – Текст : непосредственный // *Water Research*. – 2018. – Vol. 142. – P. 325–336.
19. Справочник санитарных систем и технологий / Э. Тилли, Л. Ульрих, К. Люти, Ф. Реймонд, Р. Шертенляйб, К. Цурбрюгг ; Швейцарский федеральный институт науки и технологии воды (Eawag). – 2-е изд. – Dübendorf : Imprimerie Nouvelle Gonnet, 2014. – 175 с. – Текст : непосредственный.
20. Greywater Reuse for Subsurface Irrigation. Chapter 246-274 WAC : rules and regulations of the Washington State Department of Health : effective 2011-07-31 : formatting revised 2017-06-24. – URL: <https://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/337-062.pdf>. – Текст : электронный.
21. Smith, P. G. Dictionary of water and waste management / G. Smith, J. S. Scott. – Second edition. – London : IWA publishing, 2005. – 468 p. – Текст : непосредственный.
22. WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 1. Policy and regulatory aspects / World Health Organization. – Geneva : Press WHO, 2006. – 100 p. – Текст : непосредственный.
23. МДС 40-2.2000. Пособие по проектированию автономных инженерных систем многоквартирных и блокированных жилых домов (водоснабжение, канализация, теплоснабжение и вентиляция, газоснабжение, электроснабжение) : утвержден и введен в действие письмом Управления стандартизации, технического нормирования и сертификации от 15.05.1997 г. № 13-288. – Москва : ЦПП, 2008. – 48 с. – Текст : непосредственный.
24. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов ; под общей редакцией Ю. В. Воронова. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва : АСВ, 2002. – 704 с. – ISBN 5-93093-119-4. – Текст : непосредственный.

SHUVALOV Mikhail Vladimirovich, candidate of technical sciences, Director of the Academy of Civil Engineering and Architecture, associate professor of the chair of water supply and sewage

CLASSIFICATION OF WASTEWATER TYPES DISCHARGED FROM SANITARY APPLIANCES AND HOUSEHOLD EQUIPMENT



Samara State Technical University

244, Molodogvardeyskaya St., Samara, 443100, Russia. Tel.: +7 (846) 242-41-70;

e-mail: ekos240@gmail.com

Key words: household wastewater, household-fecal wastewater, grey, yellow, brown, green and black water, concept of separate discharge and treatment of household wastewater components, treatment and utilization of human excrements, centralized and decentralized sewage scheme.

The article generalizes information on wastewater types discharged from sanitary appliances and household equipment and, on this basis, wastewater classification is performed. Foreign equivalents of terms concerning the types of wastewater forming household wastewater are presented in English.

REFERENCES

1. Shuvalov M. V. Dialektika sovokupnosti teoreticheskikh, metodologicheskikh i normativnykh polozheniy, primenyaemykh dlya proektirovaniya kanalizatsii poseleniy [Dialectics of the set of theoretical, methodological and regulatory provisions used for the design of sewage of settlements]. DOI: 10.17673/Vestnik. 2018.02.6. Gradostroitelstvo i arkhitektura [Urban planning and architecture]. 2018. Vol. 8, № 2. P. 35–45.
2. Kofman V. Ya. «Novye zagryaznyayushie veschestva» (emerging contaminants) v vodnoy srede: zarubezhnye issledovaniya ["New pollutants" (emerging contaminants) in the aquatic environment: foreign studies]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary equipment]. 2018. № 3. P. 46–53.
3. Sustainable Sanitation in Cities: A Framework for Action / C. Lüthi, A. Panesar, T. Schütze, A. Norström, J. McConville, J. Parkinson, D. Saywell, R. Ingle. Rijswijk: Papiroz Publishing House, 2011, 165 p. – URL: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/sustainable-sanitation-in-cities--a-framework-for-action-susan-2011.pdf>.
4. Eriksson E. H. Potential and problems related to reuse of water in households: Ph.D. Thesis. Environment & Resources Technical University of Denmark (DTU). Copenhagen, 2002, 41 p. – URL: <http://www.er.dtu.dk>.
5. Imhof B. Greywater treatment on household level in developing countries – a state of the art review / B. Imhof, J. Mühlemann; Supervisor A. Hochschule; Zürich. Swiss Federal Institute of Technology. Zurich, 2005, 98 p.
6. Graywater design manual for outdoor irrigation // San Francisco : Public utilities commission. 2017, 42 p.
7. Feasibility of on-site grey-water reuse for toilet flushing in China / J. Zhu, M. Wagner, P. Cornel, H. Chen and X. Dai // DOI:10.2166/wrd.2016.086. Journal of Water Reuse and Desalination. 2018. Vol. 08, № 1. P. 1–13.
8. White paper on graywater / American Water Works Association, Water Environment Federation and the Watereuse Association. 2009, 49 p. – URL: https://www.google.com/search?q=770+White+paper+on+graywater+%2F+American+Water+Works+Association%2C+Water+Environment+Federation+and+the+Watereuse+Association.+--+2009.+--+49+p.&rlz=1C1GGRV_enRU798RU798&oq.
9. Anaerobic treatment as a core technology for energy, nutrients and water recovery from source-separated domestic waste (water) / G. Zeeman, K. Kujawa, T. de Mes, L. Hernandez, M. de Graaf, L. Abu-Ghunm, et al // DOI: 10.2166/wst.2008.101. Water Sci. Technol. 2008. Vol. 57, № 8. P. 1207–1212.
10. Wilderer P. A. Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: Some thought about reasons, means and needs // Water Science and Technology. 2004, Vol. 49, № 7. P. 8–16.
11. Kujawa-Roeleveld K., Zeeman G. Anaerobic treatment in decentralized and source-separation-based sanitation concepts // Reviews in Environmental Science and Bio / Technology. 2006, № 5. P. 115–139.



12. Schneider L. Rule development committee issue research report final: Greywater reuse in Washington State / Washington State Department of Health, 2009, 16 p. – URL: <https://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/337–108.pdf>.
13. Winward G. P. Disinfection of grey water. Ph. D. Thesis. Center for Water Sciences Department of Sustainable Systems School of Applied Sciences. Granfield University. October 2007, 189 p.
14. Gaulke L.S. On-site wastewater treatment and reuses in Japan // Water Management. 2006. Vol. 159, № 2. P. 103–109.
15. Shoa T.Z. Source separation technologies, opportunities for sustainable wastewater management / T. Z. Shoa, M. Barjienbruh and A. Wriege-Bechtold // European Water. 2017, № 58. P. 111–117.
16. Otterpohl R., Braun U., Oldenburg M. Innovative technologies for decentralized wastewater management in urban and peri-urban areas // 5th Specialised conference on small water and wastewater treatment systems. Istanbul – Turkey, 24-26 September 2002, p. 27–36. – URL: https://businessdoc.com/Green_Solution/67316725-Innovative-technologies-for-decentralized-wastewater-management-in-urban-and-peri-urban-areas.html.
17. Zeeman G. Centralised or decentralized sanitation chains // Nieuwe nitdagingen; 61e vakantiecursus in drinkwatervoorziening, 28e vakantiecursus riolering en afvalwaterbehandeling. Delft (Netherlands), 2009. P. 101–110.
18. Alkaline dehydration of anion-exchanged human urine: Volume reduction, nutrient recovery and process optimization / P. Simha, J. Srnecal, A. Nordin, C. Lalander, B. Vinnerås // Water Research. 2018. Vol. 142. P. 325–336.
19. Tilli E., Ulrikh L. Lyuti K., Reymond F., Shertenlyayb R., K. Tsurbryugg. Spravochnik sanitarnykh sistem i tekhnologiy [Reference book of sanitary systems and technologies]. 2-e izd. Shveysarskiy federalny institut nauki i tekhnologii vody (Eawag). – Dübendorf: Imprimerie Nouvelle Gonnet, Belley, France, 2014, 175 p.
20. Greywater Reuse for Subsurface Irrigation Chapter 246-274 WAC. Rules and Regulations of the Washington State Department of Health. Effective July 31, 2011. Formatting Revised June 2017, 24 p. – URL: <https://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/337-062.pdf>.
21. Smith P. G., Scott J. S. Dictionary of water and waste management. Second edition / London: IWA publishing, 2005, 468 p.
22. WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 1. Policy and regulatory aspects / World Health Organization. Geneva: Press WHO, 2006, 100 p.
23. MDS 40-2.2000. Posobie po proektirovaniyu avtonomnykh inzhenernykh sistem odnokvartirnykh i blokirovannykh zhilykh domov (vodospabzhenie, kanalizatsiya, teplosnabzhenie i ventilyatsiya, gazospabzhenie, elektrosnabzhenie) [Manual for the design of Autonomous engineering systems of single-family and blocked residential buildings (water, sewerage, heat and ventilation, gas, electricity)] / utverzhdyon i vvedyon v deystvie pismom Upravleniya standartizatsii, tekhnicheskogo normirovaniya i sertifikatsii ot 15.05.1997 g. № 13-288. Moscow: TsPP, 2008, 48 p.
24. Yakovlev S. V., Voronov Yu. V. Vodootvedenie i ochistka stochnykh vod [Wastewater sewage and treatment]: uchebnik dlya vuzov / Pod obschey redaktsiey Yu. V. Voronova. 2-e izd., dop. i pererab. Moscow: ASV, 2002, 704 p. ISBN 5-93093-119-4.

© М. В. Шувалов, 2019

Получено: 26.08.2019 г.



УДК 628.16

Э. А. КЮБЕРИС, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; **А. Л. ВАСИЛЬЕВ**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел./факс: (831) 430-08-60;
эл. почта: k_viv@nngasu.ru

Ключевые слова: водоснабжение, водоподготовка, подземные источники, обезжелезивание, деманганация.

Представлены результаты исследований комбинированной технологии удаления высоких концентраций железа и марганца с применением упрощенной аэрации, подщелачивания, окисления и фильтрования через зернистую каталитическую загрузку, позволяющие применить полученные экспериментальные данные при проектировании промышленных установок по обезжелезиванию и деманганации, что обеспечит дальнейший стабильный рост использования подземных источников для питьевого водоснабжения.

В настоящее время на территории Нижнего Новгорода и области отмечается рост строительства небольших жилых поселков, баз отдыха, загородных коттеджей, усадеб и фермерских хозяйств, которые для обеспечения своих нужд используют воду подземных нецентрализованных источников (индивидуальных, групповых скважин).

Собранные многолетние данные по состоянию химического состава подземных вод на территории Н. Новгорода и области показывают, что в большинстве проб воды наблюдается присутствие широкого спектра загрязнений.

В 23 районах Нижегородской области в питьевой воде постоянно регистрируются превышения предельно-допустимой концентрации элементов по химическим показателям [1]:

- в 11 районах повышена жесткость воды (Бутурлинский, Вадский, Вачский, Дальнеконстантиновский, Кстовский, Лукояновский, Лысковский, Павловский, Пильнинский, Сергачский, Сосновский);
- в 4 районах повышено содержание железа в воде (Богородский, Лукояновский, Сеченовский, Шатковский);
- в 6 районах повышено содержание железа и марганца в воде (Балахнинский, Борский, Володарский, Выксунский, Городецкий, Навашинский);
- в 2 районах повышено содержание фтора в воде (Тоншаевский, Шахунский).
- в 3 районах встречаются повышенные концентрации бора в воде (Ветлужский, Воскресенский, Пильнинский).

Однако повышенное содержание отдельных нормируемых компонентов не должно являться препятствием к использованию подземных вод, так как с применением различных способов водоподготовки качество воды может быть доведено до требуемых нормативов [2].

Различие качественного состава подземных вод Нижегородской области, используемых для питьевого водоснабжения, обуславливает необходимость приме-



нения различных технологических схем для их очистки перед подачей потребителю, и в первую очередь это относится к повышенному содержанию железа и марганца.

Железо является чрезвычайно важным элементом в организме человека, но его повышенное содержание крайне вредно для здоровья. Поступающее в организм железо концентрируется главным образом в крови. При продолжительном поступлении в организм железа происходит перенасыщение печени ферритином – избыток его накапливается в печени в коллоидной форме оксида железа (гемосидерина), разрушающего клетки печени. Согласно СанПиН содержание общего железа в питьевой воде должно быть не более 0,3 мг/л [2].

Марганец – биологически необходимый элемент для живого организма. Он участвует в различных жизненно важных процессах: липидный и углеводный обмен; образование соединительной ткани; катализирует окислительно-восстановительные реакции и др. Постоянное повышенное содержание в воде марганца способствует его накоплению в организме и приводит к манганизму, при котором происходит серьезное, необратимое нарушение функционального состояния центральной нервной системы. Допустимое содержание марганца в питьевой воде – не более 0,1 мг/л [2].

Длительное использование питьевой воды с нарушением гигиенических требований по химическому составу обуславливает развитие различных заболеваний у населения. Неблагоприятное биологическое воздействие избыточного поступления в организм ряда химических веществ проявляется не только в повышении общей или специфической заболеваемости, но и в изменении отдельных показателей здоровья, свидетельствующих о патологических или предпатологических сдвигах в организме.

Учитывая сведения о неблагоприятном политропном действии железа и марганца, поступающих в организм с питьевой водой даже в сравнительно малых дозах, необходимо при подготовке воды к потреблению специально проводить обезжелезивание и деманганизацию. Это необходимо для того, чтобы исключить потенциальную возможность угрозы здоровью населения.

В подземных водах Нижегородской области очень часто встречаются высокие концентрации железа и марганца, которые находятся в пределах: по железу – 13–20 мг/л (43–67 ПДК); по марганцу – 1,0–1,8 мг/л (10–18 ПДК).

Анализ существующих технологий по обезжелезиванию и деманганизации подземных вод показывает, что они предназначены для удаления небольших количеств железа – до 10 мг/л (33 ПДК) и марганца – до 1,0 мг/л (10 ПДК), что свидетельствует о недостаточном исследовании технологий очистки подземных вод с высоким содержанием железа и марганца.

Обезжелезивание и деманганизация подземных вод с высоким содержанием железа и марганца в условиях нецентрализованного водоснабжения может решаться путем разработки, исследования и внедрения современной, высокоэффективной технологии водоподготовки (обезжелезивания и деманганизации) с применением малогабаритных и надежных водоочистных установок и устройств.

В подземных водах преобладающей формой существования железа является бикарбонат железа (II), который устойчив только при наличии значительных количеств угольной кислоты и при отсутствии растворенного кислорода. Наряду с этим, железо встречается в виде сульфида, карбоната и сульфата железа (II), комплексных соединений с гумматами и фульвокислотами.

В подземных водах марганец находится преимущественно в форме бикар-



боната марганца (II), хорошо растворимого в воде. Марганец в подземных водах практически всегда встречается одновременно с железом, что объясняется парагенетической связью между этими элементами. Поэтому процесс обезжелезивания неразрывно связан с процессом деманганации [3].

Практически все способы обезжелезивания воды сводятся к окислению растворенных форм двухвалентного железа кислородом воздуха, хлором, озоном, перманганатом калия и т. д. и переводу их в нерастворимые формы трехвалентного железа, которые легко удаляются путем фильтрования через слой зернистой загрузки.

Выбор технологии зависит от природы соединений Fe и Mn (минеральная или органическая, степень окисления, дисперсность взвешенных форм), их концентрации, окисляемости, от содержания свободной углекислоты, сероводорода, от pH, карбонатной жесткости, щелочности, окислительно-восстановительного потенциала, температуры и минерализации. Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения. Комбинация методов – наилучшая альтернатива, эффективность которой перед внедрением должна быть доказана лабораторным контролем и проверена на пилотных установках.

Для эффективного удаления высоких концентраций железа и марганца, находящихся в подземной воде, наиболее перспективными являются методы с применением современных каталитических фильтрующих материалов, что требует исследования и анализа их технологических и фильтрующих характеристик, а также следует уделить особое внимание обоснованию их рационального использования в технологиях водоподготовки [4].

Для определения наиболее действенного и экономичного метода для конкретной воды необходимо произвести пробное обезжелезивание и деманганацию на пилотной установке непосредственно у источника.

Для отработки комплексной технологии обезжелезивания и деманганации были проведены *натурные исследования на пилотной скважине* непосредственно у источника водоснабжения на базе отдыха повышенной комфортности в Борском районе Нижегородской области.

В результате исследований установлено: качество исходной воды не соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» по содержанию железа до 48,7 ПДК (14,6 мг/л); марганца до 22 ПДК (2,2 мг/л); окисляемости до 2 ПДК (10,4 мгО₂/л). Мутность воды превышала ПДК в 5 раз (до 7,4 мг/л), цветность – в 3,3 раза (до 66 градус). В воде присутствовал сероводород – 4,5 мг/л, аммиак – 3,2 мг/л (2ПДК). Водородный показатель – 6,6.

Схема пилотной установки представлена на рисунке.

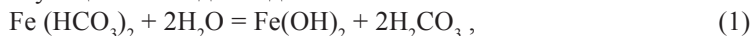
Цель экспериментальных исследований на пилотной установке – изучение комбинированной технологии удаления высоких концентраций железа и марганца с применением упрощенной аэрации, подщелачивания, окисления и фильтрования через зернистую каталитическую загрузку.

Сущность данной комбинации методов заключается в удалении избытка углекислоты и сероводорода при аэрации воды, во время которой она обогащается кислородом воздуха. Вместе с тем подщелачивание повышает pH воды, создавая благоприятные условия для окисления железа и марганца. Окончательное разрушение комплексных соединений железа (II) и марганца (II), а также их окисление достигаются путем введения в обрабатываемую воду сильного окислителя (рас-

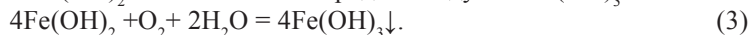


твора гипохлорита натрия). Соединения закисного и окисного железа, а также марганец извлекаются из воды при фильтровании ее через зернистую каталитическую загрузку.

Аэрацией из воды удаляется гидрокарбонат железа, который является непрочным, легко гидролизующимся в воде соединением:

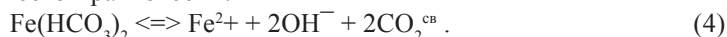


Образующийся $\text{Fe}(\text{OH})_2$ окисляется кислородом воздуха в $\text{Fe}(\text{OH})_3$:



Кроме насыщения обрабатываемой воды кислородом, аэрация способствует удалению из нее свободной угольной кислоты и сероводорода.

В подземных водах гидрокарбонат железа со свободной угольной кислотой находится в динамическом равновесии:



При низком содержании CO_2 в воде равновесие сильно смещено вправо, и железо находится в диссоциированном состоянии. В этом случае ионы $\text{Fe}(\text{II})$ адсорбируются на поверхности катализатора и быстро окисляются кислородом воздуха.

Упрощенная аэрация осуществляется в баке-аэраторе путем излива исходной воды через специальное разбрызгивающее устройство (щелевые насадки) с высотой 900 мм. Скорость выхода воды из щелей насадки: 1,5–2 м/с.

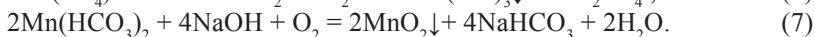
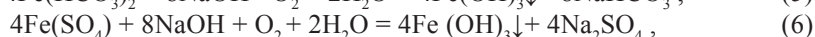
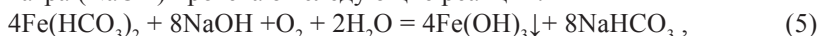
Из уравнения реакции (3) видно, что на каждые 4Fe^{2+} необходимо 2O . При молекулярном весе 4Fe^{2+} , равном 224, и молекулярном весе O_2 , равном 32, теоретический расход кислорода определится как: $32/224 = 0,143$ г O_2 .

Растворимость воздуха (содержание O_2 в воздухе ≈ 23 %) при атмосферном давлении составляет 24,2 мг/л, концентрация же кислорода составит при этом 5,57 мг/л. Таким образом, этого количества кислорода достаточно для окисления ≈ 38 мг железа ($5,57/0,143 = 38,95$ мг Fe).

Удельная нагрузка на аэратор принята $30 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{ч})$. Тогда расход воды, подаваемой на аэратор, составит: $30 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{ч}) \times 0,24 \text{ м}^2 = 7,2 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В контактную зону бака-аэратора предусмотрена подача:

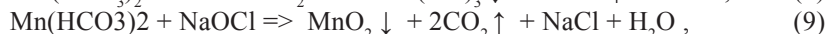
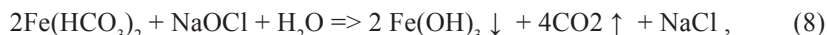
1) подщелачивающего реагента (едкого натра). При введении в аэрированную воду едкого натра (NaOH) протекают следующие реакции:



Доза едкого натра изменялась в пределах 100–160 мг/л (3,0–4,0 мг-экв/л по NaOH);

2) воздуха от низконапорного компрессора для интенсификации процесса перемешивания вводимого реагента (NaOH) с обрабатываемой водой. Интенсивность подачи воздуха принята $3 \text{ л}/(\text{с} \times \text{м}^2)$. Тогда производительность компрессора определится по выражению: $3 \text{ л}/(\text{с} \times \text{м}^2) \times 0,24 \text{ м}^2 = 0,72 \text{ л/с} \approx 45 \text{ л/мин}$. Время нахождения воды в контактной зоне бака-аэратора принято 25 мин.

Под действием гипохлорита натрия происходит разрушение гуматов и других органических соединений железа и марганца, а также последующий переход их в форму неорганических солей трехвалентного железа и четырехвалентного марганца, которые легко гидролизуются с выпадением в осадок, который извлекается при фильтровании:



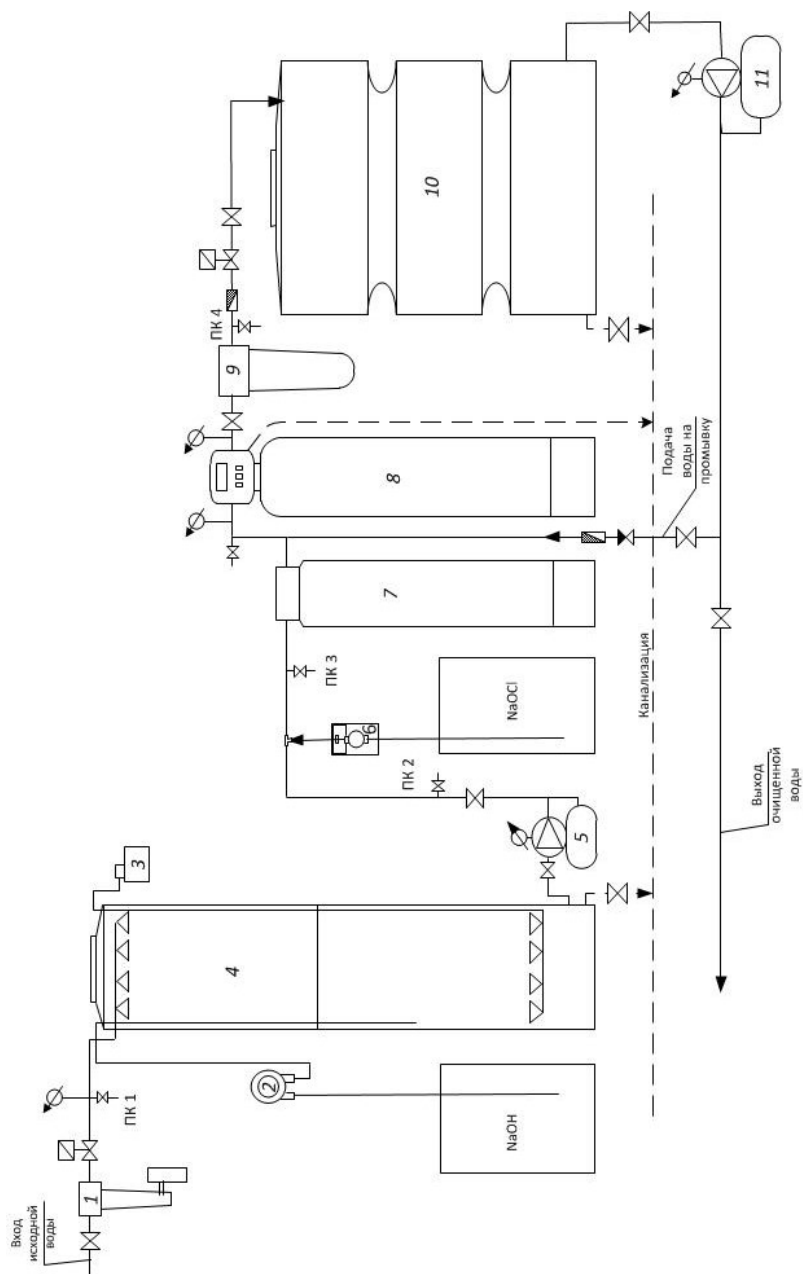


Схема малолитражной пилотной установки обезжелезивания и деманганации: 1 – сетчатый фильтр грубой очистки; 2 – насос-дозатор щелочи; 3 – компрессор азотный; 4 – бак-аэрактор; 5 – насосная станция второго подъема; 6 – насос-дозатор гипохлорита натрия; 7 – контактная камера; 8 – обезжелезивающий фильтр; 9 – фильтр тонкой очистки; 10 – бак чистой воды; 11 – насосная станция третьего подъема



По стехиометрии (уравнениям реакций) на окисление 1 мг двухвалентного железа расходуется 0,64 мг активного хлора, а на окисление 1 мг двухвалентного марганца расходуется 1,3 мг активного хлора. Исходя из стехиометрии, расчетная доза 8 % раствора гипохлорита натрия (NaOCl) изменялась в пределах 100–190 мг/л.

В качестве загрузки обезжелезивающего фильтра использовалась смесь каталитических фильтрующих материалов «Сорбент АС + МС» в соотношении 50/50 %. Скорость фильтрования принята 5 м/ч. Фракционный состав: Сорбент АС – 0,7–1,5 мм; Сорбент МС – 0,5–1,0 мм. Коэффициент неоднородности загрузки: Сорбент АС – 1,6–1,8 мм; Сорбент МС – 1,6–1,8 мм. Высота фильтрующего слоя – 1000 мм (500 + 500 мм). Дренажный слой из гравия – 200 мм. Фильтр содержит 90 л фильтрующего материала и 14 кг гравия (2–4 мм).

В ходе экспериментов на пилотной установке определялись наиболее эффективные дозы реагентов. Отбор проб очищенной воды проводился в определенных местах технологической цепочки (пробоотборные краны ПК1–ПК4). В отобранных пробах определялись рН, железо, марганец и остаточный хлор. Определение концентраций различных примесей в воде производилось в соответствии с рекомендациями [5].

Контроль за расходом воды, подаваемой на обезжелезивающий фильтр (основной и промывной потоки), производился по водосчетчикам, а контроль за давлением – по манометрам. Дозы вводимых реагентов поддерживались на постоянном уровне (в рамках одной серии опытов) с помощью сигналов от поплавкового регулятора уровня в баке-аэраторе и импульсного водосчетчика, установленного на трубопроводе.

Экспериментальные исследования показали, что при дозе гипохлорита натрия 100 мг/л достичь положительных результатов не удалось. Содержание железа и марганца в фильтрате практически во всех опытах превышает ПДК. Остаточный хлор не определяется.

При увеличении дозы гипохлорита натрия до 125 мг/л в последней серии опытов (доза едкого натра 160 мг/л) наблюдалось снижение железа и марганца до норм ПДК. При дозе едкого натра 140 мг/л содержание марганца в фильтрате превышает ПДК.

При дозе едкого натра 100 и 120 мг/л содержание железа и марганца в фильтрате превышает ПДК. Остаточный хлор (во всех сериях опытов) составлял 0,4–0,45 мг/л.

При увеличении дозы гипохлорита натрия до 150 мг/л в двух последних сериях опытов (доза едкого натра 140 и 160 мг/л) наблюдалось снижение железа и марганца до норм ПДК.

При дозе едкого натра 100 и 120 мг/л содержание железа и марганца в фильтрате незначительно превышает ПДК. Остаточный хлор (во всех сериях опытов) составлял 0,7–0,75 мг/л.

Увеличение дозы гипохлорита натрия до 190 мг/л в двух последних сериях опытов (доза едкого натра 140 и 160 мг/л) наблюдалось значительное снижение железа и марганца до норм ПДК. При дозе едкого натра 100 и 120 мг/л содержание железа и марганца в фильтрате незначительно превышает ПДК. Остаточный хлор (во всех сериях опытов) составлял 1,13–1,15 мг/л.

Во всех сериях опытов при дозе едкого натра 160 мг/л рН воды составлял 9,0–9,3, что превышает требования ПДК.

Результаты экспериментальных исследований на пилотной установке представлены в таблице.

**Результаты экспериментальных исследований на пилотной установке**

Показатель качества	Исходная вода	Очищенная вода	Норматив
Температура, °С	5	8	-
pH, ед	5,9	8,8	6–9
Мутность, мг/л	7,4	0,7	1,5
Цветность, градус	66,0	менее 5,0	20,0
Сероводород, мг/л	4,5	0,05	-
Железо общее, мг/л	14,6	0,23	0,3
Марганец, мг/л	2,2	0,08	0,1
Щелочность, мг-экв/л	1,5	-	-
Окисляемость перманганатная, мгO ₂ /л	10,4	1,5	5,0

В результате экспериментальных исследований установлены дозы реагентов, обеспечивающие требуемые значения железа и марганца в очищенной воде, которые составляют: для едкого натра – 140 мг/л; для гипохлорита натрия – 150 мг/л. При введении полученных доз реагентов pH фильтрата составлял 8,7–8,8, что не превышает ПДК. Остаточный хлор в этой серии опытов составлял 0,75 мг/л. Общая минерализация (сухой остаток) составил 820 мг/л.

По результатам исследований разработаны и внедрены две установки для очистки подземных вод Нижнего Новгорода (Автозаводский район) и Нижегородской области (Борский район) с высоким содержанием железа и марганца.

Двухлетняя практика эксплуатации предложенной технологии обезжелезивания и деманганации свидетельствует о ее эффективной и надежной работе в рекомендуемом режиме при обеспечении требуемого качества воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нижегородская область. Правительство. Улучшение качества водоснабжения населения Нижегородской области на 2007–2010 годы. Областная целевая программа : постановление Нижегородской области № 334 : [принят Правительством 10 октября 2006 года : утратил силу на основании постановления Правительства Нижегородской области от 22 мая 2009 года № 317]. – URL : <http://docs.cntd.ru/document/944928024>. – Текст : электронный.

2. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : санитарно-эпидемиологические нормы и правила : утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26 сентября 200 года № 24 : дата введения 2002-01-01. – Москва, 2001. – 48 с. – Текст : непосредственный.

3. Николадзе, Г. И. Улучшение качества подземных вод / Г. И. Николадзе. – Москва : Стройиздат, 1987. – 239 с. : ил. – Текст : непосредственный.

4. Кюберис, Э. А. Исследование современных фильтрующих материалов для систем водоснабжения» / Э. А. Кюберис, А. Л. Васильев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – № 2. – С. 92–97.

5. Баранова, А. Г. Практикум по химии воды : учебное пособие / А. Г. Баранова, П. Р. Таубе. – Пенза : ПГАСА, 1997. – 114 с. – Текст : непосредственный.



KYUBERIS Eduard Aleksandrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry;
VASILEV Aleksey Lvovich, doctor of technical science, professor, head of the department of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF WATER TREATMENT TECHNOLOGIES FROM UNDERGROUND SOURCES WITH HIGH CONTENT OF IRON AND MANGANESE

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel./fax: +7 (831) 430-08-60;
e-mail: k_viv@nngasu.ru

Key words: water supply, water treatment, underground sources, iron removal, manganese removal.

The article presents the results of studies of the combined technology of removing high concentrations of iron and manganese using simplified aeration, alkalization, oxidation and filtration through a granular catalytic charge, which allow to apply the obtained experimental data at designing industrial installations for deferrization and demanganization to ensure a further steady increase in the use of underground sources for drinking water supply.

REFERENCES

1. Nizhegorodskaya oblast. Ppravitelstvo. Uluchshenie kachestva vodosnabzheniya naseleniya Nizhegorodskoy oblasti na 2007–2010 gody [Nizhny Novgorod region. The Government. Improving the quality of water supply to the population of the Nizhny Novgorod region for 2007–2010]. Oblastnaya tselevaya programma : postanovlenie Pravitelstva Nizhegorodskoy oblasti № 334 : prinyat Pravitelstvom 10.10.2006 : utratil silu na osnovanii postanovleniya Pravitelstva Nizhegorodskoy oblasti ot 22 maya 2009 goda № 317. – URL : <http://docs.cntd.ru/document/944928024>.
2. SanPiN 2.1.4.1074-01. Pitevaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pitevogo vodosnabzheniya. Kontrol kachestva [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control]: sanitarno-epidemiologicheskie normy i pravila : utv. postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossiyskoy Federatsii ot 26 sentyabrya 200 goda № 24 : data vved. 01.01.02. Moscow, 2001, 48 p.
3. Nikoladze G. I. Uluchshenie kachestva podzemnykh vod [Groundwater quality improvement] / Moscow: Stroyizdat, 1987, 239 p.: il.
4. Kyuberis E. A., Vasilev A. L. Issledovanie sovremennykh filtruyuschikh materialov dlya sistem vodosnabzheniya [Research of modern filtering materials for water supply systems] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2017. № 2. P. 92–97.
5. Baranova A. G., Taube P. R. Praktikum po khimii vody [Workshop on Water Chemistry]: uchebnoe posobie / Penza: PGASA, 1997, 114 p.

© Э. А. Кюберис, А. Л. Васильев, 2019

Получено: 24.09.2019 г.

УДК 691+699.87

Е. Н. КАБЛОВ¹, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., директор; В. Т. ЕРОФЕЕВ², акад. РААСН, д-р техн. наук, проф., декан архитектурно-строительного факультета; А. А. ЯМАШКИН², д-р геогр. наук, проф.; В. Ф. СМИРНОВ³, д-р биол. наук, проф.; С. А. ЯМАШКИН², канд. техн. наук, доц.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕГИОНОВ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

¹ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов», Государственный научный центр Российской Федерации
Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 17.

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»
Россия, 430005, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68. Тел.: (927) 173-94-83.

³ФГАУО ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Гагарина, д. 23.

Ключевые слова: прогнозирование, биоповреждения, ландшафтный подход, строительные материалы.

Предложена модель прогнозирования регионов биоповреждений строительных материалов на основе геоматического исследования развития геоэкологических процессов в локальных и региональных природно-социально-производственных системах.

Постановка проблемы. Влияние геоэкологических факторов на выбор строительных материалов, особенности строительства инженерных сооружений учитываются человеком с древнейших времен до наших дней, в то время как разработка специальных климатических нормативов для производства строительных материалов с заданными свойствами стала развиваться только в конце XIX – начале XX века. Общие же потери, состоящие из затрат на замену деталей из-за коррозии, старения и биоповреждений (прямые потери), и компенсации простоя оборудования из-за утраты работоспособности (косвенные потери), только в США составляют до 3 % ВВП. В то же время в Японии благодаря целому комплексу эффективных профилактических мер эта цифра в два раза меньше – 1,5 % [1].

В настоящее время общей закономерностью является ухудшение работоспособности техники из-за необратимых изменений свойств материалов под воздействием факторов внешней среды [2, 3]. Кроме того, доказано стремительное возрастание ее агрессивности из-за промышленных выбросов и загрязнений. Около 50 % отказов техники происходит по причине биокоррозии [4, 5]. Например, за последние 50 лет в 3 раза выросло количество штаммов микроорганизмов, поражающих неметаллические материалы и нефтепродукты [6–8].

К важнейшим вызовам следует отнести повышение оперативности геодиагностики пространственно-временных состояний геосистем, определяющих состояние инженерных сооружений. Эта задача может быть решена с использованием методов геоматики: математического и геоинформационного моделирования, основанного на глубоком обучении (*Deep Learning*) с достижением высокой точности детектирования природных и природно-техногенных объектов и процессов



методами сопряженного анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и результатов наблюдений на тестовых полигонах; стандартизации представления данных; внедрения эффективных средств каталогизации и распространения геоинформационных материалов.

Общие геоэкологические закономерности развития биодеструктивных процессов. Широкое распространение грибов в биосфере земли происходит благодаря их биологическим особенностям: 1) наличию мицелиальной структуры таллома, обеспечивающей высокую степень контакта со средой; 2) значительной скорости роста и размножения; 3) высокой активности метаболизма, проявляющейся в широком интервале действия различных экологических факторов; 4) большой генетической и биохимической изменчивости, позволяющей грибам быстро адаптироваться к изменяющимся условиям среды обитания; 5) способности быстро реагировать на действие неблагоприятных факторов среды переходом к анабиозу и также быстро переходить к активной жизнедеятельности в благоприятных условиях [10–14].

Рассматривая процессы биodeградации с точки зрения геоэкологии, необходимо выделить следующие объекты и процессы исследования: 1) геоэкологическая среда, в которой находится материал или изделие; 2) физико-химические свойства субстрата, подвергшегося биodeградации микромицетами; 3) последовательность, пути заселения субстрата микроорганизмами и характер формирования на нем микробных ассоциаций; 4) гетерогенность популяций видов микодеструкторов, развивающихся на материалах; 5) микробный антагонизм между деструкторами. Изложенное показывает, что для разработки геоматических моделей биодеструкции, вызываемой микроскопическими грибами, и разработка средств защиты от нее необходима первоочередность картографирования геоэкологических факторов, в условиях которых протекает биodeградация определенных материалов.

Систематизация и классификация геосистем для территориального прогнозирования биоповреждений строительных материалов. Проведенные геоматические исследования показали, что для геоэкологического прогнозирования биоповреждений целесообразно использовать типологическую классификацию геосистем, предложенную В. А. Николаевым [9]. В ней используются такие основания деления, как тип контакта и взаимодействия геосфер, поясно-зональные различия водно-теплового режима, морфоструктурные характеристики, тип водно-геохимического режима, почвенно-биоклиматические признаки, генетический тип рельефа и литология поверхностных отложений. На основе данных показателей типологической классификации геосистем выделяется иерархия таксономических единиц: система, подсистема, класс, подкласс, тип, род ландшафтов.

На любой стадии инженерного освоения территории вследствие взаимодействия природных и технологических процессов создается конкретная структура природно-социально-производственных систем, сопровождающаяся активизацией определенного спектра деструктивных геоэкологических процессов, особенности которых почти всегда проистекают от свойств геосистем. Негативные последствия освоения могут быть отмечены и вне границ зоны фактического размещения техногенных систем (в качестве примера можно привести истощение ресурсов подземных и поверхностных вод, загрязнение окружающей среды и тому подобное).

Автоматизация процессов анализа геоэкологической информации. Актуальность формирования геоматических моделей на базе многозональных космических снимков подтверждается мировым опытом. Среди комплексных

ГИС-проектов в западноевропейских странах, ориентированных на оптимизацию природопользования, следует выделить: CORINE (*Coordination of Information on the Environment*), Copernicus, LISA (*Land Information System Austria*), CLEVER-Mapping (*Classification of Environment with Vector and Raster Mapping*). В России данные ДЗЗ и картографические материалы, сгенерированные на их основе, находят применение для мониторинга использования земель сельскохозяйственного назначения, оценки состояния посевов, лесных и водных ресурсов, чрезвычайных геоэкологических ситуаций.

Необходимость повышения качества дешифрирования данных ДЗЗ для решения научно-практических задач в области оптимизации хозяйственного освоения геосистем определяет актуальность расширенного поиска новых методов получения информации. Проведенный анализ текущей ситуации в сфере распознавания образов показал перспективность постановки экспериментов по повышению эффективности дешифрирования многозональных космических снимков на основе концепции *Ensemble Learning* [15] в сочетании с привлечением контекстной информации через различные синтетические дескрипторы. Концепция глубокого обучения впервые была упомянута в работах 1960-х годов, однако динамичное развитие она получила во втором десятилетии XXI века [16]. Два фактора способствовали повышению интереса к данной области: появление высокопроизводительного аппаратного обеспечения (включая мощные графические процессоры (GPU) и облачные технологии (*Cloud Computing*)) как базы, необходимой для полноценного воплощения концепции, и разработка новых методик, алгоритмов и принципов машинного обучения, которые стало возможным апробировать и совершенствовать на современных вычислительных машинах. Сверточные нейронные сети активно применяются для выделения признаков в исходных данных, однако их потенциал в интерпретации данных ДЗЗ в полной мере лишь предстоит раскрыть, опираясь на глубокое обучение.

Анализ геосистем при решении задачи моделирования структуры ареалов биоповреждений строительных материалов должен опираться не только на исследование спектральных характеристик территорий, но и на оценку их состояния на основе определения инвариантных характеристик участков (отражающих общие закономерности дифференциации территории); выделение границ геосистем; диагностику их внутренней структуры через анализ разнообразия ее динамических характеристик.

Формирование массивов геоэкологической информации на тестовые полигоны по оценке биоповреждений строительных материалов. В вопросе подготовки данных для обучения классификаторов для геодиагностики регионов биоразрушений особое место занимают тестовые полигоны. Сложный характер особенностей влияния геоэкологических факторов на строительные материалы определяет необходимость системного подхода к определению ключевых этапов процесса анализа данных, важнейшими звеньями которого являются: определение проблемной ситуации, формирование исходных данных, генерация выходных данных, анализ результатов и их использование.

Целесообразность этапа *определения проблемной ситуации* обусловлена тем, что выбор необходимых исходных данных и формы желаемого результата возможен после того, как будет грамотно обозначена цель исследования, осуществлен сбор и проведен анализ требований [17, 18]. Артефактом данного этапа становится круг задач, требующих решения на дальнейших этапах.

На основе поставленной цели исследования и определения задач осуществ-



вляется стадия *формирования исходных данных*. Различные проблемные ситуации приводят к потребности выбора поставщиков данных, основываясь на необходимости работы с материалами различного пространственно-временного разрешения [19]. Часто выбранные данные следует подготовить для автоматизированного анализа: осуществить предварительную обработку и коррекцию.

Стадия *генерации выходных данных* является центральным звеном в процессе автоматизированного анализа данных мониторинга на тестовых полигонах. Начинать следует с выбора математических моделей, возможно, группируя их в ансамбли, функционирование которых должно основываться на качественном анализе исходных данных, основанном на выделении статистических закономерностей и эталонных признаков [20–21]. Последующий анализ результатов может показать необходимость корректировки параметров настройки моделей и алгоритмов [22]. Артефактом данного этапа являются сформированные выходные данные, характеризующие изучаемый тестовый полигон с той или иной стороны.

В ходе этапа *анализа результатов* происходит оценка полученных результатов. Здесь могут быть успешно применены матрицы ошибок, метрики эффективности классификаторов. Данные процедуры позволяют получить объективную оценку точности работы алгоритмов автоматизированного анализа.

Завершающей ступенью процесса анализа космической съемки является этап *использования полученных результатов*. Полученные на этапе автоматизированного анализа результаты классификации должны быть подвергнуты критическому анализу специалистами соответствующего профиля [23]. Вместе с тем важно обеспечить структурированное хранение данных с использованием пространственных СУБД с целью их дальнейшего многократного использования.

Тестовые полигоны методами ДЗЗ исследуются на локальном (топологическом) и региональном уровнях. На топологическом уровне рассматриваются типы и роды геосистем, отдельные населенные пункты, группы инженерных сооружений и т. д. Для проведения исследований выбираются геотехнические системы, имеющие определенные устойчивые спектральные и структурные характеристики, которые в дальнейшем могут использоваться при интерпретации изображений в качестве атрибутивных признаков соответствующих классов объектов на региональном уровне. Множество сформированных тестовых полигонов должны быть объединены в единую систему оптимального размера в интересах повышения качества проводимых исследований. Важным является соответствие тестовых полигонов международным стандартам.

Визуализация и распространение информации о биоразрушении инженерных сооружений. Интеграция знаний о пространственно-временной структуре природно-социально-производственных систем для принятия верных управленческих решений в области хозяйственного освоения геосистем возможна через разработку эффективной архитектуры геопортальной системы комплексного геоинформационного кадастра с последующим внедрением геопорталов. Данный класс программных систем, обеспечивая доступ к информационным ресурсам о природно-социально-производственных системах регионов страны, способствует формированию информационной среды, которая определяет устойчивое развитие общества: от экономики и реализации политического потенциала до подвижек в социально-культурной сфере [21].

Геопорталы находят применение в самых разных областях профессиональной деятельности [24]: формирование инфраструктуры пространственных данных государств и регионов, управление информацией в системах землепользования и



кадастров, поддержка принятия управленческих решений, мониторинг техногенных систем, рациональное использование земель и ресурсов, анализ геоэкологического состояния территорий, предотвращение чрезвычайных ситуаций и снижение последствий стихийных бедствий, управление транспортными потоками и дорожным трафиком, распространение информации о природном и культурном наследии, представление информации в системах виртуальной и дополненной реальности, интеграция комплексных научных исследований и визуализация их результатов и др.

При создании геопортальных систем необходимо решить многие проблемы из области как программной инженерии, так и других прикладных дисциплин [23]: максимальную эффективность программные комплексы подобного рода приобретают при решении задачи получения и оптимального хранения информации и знаний, автоматизированного анализа собранных данных, визуализации результатов и достижения возможности работы с ними на основе современных веб-технологий. Особняком стоит проблема навигации в рамках геопортала и поиска геоинформации в крупных массивах данных, ориентированных на пользователя [25]. Для решения этой задачи разрабатываются рекомендательные системы.

Несмотря на широкое распространение и успешный опыт геопортальных разработок, количество исследований, которые касаются удобства использования таких сайтов, относительно невелико. Ряд последних научных статей посвящен открытым вопросам анализа удобства работы с геопортальными системами, поиска путей улучшения *User Experience* (UX): восприятия и ответных действий пользователя при работе с графическим интерфейсом, включая эмоции, ощущения, психологические реакции пользователя, которые возникают до, во время и после использования системы. Проблематика разработки надежных, легко модифицируемых прикладных программных интерфейсов также занимает особое место в решении задачи ввода в эксплуатацию эффективных веб-ГИС. Следует подчеркнуть и наличие актуальной открытой задачи семантического поиска по пространственным базам данных и знаний, решение которой позволит осуществлять каталогизацию и визуализацию пространственных данных.

Выводы. Решение фундаментальной задачи синтеза геоэкологической информации для прогнозирования биоповреждений строительных материалов должно достигаться за счет декомпозиции на следующие подзадачи: 1) разработка и обоснование междисциплинарного подхода к формированию информационных ресурсов биоповреждений строительных материалов; 2) создание новой методологии синтетического геоматического картографирования для целей прогнозирования биоповреждений строительных материалов; 3) реализация программного комплекса для экспериментальной апробации результатов прогнозирования биоповреждений строительных материалов; 4) разработка эффективной методики классификации и картографирования природно-социально-производственных систем на основе анализа синтетических дескрипторов; 5) тематическая интерпретация и экстраполяция полученного опыта дешифрирования многозональных космических снимков тестовых полигонов для целей оценки инженерно-экологических особенностей регионов; 6) разработка эффективной архитектуры геопортальной системы комплексного геоинформационного кадастра.

Такой комплексный подход способен оптимизировать выявление закономерностей пространственно-временной организации геосистем, прогнозирование направленности и интенсивности развития гидрогенных, экзогеодинамических, биогенных и других геоэкологических процессов, позволит создать фундамен-



тальную базу для выработки и реализации управленческих решений по устойчивому строительству. Интеграция геоэкологических знаний о биоповреждениях строительных материалов на базе геопортальных решений станет важнейшим инструментом пространственно-временной систематизации значительных массивов информации для формирования представления об особенностях взаимодействия общества и природы на локальном и региональном уровнях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каблов, Е. Н. Коррозия или жизнь / Е. Н. Каблов. – Текст : непосредственный // Наука и жизнь. – 2012. – № 11. – С. 16–25.
2. Климатическая стойкость композитов на основе битумных связующих / В. Т. Ерофеев, А. И. Сальникова, О. В. Старцев, И. М. Медведев. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования и последние достижения в области защиты от коррозии, старения и биоповреждений материалов и сложных технических систем в различных климатических условиях : сборник научно-технической конференции. – Москва, 2016. – С. 4.
3. Ерофеев, В. Т. Экономическая эффективность повышения долговечности строительных конструкций / В. Т. Ерофеев, А. В. Дергунова. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2008. – № 2. – С. 88–89.
4. Защита зданий и сооружений от биоповреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина / В. Т. Ерофеев, П. Г. Комохов, В. Ф. Смирнов [и др.] ; под ред. П. Г. Комохова [и др.]. Изд. 2-е, испр. – Санкт-Петербург : Наука 2010. – 191 с. : ил. – ISBN: 978-5-02-025509-8. – Текст : непосредственный.
5. Исследование биостойкости строительных материалов с учетом их старения / В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов, С. Н. Богатова [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. «Строительство и архитектура». – 2011. – № 22. – С. 73–78.
6. Бажанова, М. Е. Стойкость трубопроводных материалов в условиях воздействия почвенных микроорганизмов. – Текст : непосредственный / М. Е. Бажанова, В. Т. Ерофеев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2012. – № 1. – С. 31–33.
7. Ерофеев, В. Т. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов / В. Т. Ерофеев, А. Д. Богатов, С. Н. Богатова. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 7 (33). – С. 23–31.
8. Видовой состав микофлоры, выделенной с полимерных композитов на основе эпоксидных смол в условиях влажного морского климата / В. Т. Ерофеев, А. В. Лазарев, А. Д. Богатов [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 2 (24). – С. 233–237.
9. Николаев, В. А. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов / В. А. Николаев. – Москва : Изд-во Москов. ун-та, 1978. – 62 с. – Текст : непосредственный.
10. Коваль, Э. З. Микодеструкторы промышленных материалов / Э. З. Коваль, Л. П. Сидоренко ; отв. ред. В. И. Билай ; АН УССР. Институт микробиологии и вирусологии им. Д. К. Заболотного. – Киев : Наук. Думка, 1989. – 192 с. – Текст : непосредственный.
11. Ильичев, В. Д. Экологические основы защиты от биоповреждений / В. Д. Ильичев, Б. В. Бочаров, М. В. Горленко. – Москва : Наука, 1985. – 264 с. – Текст : непосредственный.
12. Идессис, В. Ф. Биологическое разрушение некоторых материалов грибами / В. Ф. Идессис, С. С. Рамазанова, Д. А. Шток. – Текст : непосредственный // Альгофлора и микофлора Средней Азии. – Ташкент, 1976. – С. 295–297.
13. Ильичев, В. Д. Техническая экология – проблема биоповреждений / В. Д. Ильичев. – Текст : непосредственный // Биоповреждения в промышленности : тезисы докладов конференции : в 2 ч. – Пенза, 1994. – Ч. 2. – С. 49.
14. Каневская, И. Г. Биологическое повреждение промышленных материалов /



И. Г. Каневская. – Ленинград : Наука, 1984. – 232 с. – Текст : непосредственный.

15. Sagi, O. Ensemble learning: A survey / O. Sagi, L. Rokach. – Текст : непосредственный // Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. – 2018. – Т. 8, № 4. – С. 1249.

16. LeCun, Y. Deep learning / Y. Le Cun, Y. Bengio, G. Hinton. – Текст : непосредственный // Nature. – 2015. – Т. 521, №. 7553. – С. 436.

17. Вдовин, С. М. Университетские геоportалы как инструмент решения экологических проблем / С. М. Вдовин, А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин. – Текст : непосредственный // Экологические проблемы. Евразийское пространство. – Москва, 2014. – С. 552–567. – (Сер. «Евразийские университеты XXI века»).

18. Географический портал как модель национального ландшафта / С. М. Вдовин, С. А. Ямашкин, А. А. Ямашкин, О. А. Зарубин. – Текст : непосредственный // Вестник Рязанского государственного университета им. С. А. Есенина. – 2016. – № 3 (52). – С. 146–154.

19. Ямашкин, А. А. Использование нейронных сетей прямого распространения для ландшафтного картографирования на базе космических снимков / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2014. – № 11. – С. 52–58.

20. Ямашкин, А. А. Применение алгоритма выделения краев к решению задачи моделирования границ ландшафтов / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин. – Текст : непосредственный // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. «География. Геоэкология». – 2013. – № 2. – С. 28–34.

21. Ямашкин, А. А. Применение ГИС в анализе морфологической структуры ландшафтов / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин, А. А. Кликунов. – Текст : непосредственный // Вестник Удмуртского университета. Сер. «Биология. Науки о Земле». – 2013. – № 6–3. – С. 115–122.

22. Ямашкин, А. А. Структура региональной ГИС для целей ландшафтного планирования / А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин. – Текст : непосредственный // Известия Смоленского государственного университета. – 2014. – № 4. – С. 305–314.

23. Ямашкин, С. А. Структура регионального геоportала как инструмента публикации и распространения геопространственных данных / С. А. Ямашкин. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 6. – С. 223–225.

24. Dareshiri, S. A recommender geoportal for geospatial resource discovery and recommendation / S. Dareshiri, M. Farnaghi, M. Sahelgozin. – Текст : непосредственный // Journal of Spatial Science. – 2019. – Т. 64, № 1. – С. 49–71.

25. Gkonos, C. Spinning the wheel of design: evaluating geoportal Graphical User Interface adaptations in terms of human-centred design / C. Gkonos, I. Iosifescu Enescu, L. Hurni. – Текст : непосредственный // International Journal of Cartography. – 2019. – Т. 5, № 1. – С. 23–43.

KABLOV Evgeny Nikolaevich¹, academician of RAS, doctor of technical sciences, professor, director; EROFEEV Vladimir Trofimovich², academician of RAACS, doctor of technical sciences, professor, dean of the architectural-constructional department; YAMASHKIN Anatoly Aleksandrovich², doctor of geographic sciences, professor; SMIRNOV Vasily Filippovich³, doctor of biological sciences, professor; YAMASHKIN Stanislav Anatolevich², candidate of technical sciences, associate professor

FORECASTING REGIONS OF BIOLOGICAL DAMAGES OF BUILDING MATERIALS



¹All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials, the State Scientific Center of the Russian Federation

17, Radio St., Moscow, 105005, Russia.

²National Research Ogryov Mordovian State University

68, Bolshevistskaya St., Saransk, 430005, Russia. Tel.: +7 (927) 173-94-83.

³Research Institute for Mechanics, Lobachevsky Nizhny Novgorod State University

23, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603950, Russia

Key words: forecasting, biodeterioration, landscape approach, building materials.

The article proposes a model for predicting regions of biodeterioration of building materials based on a geomatic study of the development of geo-ecological processes in local and regional natural-social-production systems.

REFERENCES

1. Kablov E. N. Korroziya ili zhizn [Corrosion or life]. Nauka i zhizn [Science and life]. 2012. №11. P. 16–25.
2. Erofeev V. T., Salnikova A. I., Startsev O. V., Medvedev I. M. Klimaticheskaya stoykost kompozitov na osnove bitumnykh svyazuyuschikh [Climatic resistance of composites based on bitumen binders]. Fundamentalnye issledovaniya i poslednie dostizheniya v oblasti zashchity ot korrozii, stareniya i biopovrezhdeniy materialov i slozhnykh tekhnicheskikh sistem v razlichnykh klimaticheskikh usloviyakh. Sbornik nauchno-tekhnicheskikh konferentsii [Basic research and recent achievements in the field of protection against corrosion, aging and bio-damage of materials and complex technical systems in various climatic conditions. Proceedings of scientific and technical conferences]. 2016. P. 4.
3. Erofeev V. T., Dergunova A. V. Ekonomicheskaya effektivnost povysheniya dolgovechnosti stroitelnykh konstruksiy [Economic efficiency of increasing the durability of building structures] Stroit. mat-ly [Building materials]. 2008. № 2. P. 88–89.
4. Komokhov P. G., Erofeev V. T., Smirnov V. F., et al. Zashchita zdaniy i sooruzheniy ot biopovrezhdeniy biotsidnymi preparatami na osnove guanidina [Protection of buildings and structures from biodeterioration by guanidine-based biocidal preparations]. Pod red. P. G. Komokhova et al. Izd. 2-e, ispr. Saint-Petersburg : Nauka [Science], 2010, 191 p. : il. ISBN: 978-5-02-025509-8.
5. Erofeev V. T., Bogatov A. D., Bogatova S. N., et al. Issledovanie biostoykosti stroitelnykh materialov s uchyotom ikh stareniya [Investigation of biostability of building materials with regard to their aging]. Vestn. Volgograd. GASU. Seriya: Stroitelstvo i arkhitektura [Bulletin of Volgograd GASU. Building and Architecture]. 2011. № 22. P. 73–78.
6. Bazhanova M. E., Erofeev V. T. Stoykost truboprovodnykh materialov v usloviyakh vozdeystviya pochvennykh mikroorganizmov [Stability of pipeline materials under the influence of soil microorganisms]. Vestn. Belgorod. gos. tekhnologich. un-ta [Bulletin of Belgorod state technological university]. 2012. № 1. P. 31–33.
7. Erofeev V. T., Bogatov A. D., Bogatova S. N. Vliyanie ekspluatatsionnoy sredy na biostoykost stroitelnykh kompozitov [The influence of the operating environment on the biostability of building composites]. Inzhenerno-stroitelny zhurnal [Engineering and Construction Journal]. 2012. № 7 (33). P. 23–31.
8. Erofeev V. T., Lazarev A. V., Bogatov A. D. Vidovoy sostav mikoflory, vydelennoy s polimernykh kompozitov na osnove epoksidnykh smol v usloviyakh vlazhnogo morskogo klimata [Species composition of microflora isolated from polymer composites based on epoxy resins in a humid marine climate]. Izv. KazGASU [Bulletin of KazGASU]. 2013. № 2 (24). P. 233–237.
9. Nikolaev V. A. Klassifikatsiya i melkomasshtabnoe kartografirovanie landshaftov [Classification and small-scale mapping of landscapes]. Moscow : Izd-vo Moskov. un-ta, 1978, 62 p.
10. Koval E. Z., Sidorenko L. P. Mikodestruktory promyshlennykh materialov [Microdestructors of industrial materials]. Otv. red. V. I. Bilay; AN UkrSSR. In-t mikrobiologii i virusologii im. D. K. Zabolotnogo. – Kiev: Nauk. Dumka, 1989, 192 p.



11. Ilichyov V. D., Bocharov B. V., Gorlenko M. V. *Ekologicheskie osnovy zaschity ot biopovrezhdeniy* [Ecological fundamentals of protection against biodeterioration]. Moscow: Nauka, 1985, 264 p.
12. Idessis V. F., Ramazanova S. S., Shtok D. A. *Biologicheskoe razrushenie nekotorykh materialov gribami* [Biological destruction of some materials by fungi]. *Algoflora i mikoflora Sredney Azii*. Tashkent, 1976. P. 295–297.
13. Ilichyov V. D. *Tekhnicheskaya ekologiya – problema biopovrezhdeniy* [Technical ecology – the problem of biodeterioration]. *Tezisy докладov konferentsii «Biopovrezhdeniya v promyshlennosti»*. [Abstracts of the conference “Biodeterioration in industry”]. Penza, 1994. Part. 2. P. 49.
14. Kanevskaya I. G. *Biologicheskoe povrezhdenie promyshlennykh materialov* [Biological damage to industrial materials]. Leningrad : Nauka, 1984, 232 p.
15. Sagi O., Rokach L. Ensemble learning: A survey // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 2018. Vol. 8. № 4. P. 1249.
16. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // *Nature*, 2015. Vol. 521. № 7553. P. 436.
17. Vdovin S. M., Yamashkin A. A., Yamashkin S. A. *Universitetskie geoportaly kak instrument resheniya ekologicheskikh problem* [University geoportals as a tool for solving environmental problems]. *Ekologicheskie problemy. Evraziyskoe prostranstvo. Seriya "Evraziyskie universitety XXI veka"* [Environmental problems. Eurasian space. Series "Eurasian Universities of the XXI Century"], Moscow, 2014. P. 552–567.
18. Vdovin S. M., Yamashkin S. A., Yamashkin A. A., Zarubin O. A. *Geograficheskiy portal kak model natsionalnogo landshafta* [Geographical portal as a model of the national landscape]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo universiteta im. S.A. Esenina* [Bulletin of the Ryazan State University]. 2016. № 3 (52). P. 146–154.
19. Yamashkin A. A., Yamashkin S. A. *Ispolzovanie neyronnykh setey pryamogo rasprostraneniya dlya landshaftnogo kartografirovaniya na baze kosmicheskikh snimkov* [Use of direct propagation neural networks for landscape mapping on the basis of space images]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography]. 2014. № 11. P. 52–58.
20. Yamashkin A. A., Yamashkin S. A. *Primenenie algoritma vydeleniya krayov k resheniyu zadachi modelirovaniya granits landshaftov* [Application of the edge selection algorithm to solving the problem of modeling the boundaries of landscapes]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya* [Bulletin of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology]. 2013. № 2. P. 28–34.
21. Yamashkin A. A., Yamashkin S. A., Klikunov A. A. *Primenenie GIS v analize morfologicheskoy struktury landshaftov* [The use of GIS in the analysis of the morphological structure of landscape maps]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurtsky University. Biology. Earth Sciences]. 2013. № 6-3. P. 115–122.
22. Yamashkin A. A., Yamashkin S. A. *Struktura regionalnoy GIS dlya tseley landshaftnogo planirovaniya* [The structure of a regional GIS for the purposes of landscape planning]. *Izvestiya Smolenskogo gosudarstvennogo universiteta* [News of Smolensk State University]. 2014. № 4. P. 305–314.
23. Yamashkin S.A. *Struktura regionalnogo geoportala kak instrumenta publikatsii i rasprostraneniya geoprostranstvennykh dannykh* [The structure of a regional geoportal as a tool for publication and dissemination of geospatial data]. *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Povolzhya* [Scientific and Technical Volga region Bulletin]. 2015. № 6. P. 223–225.
24. Dareshiri S., Farnaghi M., Sahelgozin M. A recommender geoportal for geospatial resource discovery and recommendation // *Journal of Spatial Science*, 2019. Vol. 64. № 1. P. 49–71.
25. Gkonos C., Iosifescu Enescu I., Hurni L. Spinning the wheel of design: evaluating geoportal Graphical User Interface adaptations in terms of human-centred design // *International Journal of Cartography*, 2019. Vol. 5. № 1. C. 23–43.

© Е. Н. Каблов, В. Т. Ерофеев, А. А. Ямашкин, В. Ф. Смирнов, С. А. Ямашкин, 2019
Получено: 24.09.2019 г.

УДК 626

В. Н. БУХАРЦЕВ, д-р техн. наук, проф. высшей школы гидротехнического и энергетического строительства

О ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ (НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА СТАРУЮ ПРОБЛЕМУ)

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Тел.: (911) 977-04-58; эл. почта: v.bukhartsev2016@yandex.ru

Ключевые слова: перераспределение речного стока, забор воды из северных морей, мониторинг экологического состояния, трубопроводы.

Предложена новая технология транспортировки части стока Сибирских рек в Казахстан и Среднюю Азию с целью снабжения водой упомянутых засушливых регионов и восстановления экосистемы Аральского моря.

Неосуществленный проект переброски части стока сибирских рек (Иртыша, Оби, Тобола, Ишима и других) в Казахстан и Среднюю Азию являлся одним из самых грандиозных инженерных проектов XX века, претендовавших на роль национальной идеи, как освоение целины, прокладка БАМ и т. д.

Этот комплексный проект преследовал одновременно несколько целей:

- транспортировка воды в засушливые регионы СССР для нужд орошения и снабжения водой малых городов Курганской, Челябинской и Омской областей РСФСР, а также Казахстана, Узбекистана и Туркменистана;
- спасение Аральского моря от полного высыхания;
- создание судоходной магистрали «Азия» (Карское море – Каспийское море – Персидский залив).

Предполагалось строительство системы каналов и водохранилищ, которые позволили бы перебросить воды северных рек в южные регионы страны, с подъемом воды насосами для преодоления водораздела бассейнов рек Иртыша и Сырдарьи.

Над проектом работали около 20 лет более 160 организаций СССР. Руководство проектными разработками осуществлял его официальный заказчик – Минводхоз СССР. «Схему комплексного использования вод бассейна Аральского моря» готовил институт «Средазгипроводхлопок».

Этот проект вызвал волну справедливой критики со стороны общественности и экологов, указывавших на недостатки проекта, главным из которых являлось негативное воздействие от реализации проекта на окружающую природную среду с непредсказуемыми последствиями. Другим недостатком проекта являлись чудовищные расходы на строительство и функционирование системы. Вместе с тем сторонниками проекта высказывались положительные аспекты переброски части стока Сибирских рек. Наиболее важными из них являются:

- создание мощного инструмента восстановления российского геополитического влияния в регионе;
- укрепление экономических связей между государствами;
- возможность получения прибыли от продажи воды, как от продажи нефти



и газа;

- подача пресной воды на нужды ирригации, водоснабжения населения, обводнения территорий засушливых регионов;
- спасение от полного пересыхания Аральского моря и восстановление экосистемы региона, возрождение естественных условий обитания представителей флоры и фауны;
- обеспечение в период строительства новыми рабочими местами населения страны.

Попытки реанимировать идею переброски части стока сибирских рек в южные регионы страны и государства Центральной Азии предпринимались и после развала СССР. Бывший мер Москвы Ю. М. Лужков неоднократно высказывался в поддержку проекта. Президент Казахстана Н. А. Назарбаев предлагал российскому президенту Д. А. Медведеву вернуться к проекту переброски части стока сибирских рек в южные регионы России и Казахстана. В пользу возрождения проекта высказывался также президент Узбекистана И. А. Каримов.

Сама по себе идея перераспределения речного стока не нова; она использовалась в меньших масштабах у нас в стране и за рубежом. Достаточно вспомнить, что по реке Москве течет волжская вода, благодаря прокладке канала Москва – Волга, переименованного в канал имени Москвы.

Анализируя положительные и отрицательные аспекты советского проекта «переброски», можно заключить, что с учетом всех негативных моментов, главным образом экологического плана, идея может быть реализована. Ниже предлагается менее масштабный вариант переброски воды из Северного Ледовитого океана в Аральское море для спасения его от полного пересыхания.

Вопрос о причинах пересыхания Аральского моря требует особого рассмотрения и поэтому здесь подробно не обсуждается. Утверждение некоторых ученых о том, что основной причиной обмеления Аральского моря является фильтрация воды в земные недра, вызывает сомнение и нуждается в дополнительном исследовании. Чтобы доказать, что вода из Аральского моря уходит в земные недра, надо установить места выхода этой воды на земную поверхность в других местах или доказать, что в земных недрах имеются гигантские пустоты, сообщающиеся с атмосферой, способные поглотить такие объемы воды. В исторических документах отмечается, что в III веке н. э. Аральское море значительно пересыхало, превращаясь в болото, но позднее наполнилось снова [1].

Главным недостатком советского проекта является подача воды каналами, что приводит к потерям воды на фильтрацию и испарение с водной поверхности. Для исключения этих потерь подачу воды можно осуществить трубопроводами, как нефть и газ. Эти технологии хорошо освоены нефтяниками и газовиками. Самым протяженным магистральным нефтепроводом в мире в настоящее время является трубопроводная система ВСТО (Восточная Сибирь – Тихий океан), длиной свыше 4 тысяч километров. Это превышает расстояние от побережья Карского моря до Аральского моря.

Трубопроводы – весьма эффективное средство транспортировки не только нефти и газа, но и воды. Пропускная способность одного трубопровода диаметром 1 200 мм при скорости движения воды в нем 3 м/с составляет 107 млн кубометров в год, диаметром 2 000 мм при той же скорости – около 297 млн кубометров в год. Оптимальный диаметр трубопровода определяется минимумом затрат на прокладку трубопровода и возведение перекачивающих насосных станций.



Экологический ущерб, наносимый природной среде по пути трассы трубопроводов, не более чем от прокладки нефтепроводов, газопроводов, а также от прокладки автомобильных и железных дорог и тем более от разработки карьеров для добычи алмазов, драгоценных металлов, строительства городов и т. д.

Остается проблемным вопрос нанесения ущерба от забора воды Карского или Баренцева морей. Ясно, что каждый шаг на Земле оставляет след. Однако не следует впадать в крайность – нет смысла защищать природу от самой себя. Известно, что без вмешательства человека исчезли динозавры и многие другие представители фауны и флоры. Поэтому, проектируя масштабное мероприятие, следует искать решения, наносящие минимальный ущерб окружающей природной среде, и по возможности объективно оценивать последствия реализации проекта на основе научных исследований, не создавая мифов.

Применительно к отбору воды из морей Северного Ледовитого океана можно применить «щадящую» технологию, суть которой заключается в следующем. Используя преимущества подачи воды трубопроводами, можно весь объем строительных работ разбить на пусковые комплексы, соответствующие числу ниток трубопровода. При этом снижается объем омертвления капиталовложений в строительство комплекса и появляется возможность организации мониторинга экологического состояния природной среды в месте отбора воды. При выявлении тенденции недопустимых изменений экосистемы можно отменить дальнейшее увеличение числа трубопроводов.

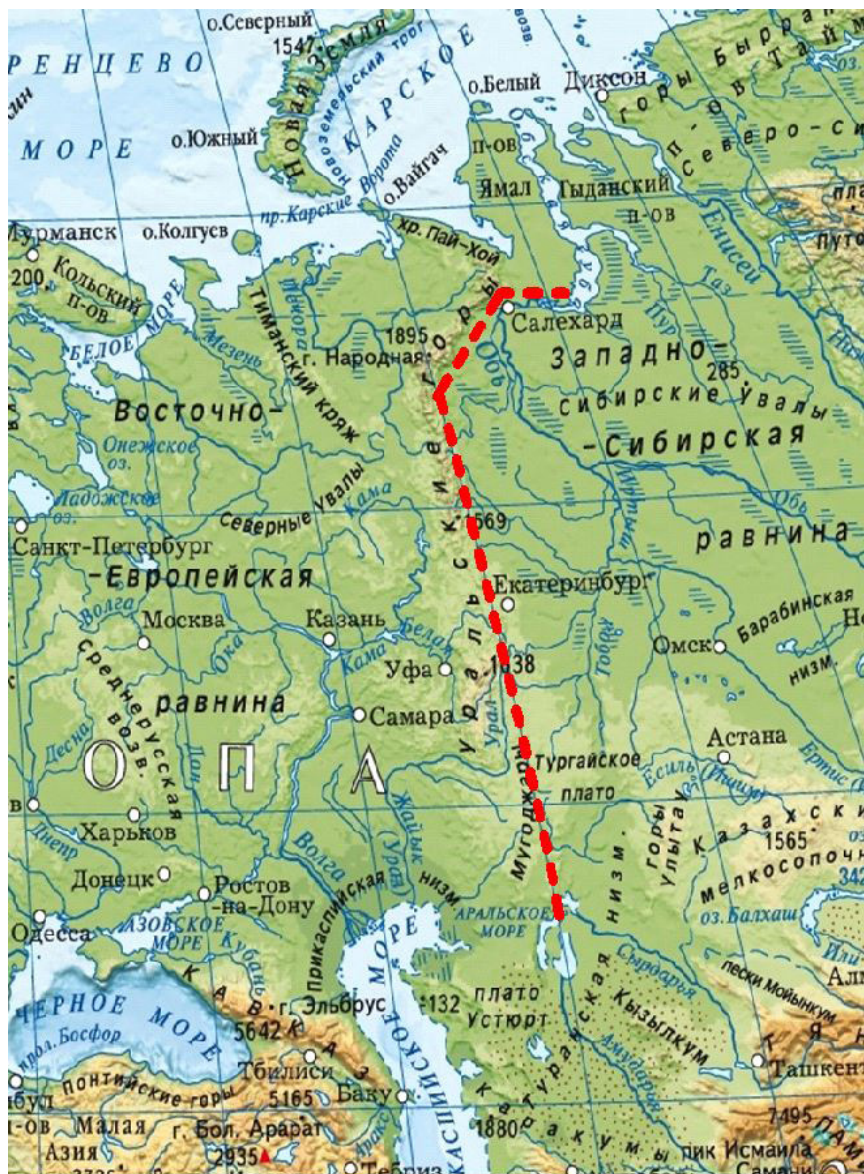
Возможная трасса трубопроводов (см. рисунок) представлена штриховой линией. Прокладка трассы по восточным предгорьям Уральских гор позволяет уменьшить стоимость строительства и исключить негативные моменты эксплуатации трубопроводов.

Использование малонапорных трубопроводов позволит существенно сократить расход электроэнергии на перекачку воды. Трубопроводы можно выполнить из полиэтиленовых труб по ГОСТ 18599 максимальным диаметром 2 м.

В перспективе другой экологической проблемой могут стать последствия переноса водой солей северных морей. Эта проблема, разрешение которой может быть связано с утилизацией этих солей в акватории Аральского моря, нуждается в глубоком и детальном исследовании. Концентрация солей может быть в значительной степени уменьшена, если воду забирать из Обской губы Карского моря, как это изображено штриховой линией на рисунке.

Аналогично можно решить проблему и с подачей пресной воды из Сибирских рек в южные регионы РФ и Центральную Азию. Забор воды можно производить из источников, намеченных советским проектом. Здесь также можно применить «щадящую» технологию, суть которой заключается в том, что забор воды можно осуществлять в многоводные периоды года (половодье и дождевые паводки), когда на гидроузлах производят холостые сбросы воды. Этим не только не наносится экологический ущерб, но и снижается интенсивность наводнений, от которых регулярно страдает этот регион Российской Федерации [2].

Таким образом, забор воды при этой технологии осуществляется циклично. Это обстоятельство не должно никого смущать, поскольку есть примеры крупных водохозяйственных систем, работающих циклично, например, комплекс гидротехнических сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений.



Возможная трасса трубопроводов

Для повышения интенсивности отбора воды в ограниченный временной период следует предусмотреть создание водохранилища в конце трассы водовода. Аналогом такого водохранилища являются подземные хранилища газа на пути транспортировки его из России в Европу. Емкость водохранилища определяется масштабами мероприятия в рамках возможностей экосистемы.

Строительство трубопроводов следует разбить на несколько очередей. Это дает возможность организовать мониторинг экологического состояния участков рек, расположенных ниже по течению мест отбора воды, а также их морских лиманов. При выявлении тенденции недопустимых экологических изменений можно отменить строительство очередной нитки трубопроводов.



Новое предложение транспортировки воды из северных регионов страны в южные и далее в Центральную Азию не предполагает строительство упомянутой судоходной магистрали «Азия».

Для обеспечения перекачивающих станций электроэнергией можно использовать плавучие АЭС, установив их в устье Оби вблизи городов Салехард и Лабытнанги.

Предложенную технологию можно применить и для водоснабжения полуострова Крым. Забор воды в допустимых объемах можно осуществить из Кубанского водохранилища в многоводные периоды при холостых сбросах воды, что позволяет попутно снизить пик наводнений в этом регионе, либо из реки Кубань вблизи города Темрюк, используя Ахтанизовский лиман в качестве буферного водохранилища [3].

Далее трасса трубопровода пересекает Керченский пролив и заканчивается водохранилищем на территории Керченского полуострова Крыма.

Немного философии

Взаимоотношения человека и природы – вечная философская экологическая проблема. От степени осознания этой проблемы и формирования взгляда на ее решение зависит формулирование конкретной наиболее актуальной проблемы, возникающей перед обществом в конкретный момент его существования. Под наиболее актуальной проблемой понимается проблема, требующая принятия неотложных технико-экономических и социально-политических решений.

Таким образом, философская экология, обращенная в вечность, не зависит от экономических предпочтений, а решение конкретной экологической проблемы из множества других проблем, связанных с выживанием общества, зависит от уровня развития экономики государства. В результате решения конкретной экологической проблемы на основе естественнонаучного осмысления обеспечивается равновесие относительно комфортных условий существования общества со средой его обитания.

Ярчайшим примером такого хрупкого равновесия являются условия проживания населения в более десяти государствах на севере Африки, поддерживаемые в значительной степени благодаря созданию рукотворных озер – водохранилищ гидроузлов.

К сожалению, в нашей стране произошел раскол общества на сторонников природных преобразований, направленных на улучшение условий сосуществования общества с обитаемой средой, и противников такого сосуществования, защищающих природу от «вмешательства человека». Такой раскол затрудняет решение насущных водохозяйственных проблем, связанных с улучшением среды обитания населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гумилев, Л. Н. Роль климатических колебаний в истории народов степной зоны Евразии / Л. Н. Гумилев. – Текст : непосредственный // История СССР. – 1967. – № 1. – С. 53–66.
2. Гангард, Г. Г. К вопросу о переброске части неиспользуемого стока северных и сибирских рек в районы, испытывающие дефицит водных ресурсов / Г. Г. Гангард. – Текст : непосредственный // Гидротехническое строительство. – 1971. – № 8. – С. 10.
3. Бухарцев, В. Н. Возможные варианты снабжения Крыма пресной водой / В. Н. Бухарцев. – Текст : непосредственный // Гидротехническое строительство. – № 5. – 2019. – С. 7–9.



BUKHARTSEV Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor of the chair of hydraulic and power engineering

ON TERRITORIAL REDISTRIBUTION OF WATER RESOURCES (A NEW LOOK AT THE OLD PROBLEM)

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

29, Politekhnikeskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. Tel.: +7 (911) 977-04-58;

e-mail: v.bukhartsev2016@yandex.ru

Key words: redistribution of river flow, water withdrawal from the Northern seas, monitoring of ecological condition, pipelines.

A new technology of transportation of part of the Siberian rivers flow to Kazakhstan and Central Asia for the purpose of water supply to the mentioned dry regions and restoration of the Aral sea ecosystem is proposed.

REFERENCES

1. Gumilyov L. N. Rol klimaticheskikh kolebaniy v istorii narodov stepnoy zony Evrazii [The role of climatic fluctuations in the history of the peoples of the steppe zone of Eurasia] // Istoriya SSSR [History of the USSR]. 1967. № 1. P. 53–66.

2. Gangard G. G. K voprosu o perebroske chasti neispolzuemogo stoka severnykh i sibirskikh rek v rayony, ispytyvayushchie defitsit vodnykh resursov [On the issue of transferring part of the unused runoff of the northern and Siberian rivers to areas experiencing water shortages] // Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo [Power Technology and Engineering]. 1971. № 8. P. 10.

3. Bukhartsev V. N. Vozmozhnye varianty snabzheniya Kryma presnoy vodoy [Possible options for supplying Crimea with fresh water] // Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo [Power Technology and Engineering]. 2019. № 5. P. 7–9.

© **В. Н. Бухарцев, 2019**

Получено: 24.09.2019 г.

УДК 627.822

А. В. ФЕВРАЛЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры гидротехнических и транспортных сооружений; О. А. ГРАЧЕВА, инженер

МЕТОДИКА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСЧЕТОВ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ РЕКРЕАЦИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-42-89;
эл. почта: gs@nngasu.ru

Ключевые слова: водохозяйственные расчеты, режим, водные ресурсы, параметры, водохранилища, рекреация.



Объясняются причины отсутствия методики водохозяйственных расчетов рекреационных водохранилищ. Предлагается методика, включающая обоснование параметров и режима использования водных ресурсов водохранилищ для рекреации; методика иллюстрируется конкретными расчетами; предлагается термин «водно-рекреационные расчеты».

Водохозяйственными расчетами (ВХР) называют совокупность вычислительных операций по определению режимов сработки и наполнения водохранилища, расходов воды потребителям, необходимых уровней в верхнем и нижнем бьефах, потерь воды на испарение, фильтрацию и т. п.

Выполнение ВХР предусмотрено правилами использования водных ресурсов водохранилищ для обоснования режима их использования, в том числе режима наполнения и сработки водохранилищ.

Обоснование режима использования водных ресурсов водохранилища осуществляется с помощью решения уравнения водного баланса [1, 2, 3]:

$$dV = Q_{\text{пр}} dt - Q_{\text{потр}} dt - dV_{\text{пот}} - Q_{\text{сбр}} dt, \quad (1)$$

где V – объем водохранилища; $Q_{\text{пр}}$ – расход притока воды в водохранилище; $Q_{\text{потр}}$ – расход потребления; $V_{\text{пот}}$ – объем потерь; $Q_{\text{сбр}}$ – сбросной расход; t – время.

Решением уравнения (1) является определение изменения объема водохранилища V , обеспечивающего заданную (гарантированную) отдачу.

Отдачей рекреационного водохранилища является площадь водной поверхности, необходимая для удовлетворения рекреационных потребностей $F_{\text{рекр}}$, которая определяется по формуле:

$$F_{\text{рекр}} = \sum_{j=1}^m f_{\text{вод } j} N_{\text{вод } j}, \quad (2)$$

где $f_{\text{вод}}$ – размер акватории для единицы j -го вида водной рекреации; $N_{\text{вод}}$ – количество рекреантов для данного вида; m – количество видов рекреации на акватории.

Для обеспечения рекреационной площади общая площадь водохранилища должна быть больше на величину площади, не используемой для рекреации, т. е. определяться по зависимости:

$$F_{\text{общ}} = F_{\text{рекр}} + F_{\text{мелк}} + F_{\text{залес}} + F_{\text{забол}} + F_{\text{опас. зона}}, \quad (3)$$

где $F_{\text{мелк}}$ – площадь мелководья; $F_{\text{залес}}$ – площадь залесенной акватории; $F_{\text{забол}}$ – площадь зоны заболачивания; $F_{\text{опас. зона}}$ – площадь опасной зоны.

Поскольку $F_{\text{мелк}}$, $F_{\text{залес}}$, $F_{\text{забол}}$, $F_{\text{опас. зона}}$ заранее неизвестны, их установление производится последовательными приближениями.

Решение уравнения (3) осуществляется средствами ГИС по электронной цифровой карте долины водотока с помощью компьютерной программы.

К водохранилищам рекреационного назначения, кроме того, предъявляются специфические требования, основными из которых являются [4]:

- допустимая амплитуда колебания уровня воды в летний период при организации пляжей не более 1,5–2,0 м; в период наибольшего наплыва отдыхающих колебания уровня не должны превышать 0,3–0,8 м;
- интенсивность изменения уровня не должна превышать 0,5–1,0 м/ч;
- устойчивый в течение купально-пляжного сезона (июнь–август) расходный и уловный режим;
- скорость течения менее 0,5 м/с;
- показатель водообмена как отношение объема стока через гидроузел к

полному объему водохранилища при площади водной поверхности менее 3 га – 4, при площади более 3 га – 3, при площади более 6 га – 2 раза.

Известны различные методики обоснования режима использования ресурсов водохранилищ не рекреационного назначения [1, 2, 3, 5]. Однако предъявление специфических требований, отсутствие понятия гарантированной отдачи и ее обеспеченности не позволяют непосредственно использовать эти методики для рекреационных водохранилищ.

Анализ использования водохранилищ для рекреации показывает, что гарантированной отдачей следует считать рекреационную площадь $F_{\text{общ}}$, относя ее к концу рекреационного периода. Поскольку рекреационное использование водных ресурсов осуществляются в летнее время, в качестве расчетной обеспеченности гарантированной отдачи рекреационного использования рекомендуется принимать 75 %.

Принятие названных параметров гарантированной отдачи и ее обеспеченности позволяет выполнять обоснование режима использования водных ресурсов рекреационных водохранилищ. Методика основывается на уравнении водного баланса (1), которое представляется в конечных разностях:

а) для расчетов «ходом вперед», т. е. в сторону увеличения времени (ветвь сработки водохранилища)

$$V_{i+1} = V_i + Q_{\text{пр},i+1} \Delta t - Q_{\text{птр},i} \Delta t - \Delta V_{\text{пот},i} - Q_{\text{сбр},i} \Delta t; \quad (4)$$

б) для расчетов «ходом назад», т. е. против увеличения времени (ветвь наполнения)

$$V_{i-1} = V_i - Q_{\text{пр},i-1} \Delta t + Q_{\text{птр},i} \Delta t + \Delta V_{\text{пот},i} + Q_{\text{сбр},i} \Delta t, \quad (5)$$

где i – номер периода времени, $1 \leq i \leq 12$; Δt – интервал времени, принимаемый равным, как правило, одному месяцу.

При расчетах водохранилищ с известными параметрами учитывается ограничение:

$$V_{\text{п}} \geq V \geq V_{\text{м}},$$

где $V_{\text{п}}$ – полный объем; $V_{\text{м}}$ – мертвый объем водохранилища.

Расходы притока задаются в виде внутригодового распределения стока, как правило, в виде среднемесячных значений по модели реального года расчетной обеспеченности [6]:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{I}}, Q_{\text{II}}, \dots, Q_{\text{XII}}, \quad (6)$$

где I, II, ..., XII – порядковые номера месяцев года.

Расходы потребления также задаются в виде среднемесячных значений

$$Q_{\text{птр}} = Q_{\text{птрI}}, Q_{\text{птрII}}, \dots, Q_{\text{птрXII}}, \quad (7)$$

в расход потребления включаются расходы санитарного попуска для периодов отсутствия сбросов воды из водохранилища.

Объем потерь складывается из объемов потерь на дополнительное испарение с водной поверхности для безледоставного периода $V_{\text{исп}}$, потерь на фильтрацию через подпорные сооружения и их основания, в береговых примыканиях сооружений, в ложе водохранилища $V_{\text{ф}}$, потерь на льдообразование $V_{\text{л}}$. Потери определяются известными способами, например, по [3].

Наряду с потерями на дополнительное испарение с водохранилища, имеют место потери на испарение с зоны подтопления, площадь которой определяют как часть суши, прилегающей к контуру водохранилища с глубиной залегания грунтовых вод не более 2–2,5 м [3]. Слой испарения с зоны подтопления рекомендуется принимать для районов недостаточного увлажнения $2/3z_{\text{в}}$, для районов достаточного увлажнения – $z_{\text{в}}$, ($z_{\text{в}}$ – слой испарения с воды).



Определенный по формуле (4) или (5) объем водохранилища позволяет установить уровень верхнего бьефа по морфометрической характеристике

$$V = \int_{\text{отм}}^{\text{УВБ}} F dh, \quad (8)$$

где F – площадь водной поверхности при известном УВБ; h – глубина; отм – отметка дна долины у плотины, а также площадь водной поверхности по зависимости:

$$F = \int_0^{L_{\text{ст}}} B(\text{УВБ}) dl, \quad (9)$$

где УВБ – уровень верхнего бьефа; B – ширина водной поверхности, l – расстояние; $L_{\text{ст}}$ – статическая длина подпора водохранилища.

Поскольку для рекреационного использования водохранилища большое значение имеет скорость течения воды, необходимо определять и ее. Расчет поля скоростей является достаточно сложной задачей. Для упрощения можно ограничиться определением средней по потоку скорости:

$$v_{\text{ср}} = Q/\omega, \quad (10)$$

где Q – расход воды, проходящей по водохранилищу; ω – площадь живого сечения.

При открытом русле максимальная скорость течения наблюдается на поверхности воды или вблизи ее. По [3] максимальную скорость можно оценить как

$$v_{\text{макс}} \approx 1,5 v_{\text{ср}}. \quad (11)$$

Площади живого сечения вычисляются методами ГИС по поперечному сечению водохранилища, устанавливаемому с помощью цифрового топографического плана.

Средняя глубина

$$h_{\text{ср}} = V/F, \quad (12)$$

где V – объем водохранилища; F – площадь водной поверхности, соответствующая этому объему.

Методика реализуется на ЭВМ по программе, блок-схема которой представлена на рисунке.

Разработанная методика демонстрируется примером ВХР водохранилища с рекреационными параметрами:

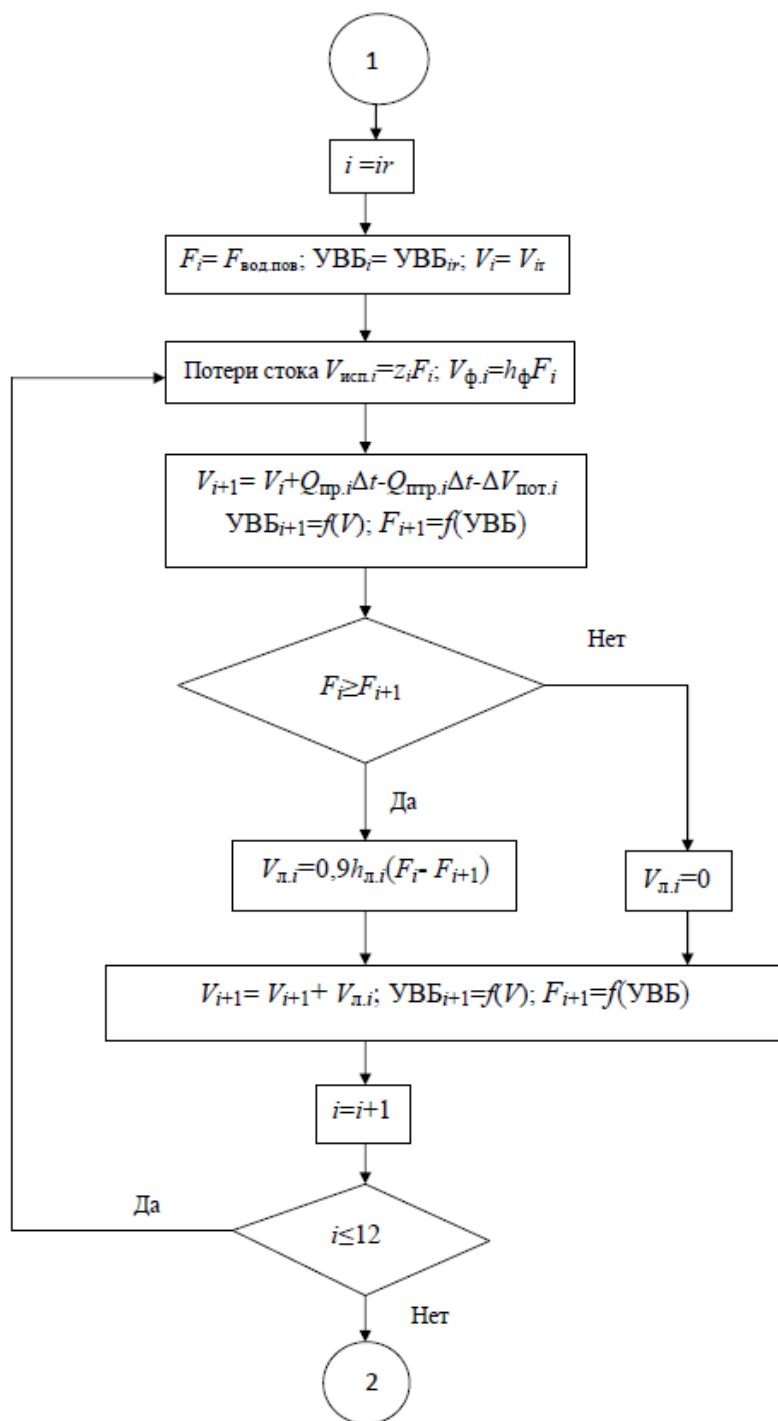
– площадь водной поверхности на конец рекреационного периода $0,8 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ (гарантированная отдача);

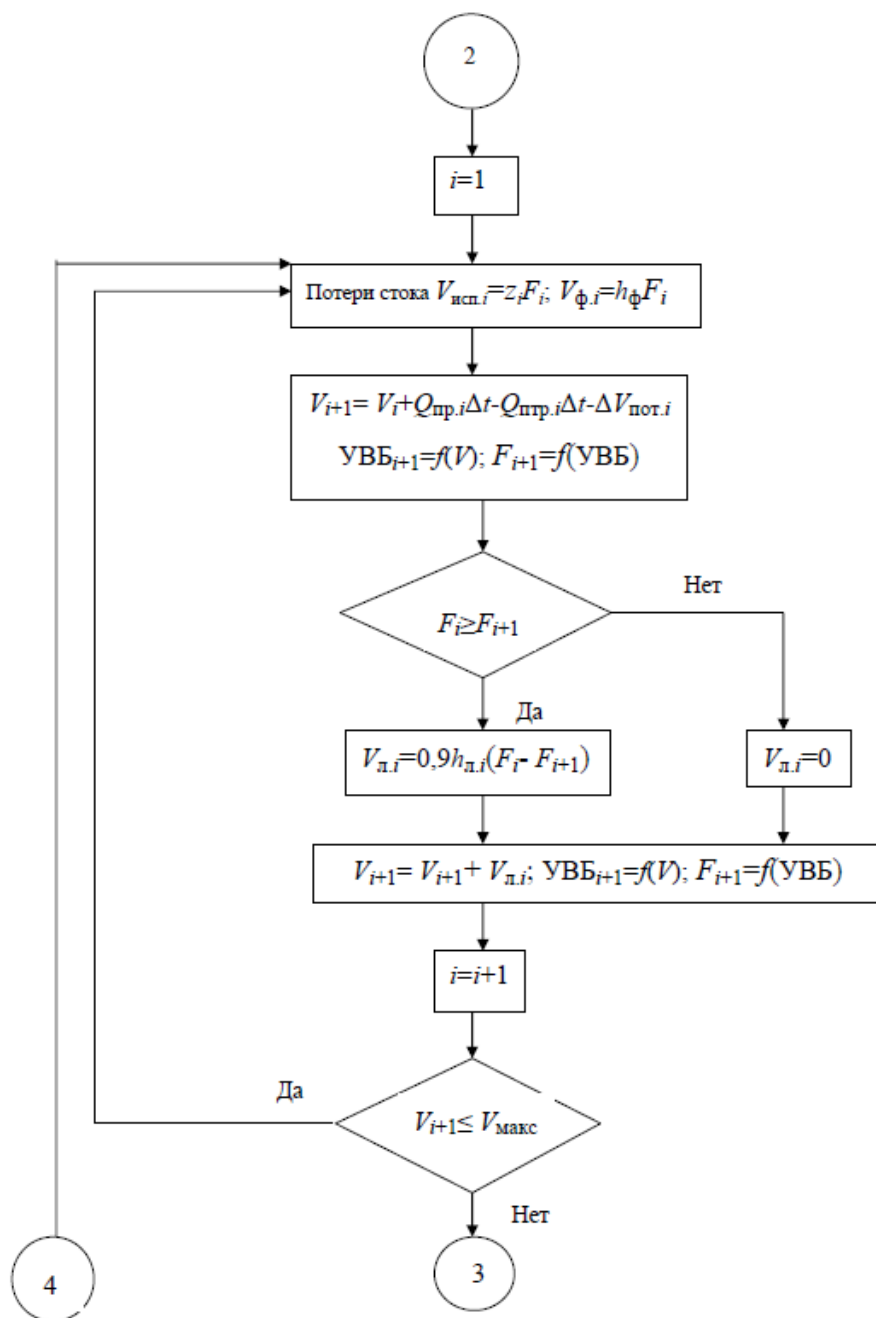
– соответствующий этой площади УВБ = 128,40 м БС;

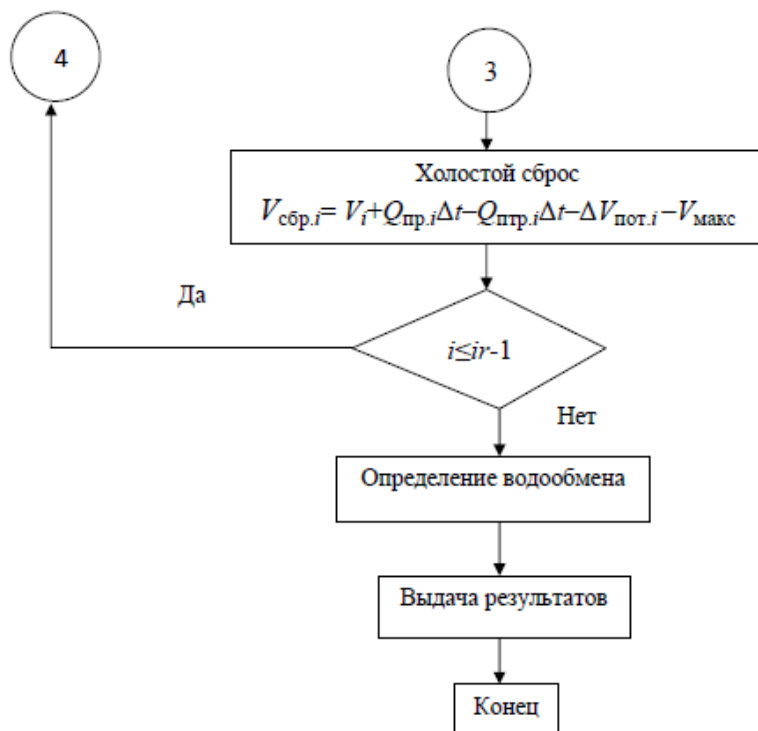
– объем водохранилища $3,55 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ (на конец рекреационного периода).

Расчетами получен режим использования водохранилища за год обеспеченностью по стоку 75 %. Этот режим характеризуется следующим: наименьший УВБ (на конец межени) составил 126,70 м БС при объеме водохранилища $3,23 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ и площади водной поверхности $0,60 \cdot 10^6 \text{ м}^2$. Для обеспечения гарантированной рекреационной площади ($0,80 \cdot 10^6 \text{ м}^2$) в половодье производится наполнение до УВБ = 128,65 м БС, за счет чего объем водохранилища возрастает до $3,63 \cdot 10^6 \text{ м}^3$, площадь водной поверхности – до $0,86 \cdot 10^6 \text{ м}^2$.

По результатам расчетов принимаются НПУ = 128,65 м БС, УМО = 126,70 м БС; полный объем водохранилища $3,63 \cdot 10^6 \text{ м}^3$; мертвый объем $3,23 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.







Блок-схема программы обоснования режима использования водных ресурсов рекреационного водохранилища

Водообмен за весенне-летний период как отношение объема холостого сброса и потребления за апрель-август к среднему объему водохранилища за этот период составил 2,2 раза, что находится в пределах рекомендаций.

Аналогичные расчеты могут быть выполнены при других внутригодовых распределениях стока. В результате будет получена серия режимов использования водных ресурсов с различными параметрами водохранилища, из которых в качестве НПУ следует принять наибольшее значение, а в качестве УМО – наименьшее значение.

Однако можно отметить, что для малых водохранилищ, создаваемых, как правило, на малых реках, наличие достаточных гидрологических данных является проблематичным.

ВХР следует проводить и для лет с обеспеченностью стока выше 75 %, например, для 90, 95 %. Эти расчеты дадут возможность оценить рекреационные параметры за пределами расчетной обеспеченности.

В случае, если эти параметры, а именно площадь водной поверхности, будут меньше гарантированных, необходимо уточнить рекреационный потенциал, что позволит при эксплуатации ограничивать количество рекреантов для соблюдения благоприятных экологических, рекреационных и санитарных условий.

Описанную методику, по аналогии с другими видами ВХР, предлагается назвать водно-рекреационными расчетами.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арсеньев, Г. С. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты : учебник для вузов / Г. С. Арсеньев, А. Г. Иваненко. – Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 1993. – 272 с. : ил. – ISBN 5-286-00797-X. – Текст : непосредственный.
2. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду / А. Б. Авакян, Ю. М. Матарзин, В. П. Салтанкин [и др.] ; ответственный редактор Г. В. Воропаев, А. Б. Авакян ; Академия наук СССР, Секция химико-технологических и биологических наук. – Москва : Наука, 1986. – 367 с. : ил. – (Новое в жизни, науке, технике). – Текст : непосредственный.
3. Железняков, Г. В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока: для специальности «Гидромелиорация» / Г. В. Железняков, Т. А. Неговская, Е. Е. Овчаров. – Москва : Колос, 1984. – 432 с. : ил. – (Учебники и учебные пособия для высших сельскохозяйственных учебных заведений). – Текст : непосредственный.
4. Сокольская, О. Б. Ландшафтная архитектура: специализированные объекты: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Садово-парковое и ландшафтное строительство» / О. Б. Сокольская, В. С. Теодоронский, А. П. Вергунов. – Москва : Академия, 2007. – 222 с. – ISBN 978-5-7695-2837-8. – Текст : непосредственный.
5. Соболев, С. В. Использование водной энергии малых рек / С. В. Соболев, А. В. Февралев. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2009. – 284 с. – ISBN 978-5-87941-631-2. – Текст : непосредственный.
6. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик : свод правил : издание официальное : одобрен для применения в качестве нормативного документа постановлением Госстроя России N 218 от 26 декабря 2003 г. : взамен СНиП 2.01.14-83 / Госстрой России. – Москва : ФГУП ПНИИИС, 2004. – IV, 74 с. : ил. – (Система нормативных документов в строительстве. Свод правил по проектированию и строительству). – ISBN 5-88111-162-1. – Текст : непосредственный.

FEVRALYOV Arkady Valentinovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of hydraulic and transport structures; GRACHYOVA Oksana Aleksandrovna, engineer

**TECHNIQUE OF WATER CALCULATIONS OF SMALL RESERVOIRS
DESIGNED FOR RECREATION**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-42-89;
e-mail: gs@nngasu.ru

Key words: water calculations, regime, water resources, parameters, reservoir, recreation.

The article explains the reasons for the lack of methodology of water calculation of recreational reservoirs. Methodology including justification of parameters and conditions of use of water resources of reservoirs for recreation is proposed; the technique is illustrated by concrete calculations; the term «water-recreational calculations» is proposed.

REFERENCES

1. Arsenev G. S., Ivanenko A.G. Vodnoe khozyaystvo i vodokhozyaystvennye raschyoty: [Water and water calculations]: uchebnik dlya vuzov. Saint-Petersburg. Gidrometeoizdat, 1993. 272 p.: il. ISBN 5-286-00797-X.
2. Avakyan A. B., Matarzin Yu. M., Saltankin V. P. [et al.]. Vodokhranilishcha i ikh vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredyu [Reservoirs and their impact on the environment]; otv. red.



G. V. Voropaev, A. B. Avakyan. AN SSSR, Sektsiya khimiko-tekhnologicheskikh i biologicheskikh nauk. Moscow. Nauka, 1986, 367 p.: il. (Novoe v zhizni, nauke, tekhnike).

3. Zheleznyakov G. V., Negovskaya T. A., Ovcharov E. E. Gidrologiya, gidrometriya i regulirovanie stoka. Dly spetsialnosti "Gidromelioratsiya" [Hydrology, hydrometry and flow regulation. For the specialty "Hydromelioration"]. Moscow. Kolos, 1984, 432 p.: il. (Uchebniki i uchebnye posobiya dlya vysshih selskokhozyaystvennykh uchebnykh zavedeniy).

4. Sobol S. V., Fevralyov A. V. Ispolzovanie vodnoy energii malykh rek [The use of water power of small rivers]. Nizhny Novgorod. NNGASU, 2009, 284 p. ISBN 978-5-87941-631-2.

5. Sokolskaya O. B., Teodoronskiy V. S., Vergunov A. P. Landshaftnaya arkhitektura: spetsializirovannye obekty [Landscape architecture: specialized objects]: ucheb. posobie dlya studentov vuzov, obuchayuschikhsya po spetsialnosti "Sadovo-parkovoe i landshaftnoe stroitelstvo. Moscow. Akademiya, 2007, 222 p. ISBN 978-5-7695-2837-8.

6. SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnykh raschyotnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Determination of the basic design hydrological characteristics]: svod pravil : izdanie ofitsialnoe : odobren dlya primeneniya v kachestve normativnogo dokumenta postanovleniem Gosstroya Rossii N 218 ot 26 dekabrya 2003 g. : vzamen SNiP 2.01.14-83 / Gosstroy Rossii. Moscow : FGUP PNIIS, 2004. IV, 74 p.: il. (Sistema normativnykh dokumentov v stroitelstve. Svod pravil po proektirovaniyu i stroitelstvu). ISBN 5-88111-162-1.

© А. В. Февралев, О. А. Грачева, 2019

Получено: 24.09.2019 г.

УДК 628.4.03:544

Э. Р. МИХЕЕВА¹, канд. биол. наук, науч. сотр.; И. В. КАТРАЕВА², канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; Д. Л. ВОРОЖЦОВ¹, канд. хим. наук, вед. инж.; Е. А. МОРАЛОВА², ст. преп. кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии

ВЛИЯНИЕ ПРЕДОБРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКОЙ ФРАКЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ПРОЦЕСС АНАЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ

¹ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» Россия, 603950, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, д. 23. Тел.: (831) 462-35-35; эл. почта: biomikheeva@gmail.com, dmvorozh@gmail.com

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-92; эл. почта: lab4-5@mail.ru, L.moralova@yandex.ru

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы (ТКО), твердофазная анаэробная ферментация, метаногенез, органическая фракция твердых коммунальных отходов (ОФ-ТКО), термофильный процесс, биогаз.

Изучалось влияние предобработки органической фракции твердых коммунальных отходов в аппарате вихревого слоя и с помощью ультразвука на процесс твердофазной анаэробной ферментации; зафиксировано увеличение скорости образования биогаза на начальном этапе сбраживания, а также увеличение выхода биогаза на 13,8 % для образцов, обработанных в аппарате вихревого слоя.

В последнее десятилетие процесс твердофазного анаэробного сбраживания был широко распространен по всей Европе как перспективный способ переработки органической фракции ТКО (ОФ-ТКО). Коммунальные отходы являются ценным ресурсом, поскольку содержат большое количество органического вещества, которое может быть преобразовано в энергию [1–2]. Выход метана из твердого органического материала при анаэробном сбраживании значительно зависит от массопереноса. Известно, что лимитирующим этапом процесса анаэробного сбраживания является процесс гидролиза. В литературе встречается много работ, посвященных поиску оптимального способа ускорения процесса анаэробного сбраживания органических отходов (предварительная обработка или совместное сбраживание) [3–4]. В представленной работе предобработка ОФ-ТКО перед сбраживанием проводилась с использованием ультразвука и аппарата вихревого слоя ферромагнитных частиц.

Аппарат вихревого слоя (АВС) представляет собой трубу, изготовленную из нержавеющей стали и помещенную вместо ротора в статор асинхронного электродвигателя. В трубе на исходную смесь компонентов воздействуют электромагнитное поле, создаваемое обмотками статора, и интенсивно и хаотичнодвигающиеся ферромагнитные тела. В тех зонах трубы, где возникают электромагнитные поля, в буквальном смысле создается вихревой слой, из-за чего рассматриваемые аппараты и получили свое название. В этом слое реализуются все возможные механические виды воздействия на измельчаемый материал: удар,

истирание, кавитация. Несмотря на то, что АВС применяются в промышленности достаточно давно [5], возможность их использования для ускорения процесса твердофазной анаэробной ферментации органической фракции твердых коммунальных отходов не была изучена. Эксперименты проводили в АВС (изготовитель ООО «Регионметтранс», г. Нижний Новгород), который работал в периодическом режиме. Внешний вид установки представлен на рис. 1. В рабочий стакан из немагнитной стали объемом 500 мл помещали ферромагнитные тела (стержни размером $3,5 \times 35$ мм, 98 шт.) и 150–180 г исследуемого образца ОФ-ТКО, затем герметично закрывали его закручивающейся крышкой, вставляли в рабочую камеру АВС и осуществляли обработку образцов в течение заданного времени (2 мин) при $U = 180$ В, $I = 52$ А, $f = 65$ Гц.

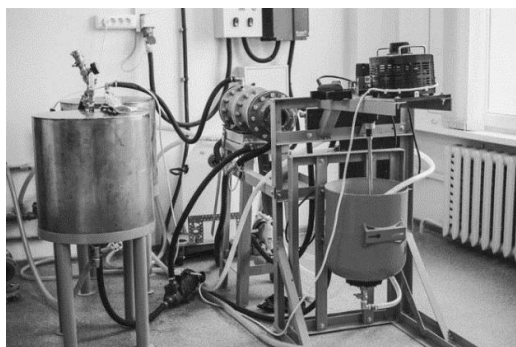


Рис. 1. Внешний вид аппарата вихревого слоя (изготовитель ООО «Регионметтранс», г. Н. Новгород)

Действие ультразвука (УЗ) на образец основано на акустической кавитации и сопутствующих ей физических и химических процессах. Физические эффекты, возникающие в результате разрушения кавитационных пузырьков, в свою очередь, инициируют химические процессы за счет образования свободных радикалов [6]. Эти эффекты могут способствовать окислению и повышению растворимости различных химических соединений, а также разрушению микробиологических клеток. В зарубежной литературе встречается ряд работ, в которых показывается, что УЗ-обработка увеличивает ХПК и улучшает процесс анаэробного разложения осадка сточных вод, способствует увеличению выхода метана. Известно, что низкочастотный ультразвук создает в образце большие кавитационные пузырьки, которые при коллапсе инициируют мощные струйные потоки, создающие сильные сдвиговые силы в жидкости [7]. В литературе было неоднократно показано, что разложение избыточного ила более эффективно при использовании низких УЗ-частот [8]. В этой работе для предобработки образца ОФ-ТКО использовали ультразвуковой низкочастотный гомогенизатор UP100H (100 Вт, 30 кГц) (*Hielscher Ultrasonics*, Германия). Предварительно измельченный вручную образец ОФ-ТКО (подготовку образца проводили аналогично, как для АВС) в количестве 170–180 г, загружали в стакан, в который погружали титановый сонотрод (диаметр 10 мм, мощность 90 Вт/см²). Стакан с образцом помещали на водяную баню с температурой 60 °С. Таким образом, был смоделирован одновременный процесс термической и УЗ-обработки образца ОФ-ТКО. Обработку проводили в течение 6 минут.

Для оценки пригодности субстратов к анаэробному сбраживанию в мировой практике широко используется тест – «биохимический метановый потенциал». Для этого сбраживаемый образец смешивается с микробиологической культурой



(инокулятом), выдерживается при определенных условиях, в ходе данного процесса производится периодическое измерение объема образующегося биогаза.

Целью работы было изучение влияния предобработки образцов ОФ-ТКО на скорость процесса и биохимический метановый потенциал при твердофазном анаэробном сбраживании в термофильном режиме. Предобработка образцов проводилась в аппарате вихревого слоя ферромагнитных частиц и в УЗ-аппарате.

Твердофазное анаэробное сбраживание проводили в стеклянных флаконах объемом 200 мл, герметично закупоренных резиновыми крышками и алюминиевыми колпачками. Образец ОФ-ТКО, состав которого представлен в табл. 1, загружали в отдельные мешочки по 6 г, которые подвешивали над инокулятом (100 мл). Характеристики исходного образца были следующие: СВ = 29,66 %, оСВ = 95,07 %. Образец ОФ-ТКО предварительно подвергали обработке в течение 2 мин в АВС или 6 мин в УЗ-аппарате.

Таблица 1

Фрукты и овощи, %	33,0
Мясо и рыба, %	20,1
Хлеб, %	7,4
Творог, %	4,6
Кофейная гуща/чайная заварка, %	11,1
Скорлупа, %	0,9
Картон, %	3,3
Греча, %	19,6

В качестве инокулята использовали анаэробный ил из лабораторного реактора, в котором стабильно протекал процесс анаэробного термофильного сбраживания комбикорма, имеющего следующие характеристики: СВ = 2,97 %, оСВ = 69,78 %, рН = 7,78. Инокулят предварительно подвергался дображиванию при 57 ± 1 °С в течение недели. Нагрузка на инокулят составила: $\text{оСВ}_{\text{ОФ-ТКО}} / \text{оСВ}_{\text{инокулята}} = 0,81$. Процесс твердофазной ферментации проводили в термофильном режиме (57 ± 1 °С) в лабораторном термостате MIR-154 (*Panasonic (Sanyo)*, Япония). Один раз в сутки вручную проводили орошение образцов ОФ-ТКО инокулятом путем встряхивания флаконов, объем образующегося биогаза измеряли волуметрическим методом (по вытеснению воды), состав биогаза определяли с использованием газового хроматографа GC-2010 *Plus* (*Shimadzu*, Япония). Время пребывания сухого вещества в аппарате (SRT) составило 34 суток.

На начальном этапе термофильного твердофазного анаэробного сбраживания происходит адаптация микробного сообщества к новым источникам питания. На рис. 2 представлена динамика изменения скорости образования биогаза. В начале скорость образования биогаза была выше для образца, обработанного в АВС. На 8-е сутки скорость образования биогаза снизилась, однако содержание метана в нем было одинаково высоким для всех образцов: для образца ОФ-ТКО – 67,6 % об.; для обработанного в АВС ОФ-ТКО – 65,6 % об.; для УЗ-обработанного отхода – 64,8 % об. С 12 по 14-е сутки скорость образования биогаза снова стала расти, рН на 14-е сутки был щелочным во всех флаконах: для образца ОФ-ТКО – 8,45; для обработанного в АВС ОФ-ТКО – 8,03; для УЗ-обработанного отхода – 8,27. Эти значения находились за пределами допустимого диапазона рН = 6,8–7,4 [9]

для стабильного протекания процесса анаэробного сбраживания. Однако в литературе встречаются работы, в которых при высоких pH (7,7–8,0) процесс метаногенеза стабилен [10].

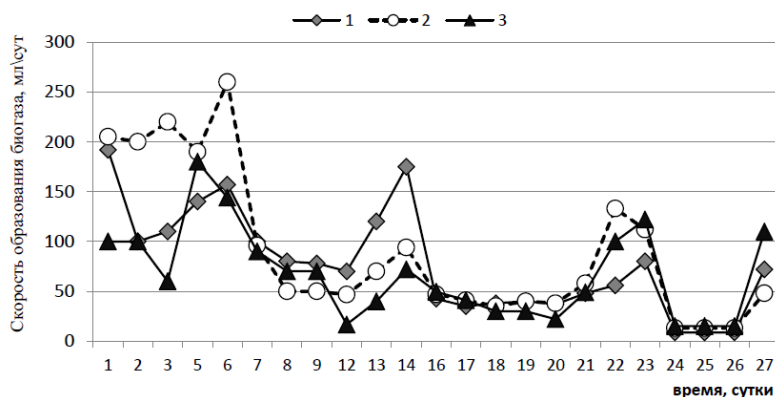


Рис. 2. Динамика изменения скорости образования биогаза: 1 – образец ОФ-ТКО без обработки; 2 – образец ОФ-ТКО, обработанный в АВС; 3 – образец ОФ-ТКО, обработанный УЗ

На 21-е сутки скорость образования биогаза вновь начала расти, при этом содержание метана в биогазе было максимальным: для образца ОФ-ТКО – 76,29 % об.; для обработанного в АВС ОФ-ТКО – 72,28 % об.; для УЗ-обработанного отхода – 70,46 % об. Небольшое увеличение скорости наблюдали на 31-е сутки, однако содержание метана в биогазе снизилось и составило: для образца ОФ-ТКО – 57,29 % об.; для обработанного в АВС ОФ-ТКО – 59,00 % об.; для УЗ-обработанного отхода – 56,00 % об. Общее количество образовавшегося биогаза за 34 дня протекания процесса твердофазной анаэробной ферментации составило: для образца ОФ-ТКО – 2,60 л; для обработанного в АВС ОФ-ТКО – 2,96 л; для УЗ-обработанного отхода – 2,06 л.

В результате твердофазной анаэробной ферментации наибольшая производительность из расчета на 1 г загруженного сухого вещества и на 1 г сухого органического вещества наблюдали во флаконе с обработанным в АВС образцом ОФ-ТКО (табл. 2).

Таблица 2

Выход биогаза для исследуемых образцов

(1 – образец ОФ-ТКО без обработки; 2 – образец ОФ-ТКО, обработанный в АВС 2 мин; 3 – образец ОФ-ТКО, обработанный УЗ 6 мин)

Количество биогаза	Образцы		
	1	2	3
мл/1 г TS	1 190,773	1 321,782	983,5351
мл/1 г оTS	1 252,523	1 391,496	1 042,875

Таким образом, предварительная обработка образца ОФ-ТКО в АВС позволила повысить выход биогаза на 13,8 %. В начале эксперимента скорость образования биогаза для АВС обработанного образца ОФ-ТКО была выше, чем для УЗ-обработанного и необработанного образца ОФ-ТКО, что говорит о повышении биодоступности образца после обработки в АВС на начальном этапе сбраживания. Однако в последующем скорость образования биогаза была



практически одинаковой для всех образцов. Производительность из расчета на 1 г удаленного сухого органического вещества для образца ОФ-ТКО, обработанного в АВС, была наибольшей и составила 1,39 л/г оСВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00275.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Levis, J. W. Is biodegradability a desirable attribute for discarded solid waste? Perspectives from a National Landfill Greenhouse Gas Inventory Model / James W. Levis, Morton A. Barlaz. – Текст : непосредственный // Environ. Sci. Technol. – 2011 – 45 (13) – P. 5470–5476.
2. Cuéllar, A. D. Wasted Food, Wasted Energy: The Embedded Energy in Food Waste in the United States / Amanda D Cuéllar, Michael E Webber. – Текст : непосредственный // Environmental Science & Technology. – 2010. – 44(16). – P. 6464–9.
3. Zhang, C. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production / C. Zhang, Su, H., Baeyens, J., & Tan, T. – Текст : электронный // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – 38. – P. 383–392. – DOI 10.1016/j.rser.2014.05.038.
4. Evaluation of different pretreatment processes of lignocellulosic biomass for enhanced biomethane production / Dahadha, S, Amin Z, Lakeh AAB, Elbeshbishy E. – Текст : электронный // Energy & Fuels. – 2017. – 31(10). – P. 10335–10347. – DOI 10.1021/acs.energyfuels.7b02045.
5. Панышин, И. В. Очистка бытовых и промышленных сточных вод с использованием переменного электромагнитного поля / И. В. Панышин, А. П. Демин, С. А. Марков, Л. К. Прейс. – Текст : непосредственный // Технологии гражданской безопасности. – 2008. – Т. 5, № 1-2. – С. 194–197.
6. Zeynali, R. Effect of ultrasonic pre-treatment on biogas yield and specific energy in anaerobic digestion of fruit and vegetable wholesale market wastes / R. Zeynali, M. Khojastehpour, M. Ebrahimi-Nik. – Текст : электронный // Sustainable Environment Research. – 2017. – 27. – P. 259–264. – DOI 10.1016/j.serj.2017.07.001.
7. Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization / A. Tiehm, K. Nickel, M. Zellhorn, U. Neis. – Текст : непосредственный // Water Res. – 2001. – Vol. 35. – P. 2003–2009.
8. Effect of sonolysis on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability / V. Naddeo, V. Belgiorno, M. Landi, T. Zarra, R. M. A. Napoli. – Текст : электронный // Desalination. – 2009. – Vol. 249(2). – P. 762–767. – DOI 10.1016/j.desal.2009.02.06.
9. Effect of Increasing Total Solids Contents on Anaerobic Digestion of Food Waste under Mesophilic Conditions: Performance and Microbial Characteristics Analysis / J. Yi, B. Dong, J. Jin, X. Dai. – Текст : электронный // PLoS One. – 2014. – Vol. 9(7). – DOI org/10.1371/journal.pone.0102548.
10. Investigation into the effect of high concentration of volatile fatty acid in anaerobic digestion on methanogenic communities / Ingrid H., Franke-Whittle, Andreas Walter, Christian Ebner, Heribert Insam. – Текст : непосредственный // Waste Management. – 2014. – Vol. 34(11). – P. 2080–2089.

MIKHEEVA¹ Elsa Ravilevna, candidate of biological sciences, researcher;
KATRAEVA² Inna Valentinovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry;
VOROZHTSOV¹ Dmitry Leonidovich, candidate of chemical sciences, chief engineer;
MORALOVA² Elena Anatolevna, senior teacher of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry

THE INFLUENCE OF PRETREATMENT OF ORGANIC FRACTION OF SOLID MUNICIPAL WASTE ON ANAEROBIC FERMENTATION PROCESS



¹Lobachevsky Nizhny Novgorod State University

23, Gagarin St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 462-35-35;

e-mail: biomikheeva@gmail.com, dmvorozh@gmail.com

²Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia.

Tel.: +7 (831) 430-54-92; e-mail: lab4-5@mail.ru, L.moralova@yandex.ru

Key words: municipal solid wastes (MSW), solid-phase anaerobic fermentation, methanogenesis, organic fraction of municipal solid wastes (OF-MSW), thermophilic process, biogas.

The effect of pretreatment of the organic fraction of municipal solid waste in a vortex layer apparatus and by ultrasound on the process of solid-phase anaerobic fermentation was studied. An increase in the rate of biogas formation at the initial stage of fermentation was recorded, as well as an increase in biogas yield by 13,8 % for samples processed in the vortex layer apparatus.

REFERENCES

1. James W. Levis, Morton A. Barlaz. Is biodegradability a desirable attribute for discarded solid waste? Perspectives from a National Landfill Greenhouse Gas Inventory Model // Environ. Sci. Technol., 2011. 45(13). P. 5470–5476.

2. Amanda D. Cuéllar, Michael E. Webber. Wasted Food, Wasted Energy: The Embedded Energy in Food Waste in the United States // Environmental Science & Technology, 2010. 44(16). – P. 6464–9.

3. Zhang C., Su H., Baeyens J., Tan T. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. 38. P. 383–392. DOI:10.1016/j.rser.2014.05.038.

4. Dahadha S, Amin Z, Lakeh AAB, Elbeshbishy E. Evaluation of different pretreatment processes of lignocellulosic biomass for enhanced biomethane production. Energy & Fuels. 2017 – 31(10) – P. 10335–10347. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.7b02045.

5. Panyshin I. V, Dyomin A. P., Markov S. A., Preys L. K. Ochistka bytovykh i promyshlennykh stochnykh vod s ispolzovaniem peremennogo elektromagnitnogo polya [Treatment of domestic and industrial wastewaters by alternative electromagnetic field] // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti [Civil Security Technology]. 2008. Vol. 5, № 1–2. P. 194–197.

6. Zeynali R., Khojastehpour M., Ebrahimi-Nik M. Effect of ultrasonic pre-treatment on biogas yield and specific energy in anaerobic digestion of fruit and vegetable wholesale market wastes. Sustainable Environment Research. 2017 – 27 – P. 259–264. DOI: 10.1016/j.serj.2017.07.001.

7. Tiehm A., Nickel K., Zellhorn M., Neis U. Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization // Water Res., 2001. Vol. 35. P. 2003–2009.

8. Naddeo V., Belgiorno V., Landi M., Zarra T., Napoli R. M. A. Effect of sonolysis on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability // Desalination, 2009. Vol. 249(2). – P. 762–767. DOI 10.1016/j.desal.2009.02.06.

9. Yi J., Dong B., Jin J., Dai X. Effect of Increasing Total Solids Contents on Anaerobic Digestion of Food Waste under Mesophilic Conditions: Performance and Microbial Characteristics Analysis // PLoS One, 2014. Vol. 9(7): e102548. 2014. DOI.org/10.1371/journal.pone.0102548.

10. Ingrid H., Franke-Whittle, Andreas Walter, Christian Ebner, Heribert Insam Investigation into the effect of high concentration of volatile fatty acid in anaerobic digestion on methanogenic communities // Waste Management, 2014. Vol. 34(11). P. 2080–2089.

© Э. Р. Михеева, И. В. Катраева, Д. Л. Ворожцов, Е. А. Моралова, 2019

Получено: 24.09.2019 г.

УДК 725.398

Г. Ф. ГОРШКОВА, д-р архитектуры, проф. каф. архитектурного проектирования; **А. ЗАИМ**, аспирант кафедры архитектурного проектирования

АРХИТЕКТУРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ АЭРОВОКЗАЛОВ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО СУХОГО КЛИМАТА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83;
эл. почта: arch@nngasu.ru

Ключевые слова: аэровокзалы в мировой теории и практике архитектуры; климатические и национальные особенности региональных пассажирских терминалов.

Рассматривается вопрос о типологической роли аэровокзалов как специфических зданий и сооружений для пассажирского авиатранспорта. Сопоставлены исторические, актуальные и перспективные возможности архитектурной организации и обустройства пространственных воздушных коммуникаций в мире и в климатических условиях стран с жарким засушливым климатом и национальными традициями.

Роль аэропортов как элементов авиатранспортной системы во многих странах непрерывно возрастает. Современный аэропорт представляет собой комплекс сложных дорогостоящих сооружений и технологического оборудования, который обеспечивает с высокой степенью надежности требуемые уровни безопасности и регулярности полетов воздушных судов и обслуживания пассажиров.

Аэровокзалы занимают важное место в технологической структуре аэропортов как комплексы международных коммуникаций на воздушном транспорте. Современные аэровокзалы свидетельствуют об аэропортах как о передовом и наиболее перспективном направлении в строительстве и архитектуре. Это положение находит отражение в смелых и прогрессивных архитектурных концепциях современных зданий аэровокзалов. Значительное время пребывания пассажиров в аэровокзале часто существенно превышает время, необходимое только для их транспортного обслуживания, что обуславливает необходимость предусматривать необычные объемно-планировочные решения и целесообразность формирования эмоционально комфортной среды пребывания.

Архитектура аэропортов в процессе развития претерпела существенную трансформацию. Об этом свидетельствует история столетнего развития аэропортов [1], которая формулирует 6 итоговых направлений в организации и обустройстве авиатранспорта общемирового масштаба:

- 1) наиболее крупное, многочисленное – это гигантские аэропорты с огромным потенциалом расширения, особенно в странах с задержкой в развитии авиационных технологий и рыночной экономики;
- 2) дробление на несколько мелких, связанное с угрозой терроризма, загрязнения воздушной среды и развитием частной авиации;
- 3) развитие авиатехники, например, сверхзвуковые самолеты, которые доставляют пассажиров на другой край света в рекордный срок;



4) развитие электронных коммуникаций, которые освобождают людей от потребности и даже от желания путешествовать, особенно при растущей стоимости и неудобстве воздушного транспорта;

5) отделенный пассажирский терминал, который напрямую связан с взлетной полосой и тем самым облегчает погрузку пассажиров, при этом их основное обслуживание остается в аэровокзале в центре крупного города;

6) децентрализация, при которой возрождаются небольшие местные региональные аэропорты; они предоставляют пункты отправления и прибытия, удобные для населения в условиях более рассеянной географии и при снижении транспортных расходов.

Архитектурное моделирование современных аэровокзальных комплексов остается актуальной и перспективной задачей в поиске путей и форм развития международных транспортных коммуникаций. В Стокгольме, Швеция, весной 2018 года состоялась Международная конференция и выставка пассажирских терминалов аэропортов (*Passenger Terminal Expo 2018*). Тематика конференции включала, помимо многих других, вопрос «Окружающая среда и устойчивое развитие аэропортов». Среди профилей экспонентов был включен профиль «Архитектура, дизайн интерьеров, строительство и инженерные услуги», где с соответствующей тематикой доклада был включен один из авторов данной публикации (рис. 8 цв. вклейки).

Все это свидетельствует о постепенной трансформации подхода к архитектурному проектированию зданий аэровокзалов, в том числе в организации публичного пространства для авиапассажиров. Так, в среде европейских архитекторов-исследователей аэропорт рассматривается как «пространство в движении между своими многократными концепциями, обычаями, переговорами и превращениями, но в то же время он сам сообщает очень конкретную мобильность его потребителям. Предлагаюсь скорее как обезличенное место, чтобы внедрять в себя искусство и архитектуру, аэропорт позиционируется также абсолютно обособленно в сети городских поселений» [2, с.10].

Для зарубежных архитекторов-экспериментаторов [3] пространство аэропорта обладает компетенцией и с этой точки зрения зависит от их собственной потенциальной компетенции. Необходимо преобразовать пространство так, чтобы потребитель воспринял свое передвижение не только как абстрактное место, где он не замечал бы ничего другого, кроме как функциональных устройств, средств контроля, рекламной информации, т. е. правильного, технически обусловленного, своего рода чувственно пустынного микроклимата среды обитания человека.

Поиск интенсивного воздействия архитектурного пространства возможен через все чувственные каналы. Здание пассажирского терминала может быть рассмотрено как художественная сущность, которая есть форма, способная вследствие своих композиционных соединений служить пассажиру для эмоционального восприятия и облегчения его ориентации в сложной логистике передвижений.

В мировом пространстве значительную часть занимают географические широты с жарким засушливым климатом. Этим оправдывается внимание к климатической специфике места расположения для зданий будущих аэропортов в связи с такими очень распространенными характеристиками окружающей среды, как высокая солнечная радиация при высоких дневных температурах.

К пассажирским терминалам аэропортов в регионах с обозначенным выше климатом предъявляются следующие требования: 1) защита пространств и

**К СТАТЬЕ Г. Ф. ГОРШКОВОЙ, А. ЗАИМ
«АРХИТЕКТУРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ АЭРОВОКЗАЛОВ
В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО СУХОГО КЛИМАТА»**



Рис. 1. Объединенные Арабские Эмираты, аэропорт «Король Фахд»



Рис. 2. Саудовская Аравия, Даммам, аэропорт в Абу-Даби

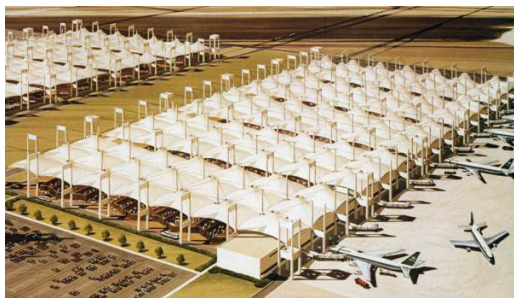


Рис. 3. Саудовская Аравия, Джидда, аэропорт имени короля Абдулазиза

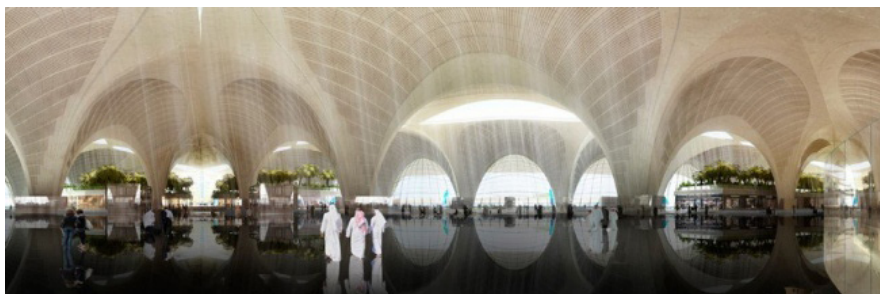


Рис. 4. Кувейтский международный аэропорт



Рис. 5. Иордания, аэропорт «Королева Алия» в Аммане

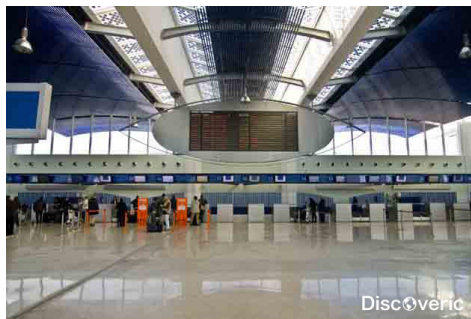
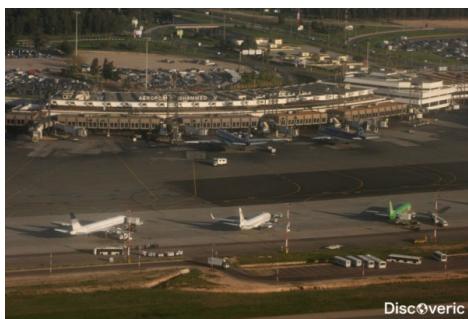


Рис. 6. Марокко, Касабланка, аэропорт имени Мохаммеда V

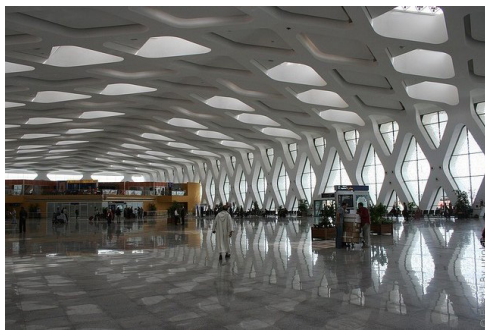


Рис. 7. Марокко, Марракеш, аэропорт Марракеш Манера



Рис. 8. Международная конференция и выставка пассажирских терминалов в аэропортах, Стокгольм, Швеция, 2018 г.



помещений от чрезмерной солнечной радиации, сильных ветров и пыльных бурь; 2) благоустройство и озеленение территорий аэровокзальных комплексов, активное использование средств ландшафтной архитектуры.

Представленные здесь аэропорты (рис. 1–7 цв. вклейки) в районах Северной Африки и Ближнего Востока иллюстрируют тенденции в строительстве и архитектуре, для которых характерна связанность передовых технологий с национальными и климатическими особенностями региона. Являясь оригинальными архитектурными объектами внешне, внутри каждый из них также обустроен как комфортное общественное коммуникационное пространство, приспособленное к жаркому климату.

Как видно в приведенных примерах аэровокзалов, в современной архитектурной технологии свободно сочетаются региональные традиции и технические инновации пространственного формирования современных аэропортов, и этим решаются следующие задачи для рассматриваемых стран.

Во-первых, аэропорт утверждается в статусе крупных международных объектов мирового уровня, а сооружения пассажирских терминалов уникальностью своих объемно-пространственных форм играют роль архитектурных «ворот» в своеобразный мир культуры, что привлекает новые потоки путешественников.

Во-вторых, аэропорт служит развивающей моделью современного социально активного архитектурного пространства, дополняющего урбанистическую картину сформированного крупного города или играющего роль интегрирующего общественного центра для группы нескольких поселений, что важно в случаях стран, заинтересованных в общемировом развитии авиационных технологий и рыночной экономики.

Главной задачей при проектировании зданий аэровокзалов является создание защищенного и удобного пространства для функциональной коммуникации авиапассажиров. Его объемно-планировочное решение должно отвечать следующим основным функциональным требованиям: 1) рациональной организации движения потоков пассажиров; 2) удобной взаимосвязи вестибюльно-информационной зоны и многих других функциональных зон: регистрации, досмотра, ожидания и распределения на посадку; 3) обеспечение визуального обзора путей движения пассажиров и багажа.

Не менее важной задачей является необходимость архитектурного формирования целостной пространственной среды обитания для путешествующих в системе аэропортов и их пассажирских терминалов. При этом следует учитывать следующие первоочередные факторы.

1. Априори аэровокзалы являются зданиями повышенного эмоционального дискомфорта, что обуславливается большим скоплением людей и интенсивностью процессов в них происходящих. Именно поэтому архитектурные решения зданий аэровокзалов должны быть направлены на формирование, с одной стороны, функционально удобной, а с другой – на создание эмоционально комфортной среды пребывания, и при этом как можно более эффективно использовать возможности концептуальных решений образа.

2. Полное время пребывания пассажиров в аэровокзале существенно превышает время, необходимое для технического и транзитного обслуживания, что обуславливает требование предусматривать необычные объемно-планировочные решения и целесообразность формирования эмоционально комфортной среды пребывания. При этом архитектурная форма здания служит границей огромного по размерам, но компактно организованного объема с внутренней пространственной



средой, обеспечивающей свободное логистическое передвижение людей, их психологический и климатический комфорт.

3. *Архитектурно-техническая форма зданий* аэровокзалов служит эмоциональным активатором, своеобразным толчком визуального взаимодействия пассажира с функциональным пространством. Восприятие пространственного образа является синтезом личных впечатлений (субъективной оценки), представлений, навязанных извне, эстетических запросов всего общества в целом и персональных потребностей каждого в отдельности. Все вышеперечисленное влияет на осознанное эстетическое восприятие и формирование облика здания.

4. *Формирование художественного образа* международных аэровокзалов во многом закладывается при правильном функциональном распределении внутреннего пространства здания. Беспрепятственное движение пассажиров и багажа через терминал является основным фактором, *определяющим профиль в пространственном разрезе здания*. Конструктивные элементы, такие как колонны, оконные проемы, ограждающие конструкции создают позитивный архитектурный образ, обеспечивая комфортное эмоциональное состояние пассажира, являются одним из архитектурных средств организации направления движения пассажиропотока через терминал.

5. *Создание «зеленой» архитектурно-пространственной среды* в жарких, засушливых регионах служит защитной системой микроклиматического комфорта внутри здания от неблагоприятного влияния внешних факторов. Вопросы архитектурного формообразования зданий аэровокзалов рассматриваются во взаимодействии с приемами биоклиматического благоустройства их архитектурно-пространственной среды, во взаимодействии национально-культурных традиций и современных технологий в строительном обустройстве.

В целом аэровокзалы и аэропорты для авиапассажиров являются сложными типологическими объектами, к функциональности и надежности которых предъявляется множество требований. Эти современные сооружения следует рассматривать, прежде всего, как общественно значимое коммуникационное пространство. Задача проектирования таких сооружений включает учет большого количества факторов общемирового и регионального порядка, согласованных в гармоничном единстве их архитектурного формирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hugh, P. Aéroports: Un siècle d'architecture / P. Hugh ; Traduit de l'anglais par Paul. – Lepic, France, 2005. – ISBN: 2-02-080040-3. – Текст : непосредственный.
2. Habiter les Aéroports: paradoxes d'une nouvelle urbanité / Sous la direction de Ulberger Andrea. – MâtisPresses, 2012. – 120 p. – ISBN: 976-2-940406-49-4. – Текст : непосредственный.
3. Estevez, D. Aéroports, représentations et expérimentations en architecture / D. Estevez ; L'Harmattan, 5-7, rue de l'École-Polytechnique. – Paris, 2012. – ISBN: 978-2-296-96181-4. – Текст : непосредственный.

GORSHKOVA Galina Fyodorovna, doctor of architecture, professor of the chair of architectural design; ZAIM Abdelkhamid, postgraduate student of the chair of architectural design

ARCHITECTURAL FORMATION OF AIR TERMINALS IN CONDITIONS OF HOT ARID CLIMATE



Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83;
e-mail: arch@nngasu.ru

Key words: air terminals in the world theory and practice of architecture; climatic and national features of regional passenger terminals.

The article considers the typological role of air terminals as specific buildings and constructions for the passenger air transport. Historical, actual and perspective opportunities of the architectural organization and arrangement of spatial air communications in the world and in climatic conditions of the countries with hot droughty climate and national traditions are compared.

REFERENCES

1. Pearman Hugh. Aéroports: Un siècle d'architecture [The airports, representations and researches in architecture] / Traduit de l'anglais par Paul Lepic, France, 2005. – 240 p. ISBN: 2-02-080040-3.
2. Habiter les Aéroports: paradoxes d'une nouvelle urbanité [To live in the Airports: paradoxes new refinement] / Sous la direction de Ulberger Andrea. – MâitPresses, 2012. – 120 p. ISBN: 976-2-940406-49-4.
3. Estevez Daniel. Aéroports, représentations et expérimentations en architecture [The airports, representations and researches in architecture] / LHarmattan, 2012. 5-7, rue de l'École-Polytechnique; 75005 Paris. – 229 p. ISBN: 978-2-296-96181-4, EAN: 9782296961814.

© Г. Ф. Горшкова, А. Заим, 2019

Получено: 24.09.2019 г.

УДК 72.036

Е. В. КОСТОВА, аспирант кафедры архитектуры

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСЛЕВОЕННОЙ АРХИТЕКТУРЫ СОВЕТСКОГО АМПИРА В ГОРОДАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств»

Россия, 630099, г. Новосибирск, Красный проспект, д. 38.

Тел.: (383) 209-17-50; эл. почта: e_kostova@ngs.ru

Ключевые слова: «сталинский ампир», советская неоклассика, архитектурное стилиобразование, региональные особенности архитектуры, системный подход.

Рассматривается заключительная синтетическая стадия советского неоклассицизма в Западной Сибири с позиций системного подхода. На архивном материале профессиональной рефлексии западносибирских архитекторов выявляется специфика западносибирского аналога советского ампира, которая заключается в том, что по своей структуре в силу более неблагоприятных условий развития он реализовался как система экономного жесткого типа в отличие от роскошного столичного ампира с его избыточным дискретным типом структуры.



С системной точки зрения после Октябрьской революции и до Великой Отечественной войны общая среда советской архитектуры была достаточно консервативной. Западносибирский архитектурный процесс устойчиво развивался в едином неизменном направлении в сторону советского неоклассицизма, пройдя стадию генезиса и пребывая в стадии дифференциации. Такое относительно равновесное состояние могло сохраняться еще довольно продолжительное время в ожидании очередного внешнего импульса. Война 1941–1945 гг. ускорила этот процесс, подготовив переход архитектуры «сталинского ампира» в фазу интеграции (1945–1955 гг.) [1].

Расцвет советской архитектуры сталинского периода происходит после Великой Отечественной войны неслучайно: фаза тяжелого кризиса оказала разрушительное действие на чрезвычайно дифференцированную советскую архитектурную систему, но при этом полного разрушения не случилось, произошло оздоровление системы, ее жизнеспособность повысилась, война закончилась победой, которая усилила положительные интегративные процессы в сфере советской архитектуры. Наоборот, Германия и Италия потерпели сокрушительное поражение во Второй мировой войне, и по этой причине в этих странах неоклассицизм так и не дошел до фазы интеграции. Западные варианты ампира и неоклассики в отличие от «сталинского ампира» (имея сходные архитектурные элементы, но различную структуру) воплощали в себе дух индивидуализма и авторитаризма, в рамках своей социальной системы оказались менее жизнеспособны и сошли со сцены, уступив место советской архитектуре коллективизма (также с определенными элементами авторитаризма).

Во время войны, если перефразировать известное высказывание М. В. Ломоносова, Западная Сибирь активно прирастала российским могуществом. Западносибирский регион успешно аккумулировал технические и культурные ресурсы Москвы, Ленинграда, Минска, Киева, Днепропетровска, Краснодара, Одессы и других городов, а также внушительные людские ресурсы, в связи с чем актуализировалась проблема массового жилищного строительства в Сибири для эвакуированных организаций. В условиях военного кризиса в сфере архитектуры и градостроительства Западной Сибири произошло устранение наиболее неустойчивых элементов и соотношений – процесс радикального структурного упрощения. Это наблюдалось как в промышленном строительстве (упрощение технических схем, рационализация и экономия в планах и материалах), так и в жилищном (землянки и полуземлянки, повсеместное деревянное, барачное одно- и двухэтажное строительство).

В эти кризисные годы было уже не до творческих поисков новых архитектурных комбинаций в стиле постконструктивизма или неоклассицизма. По принципу экономии господствовал один лишь минимализм. Однако, как свидетельствует история искусства, тяжелый напряженный труд и лишения порождают великие художественные творения. К концу войны, по аналогии с выздоровлением организма после болезни, происходит закономерное оживление советской архитектуры, возобновляются работы по реконструкции и восстановлению зданий в жизнеутверждающем стиле советского ампира.

Дом Ленина (Новосибирск, В. М. Тейтель, реконструкция 1944 г.) исполнен в изысканной ампирной модификации, со скульптурным элементом в виде лиры как творческого символа социальной гармонии. Театр оперы и балета становится высшим проявлением архитектуры коллективизма в Сибири (Новосибирск, коллектив архитекторов – Т. Я. Бардт, А. З. Гринберг, М. И. Курилко, Б. А. Гордеев,



В. С. Биркенберг, К. Е. Осипов и др., окончание строительства – 1942–1944 гг.). В г. Кемерово неоклассика представлена в новых послевоенных зданиях на ул. Островского, Орджоникидзе и Советском проспекте: открытый свету, праздничный жилой дом УМВД с аркой и башней со шпилем на ул. Орджоникидзе 4 (Л. К. Моисеенко, 1943–1948 гг.); выполненный в жизнеутверждающей архитектурной форме Дом Связи с бельведером на углу ул. Советской и Административной (Центральной) площади (Л. К. Моисеенко, 1947–1956 гг.); многозначительный и величественный жилой дом с арками, эркерами, внушительным двором-курдонером и двумя башнями со шпилем на ул. Островского 27 (А. Н. Рапопорт, 1951 г.). Жилой четырехэтажный Г-образный дом УИТК на Советском проспекте 46 (Кемерово, Т. С. Запашный, 1944–1949 г.) выдержан в светлых жизнерадостных тонах, главный фасад декорирован парными колоннами и пилястрами, арочным окном. В г. Новокузнецке в эти же годы на ул. 25 лет Октября и Кирова появляется торжественный, симметричный архитектурный ансамбль из четырех масштабных 6-этажных жилых домов в возрожденном после войны стиле советского ампира (А. Д. Князев и А. Н. Лоскутов). Жилой дом на проспекте Молотова (Металлургов) 39 (Новокузнецк, арх.: Д. Ф. Горный, Н. А. Бровкин, П. И. Отурин, В. Н. Савченко, 1951–1955 гг.) с выразительным неоклассическим дворцовым фасадом вызывает чувство творческой бодрости, радости и легкости, так же, как и органичный, светлый и ясный дом со шпилем в оптимистичной ампирной подаче (Омск, О. Е. Либготт, 1951 г.). Величественное здание 10-го корпуса ТПУ (Томск, 1954 г.) с традиционной для советской архитектуры символикой на барельефах и скульптурной композицией на фасаде воспринимается в целом как торжество мирного труда и всепобеждающего сотрудничества.

Это фаза интеграции в архитектуре Западной Сибири – возрастание целостности архитектурной системы советского ампира, упрочение внутренних связей, консолидирующая тенденция архитектурного синтеза как воплощение энергии, воли и духа победившего коллективизма.

В системной методологии принцип отбора признается в качестве универсального механизма [2]. В результате Великой Отечественной войны как фактора отрицательного системного отбора советская архитектура синтезировала в себе только самые устойчивые формы, имеющие большой потенциал для распространения по всей стране. Победоносная война сыграла позитивную обобщающую роль по отношению к отечественной архитектурной системе, наступил период активного строительства и синтетического творчества новых архитектурных образов. Советская неоклассика, архитектура коллективизма выходит на качественно новый уровень. В силу адаптивной необходимости послевоенная советская архитектура преодолевает раздробленность и противоречия предыдущего периода своего структурного развития, становится однородной, гармоничной и целостной. Налицо продуктивное комбинирование новых форм, интенсивность, последовательность, единая направленность, монизм коллективистского архитектурного стиля. Происходит мощный подъем русского национального самосознания.

В послевоенной фазе интеграции наблюдается дальнейшее эстетическое обогащение советского ампира разнообразными архитектурными формами в условиях уже положительного системного отбора, что в перспективе приводит к очередному усложнению стилиобразования, накоплению новых противоречий, различных излишеств в архитектуре.

В послевоенные годы западносибирская архитектура советского ампира вступила в фазу своей интеграции. Вторая мировая война как фактор



отрицательного системного отбора привела к перегруппировке внутренних связей в архитектурной системе Западной Сибири в сторону возрастания ее гармонизации и структурной устойчивости форм. В дальнейшем происходит накопление новых противоречий в западносибирском архитектурном процессе в рамках проблематики архитектурного регионализма и по линии чрезмерного усложнения архитектурных форм.

В материалах творческого совещания по вопросам массового жилищного строительства Урала и Сибири (1951 г.) в докладе заместителя начальника Управления по делам архитектуры при Совете Министров РСФСР Колесникова С. И. содержится критика бессистемно разросшихся противоречивых архитектурных форм, которые вносят дезорганизацию в единый общенациональный советский стиль: «применение романтической композиции домов, оголенных навесных карнизов, не увязывается и не подходит к традициям нашей русской классической архитектуры... карнизы огромной величины, с кронштейнами, которые по существу ничего не несут... можно ли считать правильным, чтобы мы создавали произведения архитектуры, основываясь на художественных композициях испанского или итальянского барокко? ... неужели наше русское наследие архитектурной многовековой культуры не имеет в своем арсенале необходимого количества композиций, художественных приемов, чтобы можно было воодушевляться ими и развивать наши художественные традиции?» [3].

В силу региональной специфики архитектурного развития западносибирский вариант «сталинского ампира» в отличие от его роскошных аналогов в столичных городах СССР носит относительно строгий и сдержанный характер, поскольку он формировался в условиях более неблагоприятной среды (природно-климатической, культурной, экономической, технической). Это придало ему все соответствующие признаки системы жесткого типа: экономность, определенная аскетичность, суровость, лаконизм, ахроматичность, удешевление строительства, меньше гибкости и эклектичности, больше обдуманности, последовательности, устойчивости, цельности и выдержанности архитектурного стиля. В этом смысле советская архитектура Западной Сибири представляет собой достаточно специфичный структурный тип: это советская неоклассика в своеобразной, компактной художественной форме. Согласно структурной типологии систем такой тип называется «жестким», «слитным» в противовес избыточному, «дискретному» типу структуры [4], который характерен для столичного «сталинского ампира».

Западносибирский аналог характеризуется меньшей экстенсивностью, большей равномерностью и меньшей изменчивостью архитектурного стиля. По своей структуре такой тип стилиобразования в своем развитии является менее энергозатратным и более устойчивым, хотя и менее свободным в своих творческих проявлениях. Характерен и ярко выраженный иерархический централизм в творческих ориентирах сибирских архитекторов (тяготение к столичным образцам).

Однако непосредственное, неадаптированное к региональным условиям столичное влияние (из Москвы, Ленинграда, Харькова, Риги и др.) своим академическим формализмом вносило дополнительные противоречия в западносибирский архитектурный процесс. Как отмечал на том же творческом совещании управляющий новосибирского строительного треста № 30 Смирнов (1951 г.): «там, где имеются в городе хорошо отлаженные коллективы архитекторов и проектировщиков, где они не разбавлены участием иногородних, «столичных» проектных организаций, там дело идет значит лучше» [5]. Прежде



всего, многочисленные столичные специалисты, сторонники универсального архитектурного подхода, в своих проектах недостаточно учитывали различия в структуре жилых домов южного и северного типа с точки зрения компактности зданий, защиты от сильного ветра и снегопада, сохранения тепла в помещении. В Западной Сибири действуют неблагоприятные климатические факторы, и южные архитектурные образцы оказывались неприспособленными к данной природной среде. Эта же проблема была и в разработке генеральных планов западносибирских городов, как отмечалось на одном из творческих совещаний по проблемам архитектуры Урала и Сибири (23.05.1947 г.): «приезжает бригада проектировщиков, живет 2-3 недели, собирает материалы, на основе которых и строит свои гипотезы, при этом проектанты не озабочены тем, чтобы как-то отразить специфику города, его природные условия, а стараются больше, чтобы попасть в моду времени и тем самым протащить свой генеральный план через утверждающие инстанции, а экспертиза так же подходит в большинстве случаев по этому же принципу, не зная города, судят по пятнам, по общим композиционным моментам и утверждают его» [6].

Нельзя сказать, что в теории эта проблема не осознавалась ведущими столичными архитекторами. Действительный член Академии архитектуры Н. Я. Колли признавал, что «одной из важнейших задач, которая стоит перед архитекторами Урала и Сибири, является найти в своих работах специфические черты, которые бы учитывали и отражали особые климатические, строительные и бытовые условия Южного Урала, Среднего и Северного Урала, условия Сибири». В качестве примера он приводил «французские» балконы и лоджии южного типа, неуместные «в суровых местах Сибири и Урала» [7]. Дело в том, что в архитектурной работе применялись уже готовые практические шаблонные приемы, которые по мысли таких специалистов носили универсальный характер и могли быть пригодны для большинства городов.

Разница в условиях внешней среды архитектурного процесса в западносибирском регионе и столичных городах СССР – это объективный факт. В такой обстановке расхождения теории с практикой профессиональная рефлексия централистически ориентированных сибирских архитекторов проявлялась в постоянной взаимной критике и самокритике, о чем подробно свидетельствует архивный материал различных творческих совещаний по вопросам региональной послевоенной архитектуры. Ведь совершенно очевидно, что столичный советский ампи́р такой богатый, разносторонний, роскошный, исполненный самых радостных чувств, стилистически многообразный, многослойный, контрастный, а в Западной Сибири – менее яркий, монотонный, стилистически суженный, структурно экономный, зато более равномерный, умеренный и в идейном плане ясно выраженный.

Чтобы опередить рискованную критику из центра, сибирские архитекторы сами активно себя критиковали, чрезмерно акцентируя «многочисленные недостатки» региональной архитектуры: «фасады обычно «прорабатываются» после окончания плана здания, и эта «проработка» сводится к тому или иному декорированию функционально сложившихся коробок... создание примитивных и неэкономичных зданий... красивых часто на бумаге, но безобразных в натуре – грязных, с трещинами, с отвалившимися кусками деталей карнизов, сливов, поясков, капителей, цоколей, парапетов и др. ...в натуре типовые дома и их ансамбли выглядят однообразно и примитивно... авторы в большинстве случаев используют южные образцы форм и деталей, которые не выдерживают длительного разрушающего воздействия



природы» [8].

Проблема качественной недостаточности региональной архитектуры критически освещалась и в творческой дискуссии сибирских архитекторов 1951 г.: «как в проектах, так и в строительстве слабо учитываются климатические особенности Сибири... очень часто не делаются сливы над выступающими частями фасадов... на многих зданиях красуются пятна и коррозии... недостаточный контроль и требовательность Госархстройконтроля, недостаточная квалификация и требовательность прорабов и строymастеров, в особенности в области архитектурного оформления, недостаточная квалификация рабочих... недостаточный технический уровень ведения работ, отсутствие авторского надзора, небрежная эксплуатация зданий» и т. д. [9]. В ответ на это усиленно повышалась архитектурная квалификация специалистов, ликвидировалось бесплановое строительство, архитектурное формообразование становилось все более планомерным, разрабатывались генеральные планы реконструкции городов, вводился строгий контроль над качеством строительства и оформления фасадов зданий. На этом этапе сибирские архитекторы переходят к планомерной организации архитектурного процесса, успешно проявляя творческую инициативу и осуществляя регулятивную организующую функцию.

В целом в послевоенный период западносибирские архитекторы вполне осознавали основные тенденции регионального стилеобразования и ставили своей целью раскрыть «архитектурный образ советского социалистического здания в суровых природно-климатических условиях Сибири» [10]. И в общем это им удалось. В Западной Сибири характерные признаки эстетичности, экспрессивности и полистилистики «сталинского ампира» проявились в более простых формах, но при этом в региональном архитектурном стиле также присутствует и устойчивость, и организованность, и общее стремление к красоте. Это уникальный, хотя и довольно упрощенный аналог столичного ампира – шедевра в архитектуре советского коллективизма.

Разумеется, архитектурный синтез «сталинского ампира» – это не конец истории. В фазе его интеграции в условиях воздействия меняющейся мировой архитектурной среды и в силу внутрисистемной динамики стилеобразования неизбежно накапливались все новые и новые противоречия. Смена власти в СССР в 1953 г. стала началом очередного архитектурного кризиса, но это уже следующий этап развития советской архитектуры.

Вывод. Западносибирский советский ампи́р развивался в отношениях строгой функциональной зависимости от столичного и по сравнению с ним в более неблагоприятных условиях, что и определило его специфику. Столичный ампи́р как центральный имел избыточный дискретный тип структуры, а западносибирский как периферический – экономный и крайне жесткий тип.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Костова, Е. В. Основные тенденции развития архитектуры «сталинского ампира» в Западной Сибири / Е. В. Костова. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – Т. 21, № 1. – С. 9–17.
2. Тахтаджян, А. Л. *Principia tectologica* / А. Л. Тахтаджян. – Текст : непосредственный // Принципы организации и трансформации сложных систем: эволюционный подход. – Санкт-Петербург : СПХФА, 2001. – С. 63–64.
3. Государственный архив Новосибирской области (ГАНО). Фонд. Р-1444. Опись. 1. Дело 91. Лист 43. – Текст : непосредственный.



4. Малиновский, А. А. Эффективность некоторых типов полужестких систем / А. А. Малиновский. – Текст : непосредственный // Малиновский, А. А. Тектология. Теория систем. Теоретическая биология / А. А. Малиновский. – Москва : Эдиториал УРСС, 2000. – С. 151–153.
5. Государственный архив Новосибирской области (ГАНО). Фонд Р-1444. Описание 1. Дело 92. Лист 13. – Текст : непосредственный.
6. Государственный архив Российской Федерации (ГАРФ). Фонд А-150. Описание 2. Дело 142. Лист 21. – Текст : непосредственный.
7. Государственный архив Российской Федерации (ГАРФ). Фонд А-150. Описание 2. Дело 142. Листы 60–61. – Текст : непосредственный.
8. Государственный архив Новосибирской области (ГАНО). Фонд Р-1444. Описание 1. Дело 65. Листы 59–60. – Текст : непосредственный.
9. Государственный архив Новосибирской области (ГАНО). Фонд Р-1444. Описание 1. Дело 91. Листы 30–31. – Текст : непосредственный.
10. Государственный архив Новосибирской области (ГАНО). Фонд Р-1444. Описание 1. Дело 65. Лист 59. – Текст : непосредственный.

KOSTOVA Evgeniya Viktorovna, postgraduate student of the chair of architecture

THE STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE POST-WAR ARCHITECTURE OF THE SOVIET EMPIRE STYLE IN THE CITIES OF WESTERN SIBERIA

Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts
38, Krasny Ave, Novosibirsk, 630099, Russia. Tel.: +7 (383) 209-17-50;
e-mail: e_kostova@ngs.ru

Key words: “Stalin’s Empire style”, Soviet Neoclassicism, architectural style, regional features of architecture, system approach.

The article considers a final, synthetic stage of Soviet Neoclassicism on the bases of system approach. This is examined on the archival materials of professional reflection of West Siberian architects. The specific character of the West Siberian analogue of the Soviet Empire Style is revealed that by its structure, due to more unfavourable conditions of the development, was realized as a system of economical, rigid type in contrast to the luxurious capital Empire Style with its redundant, discrete type of structure.

REFERENCES

1. Kostova E. V. Osnovnye tendentsii razvitiya arkhitektury «stalinskogo ampira» v Zapadnoy Sibiri [The main trends in the Stalinist Empire Style in Western Siberia] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Journal of Construction and Architecture]. 2019. Vol. 21. № 1. P. 9–17.
2. Takhtadzhyan A. L. Principia tectologica. Printsipy organizatsii i transformatsii slozhnykh sistem: evolyutsionny podkhod [Principia tectologica. Principles of organization and transformation of complex systems: an evolutionary approach]. Saint-Petersburg: SPKhFA Press, 2001. P. 63–64.
3. GANO (Gos. arkhiv Novosib. obl.) [State Archive of Novosibirsk region]. F. R-1444. Op. 1. D. 91. L. 43.
4. Malinovskiy A. A. Effektivnost nekotorykh tipov poluzhyostkikh sistem [Effectiveness of some types of semi-rigid systems]. Tektologiya. Teoriya sistem. Teoreticheskaya biologiya [Tectology. Systems theory. Theoretical biology]. Moscow: Editorial URSS, 2000. P. 151–153.
5. GANO (Gos. arkhiv Novosib. obl.) [State Archive of Novosibirsk region]. F. R-1444.



Op. 1. D. 92. L. 13.

6. GARF (Gos. arkhiv Ros. Fed.) [State Archive of the Russian Federation]. F. A-150.

Op. 2. D. 142. L. 21.

7. GARF (Gos. arkhiv Ros. Fed.) [State Archive of the Russian Federation]. F. A-150.

Op. 2. D. 142. L. 60-61.

8. GANO (Gos. arkhiv Novosib. obl.) [State Archive of Novosibirsk region]. F. R-1444.

Op. 1. D. 65. L. 59-60.

9. GANO (Gos. arkhiv Novosib. obl.) [State Archive of Novosibirsk region]. F. R-1444.

Op. 1. D. 91. L. 30-31.

10. GANO (Gos. arkhiv Novosib. obl.) [State Archive of Novosibirsk region]. F. R-1444.

Op. 1. D. 65. L. 59.

© Е. В. Костова, 2019

Получено: 26.08.2019 г.

УДК 72.035

**А. С. ШУМИЛКИН, канд. архитектуры, доц. кафедры истории архитектуры
и основ архитектурного проектирования**

К ПРОБЛЕМЕ ВОССОЗДАНИЯ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ В РЕСТАВРАЦИОННОЙ ПРАКТИКЕ

ФГБОУ 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

Ключевые слова: культурное наследие, научная реставрация, воссоздание.

Рассматривается эволюция метода архитектурного воссоздания в зарубежной и отечественной реставрационной практике как одного из подходов к сохранению культурного наследия в XX – начале XXI вв. Выявляются основные предпосылки и причины утверждения данного метода в связи с компенсацией массовых уничтожений памятников в XX в., вызванных военными действиями и идеологическими кампаниями.

Примеры воссоздания архитектурных памятников и воспроизведения определенных типов зданий или их композиционно-стилевых принципов в новых произведениях известны в истории архитектуры с античных времен (воссоздание афинского Парфенона в Гефестейоне). В Новгороде в XV в. большой размах приобрела программа возрождения старины – возведение храмов на старой основе, когда древние каменные здания разбирались почти до основания и на остатках стен строились заново. Воссозданные храмы не являлись точной имитацией древних – в них присутствовали соответствовавшие времени архитектурные элементы [1, с. 21]. К примерам воссозданий XVIII в. можно отнести возведение в прежних формах башен московского кремля, снесенных в рамках грандиозного проекта его перестройки. Позже в Москве были воссозданы кремлевские постройки, уничтоженные при отступлении наполеоновских войск.

В XVIII в. воссоздание как метод приобрел научную направленность и начал развиваться в русле эволюции философских идей о ценности искусства. Воссоздания XIX в. нередко сопровождались произвольными дополнениями



древних произведений и носили характер стилистических компиляций (замок Пьерфон во Франции, воссоздан в 1860–1870-е гг., арх. Виолле-ле-Дюк). С зарождением научного определения исторической достоверности памятника и развитием аналитического подхода метод воссозданий приблизился к его современному пониманию.

В XX в. разрушительные для архитектурного наследия последствия мировых войн, стихийных бедствий и политических программ становились импульсом для интенсивного обращения к воссозданиям в стремлении вернуть утраченное достояние. В рамках возрождения разрушенных второй мировой войной городов воссоздание памятников приобрело колоссальный масштаб. Мероприятия по восстановлению исторических центров охватывали значительные участки городской ткани (Варшава, Краков, Гданьск, Вроцлав, Познань).

В России в 1940–1950-е гг. практика воссозданий развивалась преимущественно в районах массовых военных разрушений (Ленинград, Новгород, Псков, Смоленск). В Ленинграде сложилась качественно новая, не имевшая аналогов в отечественной практике по объемам и методам работа по воссозданию архитектурного облика пострадавшего города. В практике воссозданий послевоенного периода преобладало стремление к сохранению подлинного материала памятника и использованию традиционных технологий. Вместе с тем развернувшаяся реставрационно-восстановительная деятельность значительно расширяла рамки существовавших до войны границ и методов реставрации, сближая их с архитектурно-градостроительными методами современного проектирования [2, с. 340]. В силу недостатка исчерпывающей информации о первоначальном облике разрушенных памятников значительная часть воссозданий носила характер художественных реставраций.

В 1950–1960 гг. выявилась тенденция восстановления памятников с перемещением, коснувшаяся в основном воссоздания традиционной деревянной архитектуры в музеях под открытым небом. Критерий подлинности при этом часто утрачивал определяющее значение.

С начала 1970-х гг. возрождение интереса к историческому наследию, с одной стороны, и идеи постмодернизма – с другой, дали новый импульс развитию метода воссозданий в странах Центральной Европы, испытавшей сильные разрушения военных лет. Конкурсные предложения и журнальные статьи предлагали к обсуждению воссоздание отдельных памятников и целых фрагментов исторической застройки Германии, во многих случаях реализованных (комплекс Ремерберг во Франкфурте-на-Майне, 1983 г.). Помимо примеров, достоверно обоснованных (Дом Штайпе и «Красный дом» в Трире, арх. Г. Мюллер-Менкенс), последовали крайние случаи воссозданий, не опиравшиеся на уцелевший подлинный материал памятника.

Наиболее яркий зарубежный пример восстановления 1990-х гг. – воссоздание собора Фрауэнкирхе в Дрездене, после Второй мировой войны находившегося в полностью разрушенном состоянии. При восстановлении уникального памятника были максимально сохранены подлинные элементы и фрагменты, найденные среди руин и включенные в новый объем (рис. 1 цв. вклейки).

В отечественной практике в 1960–1980-е гг. полные воссоздания практически не проводились. В то же время звучали идеи восстановления знаковых памятников Москвы (храма Христа Спасителя, Казанского собора на Красной площади, Сухаревой башни), воспринимавшиеся как утопические [2, с. 609]. В 1990-е гг. эти идеи были осуществлены в рамках идеологической программной компенсации беспрецедентных сносов 1920–1930-х гг., ставших результатом антирелигиозных

**К СТАТЬЕ А. С. ШУМИЛКИНА
«К ПРОБЛЕМЕ ВОССОЗДАНИЯ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ
В РЕСТАВРАЦИОННОЙ ПРАКТИКЕ»**



Рис. 1. Собор Фрауэнкирхе в Дрездене. Воссоздан в 1990-е гг.

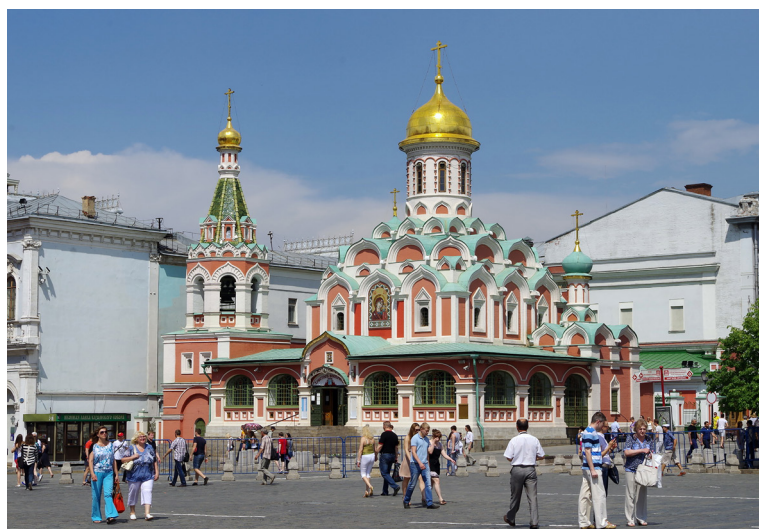


Рис. 2. Казанский собор на Красной площади в Москве. Воссоздан в 1990-е гг.



Рис. 3. Интерьер церкви Успения на Волотовом поле. Воссоздана в 2000-е гг.



Рис. 4. Дом Смирнова в Нижнем Новгороде (ул. Дальняя, 15). Воссоздан в 2018 г.



кампаний советского правительства. Воссоздание храма Христа Спасителя в Москве, имевшего исключительное мемориальное значение для страны, стало началом грандиозного всплеска воссозданий памятников культовой архитектуры в начале XXI в. Восстановление Казанского собора также явилось знаковым событием, восполнив утраченный градостроительный и композиционный узел Красной площади. В новом соборе был воспроизведен облик центрального храма, дополненный воссозданными по аналогам приделами, галереями и колокольной (рис. 2 цв. вклейки).

К уникальным работам рубежа XX–XXI вв. можно отнести возрождение из руин Церкви Успения на Волотовом поле Новгородской области (XIV в.) – памятника мирового значения с неповторимой росписью. С 1950-х гг. памятник, разрушенный не менее чем на 70 %, находился в состоянии консервации. Работы по архитектурной реставрации с воссозданием утраченных частей в первоначальных формах, проведенные в 2001–2003 гг., отличались сложностью архитектурных и инженерных задач. Исключительной особенностью работ на памятнике стало воспроизведение материала и техники кладки, применявшихся в XIV в. (рис. 3 цв. вклейки) [3].

Нижегородская реставрационная практика начала XXI в. включает опыт воссоздания знаковых памятников и восстановления их градостроительной роли в крупных архитектурных ансамблях (Зачатьевская башня Нижегородского кремля, Церковь Иконы Божией Матери Феодоровской в Городецком Феодоровском монастыре, колокольня Амвросиева Дудина монастыря в Богородском районе). При воссоздании Зачатьевской башни Нижегородского кремля были сохранены подлинные руинированные фрагменты башни XVI в., включенные в экспозиционный показ в качестве музеефицированного архитектурно-археологического объекта.

Одной из спорных тенденций в современной практике реставрации стало воссоздание памятников в новых материалах, подразумевающее их предварительный демонтаж в связи с состоянием исторического материала и конструкций. Подобный подход был осуществлен на ряде нижегородских деревянных жилых домов – ярких образцах модерна и русского стиля начала XX в. («Шахматный дом» на ул. Пискунова, дом Смирнова на ул. Дальней) (рис. 4 цв. вклейки). Следует признать, что даже при строгом соблюдении первоначальных форм и пропорций, максимальном стремлении к сохранению исторических элементов восстановленный таким способом памятник утрачивает подлинность и уникальный характер.

Практика воссозданий XX – начала XXI вв. во многом вызывает неоднозначную оценку специалистов с точки зрения методики научной реставрации. Дискуссионность вопроса допустимости воссозданий находила отражение в академических материалах (РААСН, 1997 г.). Несмотря на обширный опыт, до конца XX в. в реставрационной теории не сформировалось единого понимания правомерности и границ применения метода воссозданий, он не находил отражения в руководящих документах об охране культурного наследия. Наряду с признанием правомерности принципа восстановления утраченных объектов, широкая практика воссозданий конца XX в. подвергалась острой критике как противоречащая истинному уважению к памятникам, которое строится на осознании невозполнимости утрат. Документом, в некоторой степени обосновывающим метод воссозданий, стала «Международная хартия по охране исторических городов» (Вашингтонская хартия, 1987 г.). Позже положения о



воссоздании и границах применения данного метода были закреплены Рижской хартией «Об аутентичности и исторической реконструкции в отношении к культурному наследию» (2000 г.).

В современном понимании «воссоздание» определяется как комплекс мероприятий по восстановлению полностью утраченного памятника при наличии достаточных научных данных, а также его исторической или иной культурной значимости [4]. Обоснованием для воссоздания является особая значимость объекта в градостроительном, художественно-стилистическом, функциональном, историко-мемориальном аспектах. В настоящее время европейская и российская архитектурная практика обладают значительным опытом возрождения памятников и объектов историко-культурной среды с применением реставрационного метода воссоздания, который нуждается в дальнейшем осмыслении и систематизации [5].

Таким образом, предпосылки, определяющие универсальный характер развития реставрационной деятельности и метода воссозданий, в частности связаны с широким спектром профессиональных и общекультурных мотивов. Всплески воссозданий послевоенных лет и более поздних этапов вплоть до начала XXI в. соответствуют периодам наиболее сильного влияния государственной идеологии, ставящей на первый план задачи сохранения национальной идентичности. На современном этапе отечественная реставрационная практика характеризуется неуклонным ростом воссоздаваемых памятников, в том числе объектов региональной архитектуры (в европейской практике отмечается замедление данного процесса). Тенденция наблюдается основном в отношении культовых зданий и ансамблей. Сегодня воссоздание утраченных памятников и объектов исторической среды является важной составляющей программы, направленной на сохранение историко-культурного достояния нации. Тенденции современной отечественной реставрационной практики убеждают в необходимости дальнейшей проработки и обоснования метода архитектурных воссозданий в широком круге законодательных, финансовых, культурологических, эстетических аспектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ядрышников, В. А. Чудо возрождения: История новгородской архитектурной реставрации / В. А. Ядрышников. – Санкт-петербург : Крига, 2017. – 368 с. : ил. – ISBN 978-5-901805-98-5. – Текст : непосредственный.
2. Памятники архитектуры в Советском Союзе : очерки истории архитектурной реставрации / В. Беридзе [и др.] ; под общ. ред. А. С. Щенкова ; Российская академия архитектуры и строительных наук, Научно-исследовательский институт теории архитектуры и градостроительства. – Москва : Памятники исторической мысли, 2004. – 694 с. : ил. – ISBN 5-88451-146-9. – Текст : непосредственный.
3. Кузьмина, Н. Н. Новгородская реставрация на рубеже двух веков – конец XX и начало XXI века (К 60-летию Новгородской реставрационной мастерской) / Н. Н. Кузьмина, О. Н. Коваленко. – Текст : непосредственный // Новгород и Новгородская земля. Искусство и реставрация / научный редактор : В. И. Ромашова. – Великий Новгород, 2007. – С. 6–25.
4. Российская Федерация. Законы. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации : Федеральный закон Российской Федерации от 25 июня 2002 № 73-ФЗ : [редакция от 18 июля 2019]. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 20.02.2019). – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. Версия Проф (ННГАСУ). – Текст : электронный.
5. Хмелевская, Д. Д. Анализ воссозданных объектов архитектуры на примере отечественного и зарубежного опыта / Д. Д. Хмелевская. – Текст : непосредственный // Великие реки – 2018 : 20-й Международный научно-промышленный форум : труды научного



конгресса. В 3 т. Т. 3 / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет ; отв. ред. А. А. Лапшин. – Нижний Новгород, 2018. – С. 239–241.

SHUMILKIN Aleksandr Sergeevich, candidate of architecture, associate professor of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design

TO THE PROBLEM OF RECOVERY OF MONUMENTS OF ARCHITECTURE IN RESTORATION PRACTICE

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel: +7 (831) 430-17-37;
e-mail: ist_arh@nngasu.ru

Key words: cultural heritage, scientific restoration, recreation.

The article considers evolution of the method of architectural reconstruction in foreign and domestic restoration practice as one of the approaches to the preservation of cultural heritage in the 20th and early 21st centuries. The main prerequisites and reasons for approving this method are identified in connection with compensation for the mass destruction of monuments in the 20th century caused by military operations and ideological campaigns.

REFERENCES

1. Yadryshnikov V. A. Chudo vozrozhdeniya: Istoriya novgorodskoy arkhitekturnoy restavratsii [The Miracle of Renaissance: The History of Novgorod Architectural Restoration] / Saint-Petersburg: Kriga, 2017, 368 p.: il. ISBN 978-5-901805-98-5.
2. Pamyatniki arkhitektury v Sovetskom Soyuze: Ocherki istorii arkhitekturnoy restavratsii [Monuments of architecture in the Soviet Union: Essays on the history of architectural restoration] / Pod red. A. S. Schenkova. Rossiyskaya akademiya arkhitektury i stroitelnykh nauk, Nauchno-issledovatel'skiy institut teorii arkhitektury i gradostroitelstva. Moscow: Pamyatniki istoricheskoy mysli, 2004, 694 p: il. ISBN 5-88451-146-9.
3. Kuzmina N. N., Kovalenko O. N. Novgorodskaya restavratsiya na rubezhe dvukh vekov – konets XX i nachalo XXI veka (K 60-letiyu Novgorodskoy restavratsionnoy masterskoy) [Novgorod restoration at the turn of the century – the end of the XX and the beginning of the XXI century (On the 60th anniversary of the Novgorod restoration workshop)] / Novgorod i Novgorodskaya zemlya. Iskusstvo i restavratsiya [Novgorod and Novgorod land. Art and restoration] / Nauchnyy redaktor: V. I. Romashova. – Velikiy Novgorod, 2007. P. 6–25.
4. Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. Ob obektakh kulturnogo naslediya (pamyatnikakh istorii i kul'tury) narodov Rossiyskoy Federatsii [The Russian Federation. Laws. On Objects of Cultural Heritage (Monuments of History and Culture) of the Peoples of the Russian Federation]: Federalny zakon Rossiyskoy Federatsii ot 25 iyunya 2002, № 73-FZ: redaktsiya ot 18 iyulya 2019 – URL: <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 20.20.2019). Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. Versiya Prof (NNGASU).
5. Khmelevskaya D. D. Analiz vossozdannykh obektov arkhitektury na primere otechestvennogo i zarubezhnogo opyta [Analysis of recreated architectural objects based on the example of domestic and foreign experience] / Velikie reki – 2018: 20-y Mezhdunarodny nauchno-promyshlenny forum: trudy nauchnogo kongressa. V 3 t. Vol. 3 / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t.; отв. red. А. А. Lapshin. – Nizhny Novgorod, 2018. P. 239–241.

© А. С. Шумилкин, 2019

Получено: 26.09.2019 г.



УДК 728.22

**Е. Ю. АГЕЕВА, д-р филос. наук, проф. кафедры архитектуры;
Е. А. КОЧЕТОВА, ст. преп. кафедры строительных конструкций**

АНАЛИЗ ТИПОВОЙ ГОРОДСКОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ И ПУТИ ЕЕ ГУМАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57;
эл. почта: e-mail: ag_eu@bk.ru

Ключевые слова: город, городская среда, типовое жилье, комфортная городская среда.

Анализируется массовое типовое строительство многоквартирных жилых домов, его положительные стороны и негативные моменты. Сравнивается типовое строительство в России и странах Европы и Азии. Исследуется вопрос гуманизации городской среды в условиях массовой типовой жилой застройки и предлагаются варианты решения.

Большинство городов мира застроены однотипными бетонными или стальными прямоугольными коробками, а это прямые линии и бесконечные ряды одинаковых окон. Эти дома-коробки не имеют национального колорита и не несут никаких признаков архитектурного стиля. Они одинаковы во всех городах и на всех континентах. Их архитектура не учитывает ни типа местности, ни культурологических особенностей места застройки, ни эстетических вкусов и предпочтений людей, проживающих там. Например, типовая жилая застройка крупного российского города представлена чаще всего однотипными многоэтажными многоквартирными жилыми домами, возведенными по типовым сериям проектов до 1990-х годов, этажностью от 5 до 9 этажей и до 24 этажей в настоящее время.

Причем массовая серийная застройка была жизненной необходимостью урбанизации при переселении людей в города в 1930-х годах. Именно в это время возникла необходимость в массовом и быстром строительстве жилья, и началась широкомасштабная типовая жилая застройка городских территорий в Европе, а потом и в России. Основная доля строительства пришлась на послевоенное время (1940–1950 гг.), когда многие города Европы «переживали» жилищный кризис. Главную задачу – обеспечение жильем горожан – такая застройка решила, но скудность и однотипность архитектурного решения были очевидны. Поэтому уже к началу 1970-х годов панельные многоквартирные дома начали постепенно сносить. Несмотря на большой объем сноса такой застройки, в наше время типовые спальные районы еще можно встретить в Берлине (Германия), которые мало чем отличаются от других подобных районов в Европе и России (рис. 1 цв. вклейки). Даже в таком городе как Братислава в Словакии, которая славится средневековой архитектурой улиц старого города, можно встретить типовую жилую застройку (рис. 2 цв. вклейки). В городе Варшаве (Польша), наряду со знаменитыми дворцами, также присутствует массовая типовая жилая застройка (рис. 3 цв. вклейки). Не только в европейских странах и странах бывшего Советского Союза существуют однотипные спальные районы, но и в Китае. Плотность населения в городах Китая постоянно растет, и типовые жилые массивы занимают большую площадь территории города (рис. 4 цв. вклейки).

Практически в каждом российском городе можно встретить «спальный район»



с типовыми панельными домами. И в отличие от стран Европы жители российских городов проживают преимущественно в типовых многоэтажных многоквартирных домах. Самое масштабное типовое строительство коснулось прежде всего Москвы (рис. 5 цв. вклейки), на месте пригородных деревень и полей возводились целые районы: Братеево, Чертаново, Бирюлево, Ясенево, Бутово, Кунцево, Свиблово, Ховрино и много других. В Москве только пять процентов жилья построено по нетиповым проектам. И в других городах благодаря урбанизации строительство типовых жилых микрорайонов имело массовый характер: Челябинск (рис. 6 цв. вклейки), Нижний Новгород, бывший Горький (рис. 7 цв. вклейки), Волгоград (рис. 8 цв. вклейки).

Большую часть жизни в большом городе люди проводят в помещениях, чаще всего – это именно жилье. При этом нередко жилое пространство типовых многоэтажных многоквартирных домов не удовлетворяет ни физическим, ни эстетическим потребностям человека. В первую очередь, это сам тип жилой застройки, расположение и планировки, а также внешний вид архитектурной среды типовых многоэтажных домов и дворовых пространств. Все это внешнее и внутреннее пространство имеет негативное влияние на человека. Рассмотрим это подробнее.

С начала массового строительства «хрущевок» и до сегодняшнего дня продолжается массовое типовое строительство, при этом активно увеличивается этажность и плотность застройки. При таком подходе к жилищному строительству существует масса достоинств: сокращение расходов и времени на проектирование, сроков строительства и высокая плотность жилья. При этом основная часть этих преимуществ касается застройщиков и администрации города.

В последнее время строительство массового типового жилья все больше и больше несет негативный окрас и приобретает противников. И основная причина в том, что сама идея типового жилого дома с одинаковыми планировками квартир, лестничных клеток, одинаковыми фасадами с одинаковыми окнами лишает человека индивидуальности. Такое устройство жилья носит массовый характер и, являясь основным для большинства жителей городов нашей страны, противоречит человеческой потребности в индивидуальном жилом пространстве. Это мешает самореализации и самоидентификации, ради чего человек переезжает жить в большой город. В типовой жилой квартире реализация этих потребностей ограничивается пространством комнат, типовая планировка которых также определяет возможные рамки проявления индивидуальности [1].

Жилое пространство не ограничивается только квартирой, важны и местоположение дома, и вид из окна. К сожалению, при типовой массовой застройке эта эстетическая сторона зачастую не прорабатывалась. Привлекательность домов, дворов, улиц и даже целых микрорайонов не учитывалась. Поэтому очевидным становится негативное отношение к дому, подъезду, окружающим дворовым территориям и району в целом.

С точки зрения архитектуры и градостроительства при массовой типовой застройке сложно выделить четкую композиционную структуру, пространство становится геометричным, а городская среда приобретает исключительно функциональный характер [2]. В таком пространстве теряется возможность ориентации, из любого положения видны одинаковые монотонные фасады и большое количество окон. Микрорайоны похожи один на другой.

На уровне взаимодействия людей подобный вариант организации жилого пространства также создает много препятствий. Чем больше этажность и плотность застройки, тем меньше общения и любого взаимодействия людей.

**К СТАТЬЕ Е. Ю. АГЕЕВОЙ, Е. А. КОЧЕТОВОЙ
«АНАЛИЗ ТИПОВОЙ ГОРОДСКОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ
И ПУТИ ЕЕ ГУМАНИЗАЦИИ»**



Рис. 1. Берлин, Германия, 2010 г.
Типовые панельные дома



Рис. 2. Братислава, Словакия, 2014 г.,
Типовой жилой микрорайон



Рис. 3. Варшава, Польша, 2011 г.,
Вид на типовую застройку



Рис. 4. Китай, 2017 г. Вид на типовые жи-
лые дома



Рис. 5. Москва, Россия, 2015 г.
Типовой жилой микрорайон



Рис. 6. Челябинск, Россия, 2010 г.
Вид на типовой жилой микрорайон



Рис. 7. Нижний Новгород, Россия,
2014 г. Типовой жилой микрорайон



Рис. 8. Волгоград, Россия, 2011 г.
Типовой жилой микрорайон

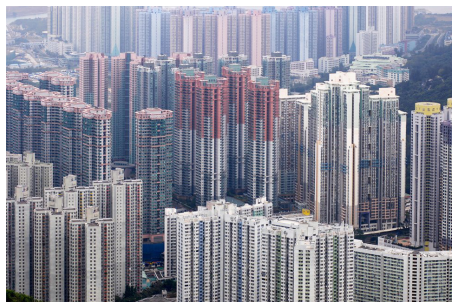


Рис. 9. Гонконг, КНР, 2017 г.
Вид на типовую жилую застройку.



Рис. 10. Сент-Луис, США, 1956 г.
Вид на жилой комплекс Пруитт-Айгоу



Рис. 11. Снос жилого комплекса Пруитт-Айгоу, Сент-Луис, 1973 г.



Рис. 12. Жилой комплекс Red Road Flats, Глазго, Шотландия, Великобритания, 1972 г.



Рис. 13. Снос микрорайона Red Road Flats в Глазго (11 октября 2015),
Шотландия, Великобритания



Жители спешат зайти в свои квартиры и закрыть дверь [3]. Жители не знают друг друга в лицо. И эта обезличенность ухудшает идентификацию человека, которая является важнейшим условием коммуникации и совместной деятельности людей. Такая безликая среда многоквартирных многоэтажных типовых жилых домов, в которой и сегодня живет большинство жителей российских городов, оказывает воздействие на поведение людей. И эта среда не способствует общению людей.

Проблема коммуникации людей при массовой типовой застройке не только в плотности застройки и количестве этажей. Еще одна проблема – это отсутствие общих пространств или они пустуют и заброшены. Общие пространства – это в первую очередь дворы или территории между жилыми домами. Дворы должны способствовать социализации, но формируют скорее чувство отчужденности. Общие территории и дворы являются, как правило, промежуточной территорией между квартирой и улицей. Но есть и обратные примеры.

Например, в Гонконге плотность застройки такая, что издали создается впечатление, что между домами нет прохода. Средняя этажность домов составляет сорок этажей, при этом они одно- или двухподъездные. Застройка значительно плотнее, чем в московских или петербургских многоэтажных микрорайонах (рис. 9 цв. вклейки). Но при этом в Гонконге в жилых микрорайонах не возникает пустых безжизненных территорий. Организация общественного пространства продумана таким образом, что на улицах постоянно оживленно: много маленьких магазинчиков, кафе, зеленые зоны; пенсионеры, дети и молодежь находятся в общественном пространстве, так как во дворах нет машин, много лавочек, навесы, в них безопасно и комфортно находиться.

Еще один немаловажный момент, заселение многоэтажного дома людьми близкой социальной группы. Для обеспечения жителей оптимальной социальной средой общения нужен баланс заселения жилых пространств людьми разных социальных групп. При этом одинаково плохо влияют на среду общения крайности и в ту, и в другую сторону. Самый известный пример – это строительство микрорайона Пруитт-Айгоу (США).

История микрорайона Пруитт-Айгоу в американском Сент-Луисе является одним из ярких примеров неудачного массового жилья (рис. 10 цв. вклейки). Комплекс был открыт в середине 1950-х и в него могли заселиться три тысячи семей. Он состоял из 33 монолитных 11-этажных многоквартирных домов. Этот комплекс многоэтажек не простоял и двадцати лет, превратившись в главное гетто города. Во-первых, эти дома должны были стать социальным жильем для неблагополучных семей. Во-вторых, пространство между ними было плохо организовано, оно не было ни частной, ни муниципальной собственностью. Все, более или менее социально благополучные жители, уехали из этих домов, и в результате там сложилась криминогенная обстановка. Попытки улучшения оказались безуспешными, и первое здание комплекса снесли в 1972 году, всего через семнадцать лет после окончания строительства (рис. 11 цв. вклейки). В течение пары лет были взорваны все постройки.

В 2015 году комплекс *Red Road Flats* в Глазго (Великобритания) постигла та же участь (рис. 12 цв. вклейки). Этот комплекс был построен в начале 1970-х на месте трущоб. Постепенно самый современный и высотный жилой микрорайон города и сам превратился в трущобы, заселенные малоимущими и мигрантами. Оказалось, что местные 30-этажки проще снести, чем привести в порядок, и участь района оказалась решена. Его начали сносить осенью 2015 года (рис. 13 цв. вклейки).

Из вышесказанного напрашивается вывод, что необходимы изменения подхода



к вопросам застройки и оснащения городских территорий как городской среды, искусственно созданной человеком. Городская среда должна быть комфортной, безопасной, гармоничной. Необходимо менять подход к проектированию, основанному на исследованиях и практическом опыте мировой строительной практики. Проектирование городской среды должно быть практичным, бережным и рациональным, с комплексным подходом. Но, если обратить внимание на строительство современных жилых комплексов и «элитных», и эконом класса в российских городах, то видно, что пока вопрос гуманизации городской среды является острым и болезненным.

Для обеспечения комфортного проживания человека в городской среде необходимо использовать гуманный подход к проектированию и строительству жилья, и особое внимание уделять среде общения людей, общественному транспорту и, конечно, визуальной среде [4]. Городскую среду нужно приблизить к естественной природной среде.

Можно выделить следующие шаги, ведущие к гуманизации типовой жилой застройки:

- 1) Отказ от проектирования и строительства типовых многоэтажных домов;
- 2) Уменьшение этажности жилых зданий, вариативность этажности или полный отказ от высотного строительства в жилой городской среде;
- 3) Обеспечение возможности свободной планировки квартир;
- 4) Варьирование этажности зданий в пределах района для комфортной визуальной среды;
- 5) Разнообразие фасадов и обеспечение их архитектурной выразительности для формирования комфортной визуальной жилой среды;
- 6) Разнообразие вариантов отделки фасадов, применение различных строительных отделочных материалов;
- 7) Обеспечение на фасадах мест для установки наружных блоков кондиционеров, сохраняющих комфортный внешний вид фасадов;
- 8) Использование первых этажей жилых домов для объектов социальной инфраструктуры;
- 9) Обеспечение на первых этажах жилых домов свободной планировки помещений для объектов социальной инфраструктуры;
- 10) Обеспечение комфортной и безопасной среды на общественных пространствах;
- 11) Благоустройство общественных пространств дворов для тихого отдыха и комфортного пребывания, а также улиц и других общественных пространств района.

Примеров массовой типовой застройки много по всему миру: где-то такое строительство связано с перенаселением городов (Китай, Гонконг), где-то причиной являются потребности властей (старая застройка Москвы и других городов СССР). Современная массовая типовая застройка городов России связана с потребностями застройщиков и извлечением максимальной прибыли. Но они не учитывают ни негативный опыт прошлых лет, ни потребности и желания жителей. Необходимо больше внимания уделять вопросу гуманизации городской жилой среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Урбан, Ф. Башня и коробка: Краткая история массового жилья / Ф. Урбан ; перевод с английского П. Фаворова. – Москва : Strelka Press, 2019. – 296 с. – ISBN 978-5-906264-92-3. –



Текст : непосредственный.

2. Элларт, К. Среда обитания. Как архитектура влияет на наше поведение и самочувствие / Колин Элларт ; перевод с английского Елены Корюкиной, Анастасии Васильевой. – 3-е изд. – Москва : Альпина Паблишер, 2018. – 287 с. – ISBN 978-5-9614-7018-5. – Текст : непосредственный.

3. Санофф, Г. Соучастующее проектирование : практики общественного участия в формировании среды больших и малых городов / Генри Санофф ; перевод с английского Арсения Коннова. – Вологда : Проектная группа 8, 2015. – 169 с. : ил. – ISBN 978-5-9907213-0-2. – Текст : непосредственный.

4. Кочетова, Е. А. Особенности жилой застройки как части городской среды Автозаводского района Нижнего Новгорода / Е. А. Кочетова. – Текст : непосредственный // Сборник докладов VIII Всероссийского фестиваля науки / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2018. – С. 530–533.

AGEEVA Elena Yurevna, doctor of philosophic sciences, professor of the chair of architecture; KOCHETOVA Elena Anatolevna, senior teacher of the chair of building constructions

ANALYSIS OF TYPE URBAN RESIDENTIAL AREA AND WAYS OF ITS HUMANIZATION

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: ag_eu@bk.ru

Key words: city, urban environment, typical housing, comfortable urban environment.

The article analyzes mass standard construction of residential buildings, its positive and negative aspects. Typical construction in Russia and European and Asian countries is compared. An issue of the urban environment humanization in the conditions of mass typical residential development is investigated and variants of its solution are offered.

REFERENCES

1. Urban F. Bashnya i korobka: Kratkaya istoriya massovogo zhilya [A tower and a box. Brief history of mass housing] / perevod s angl. P. Favorova. Moscow: Strelka Press, 2019, 296 p. ISBN 978-5-906264-92-3.

2. Ellard K. Sreda obitaniya. Kak arkhitektura vliyaet na nashe povedenie i samochuvstvie [Habitat. How architecture affects our behavior and well-being] / perevod s angl. E. Koryukinoy, A. Vasilevoy. 3-e izd. Moscow: Alpina Pablisher, 2018, 287 p. ISBN 978-5-9614-7018-5.

3. Sanoff G. Souchastvuyushee proektirovanie. Praktiki obschestvennogo uchastiya v formirovani sredi bolshikh i malykh gorodov [Collaborative design. The practice of public participation in shaping the environment of large and small cities] / perevod s angl. A. Konnova, Vologda: Proektnaya gruppa 8, 2015, 169 p.: il. ISBN 978-5-9907213-0-2.

4. Kochetova E. A. Osobennosti zhiloy zastroyki kak chasti gorodskoy sredy Avtozavodskogo rayona Nizhnego Novgoroda [Features of residential development as part of the urban environment of the Avtozavodsky district of Nizhny Novgorod] // Sbornik dokladov VIII Vserossiyskogo festivalya nauki [Collection of reports of the VIII All-Russian Festival of Science]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod; 2018. P. 530–533.

© Е. Ю. Агеева, Е. А. Кочетова, 2019

Получено: 26.09.2019 г.

185 ЛЕТ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЕ РОССИИ

На протяжении всей истории цивилизации погода и климат оказывают существенное влияние на жизнь и деятельность человека. В настоящее время все глубже становится понимание того, что для стабильного развития, долгосрочного планирования и управления хозяйственной деятельностью необходимо учитывать погодные и климатические изменения.

Для решения этих проблем используются не только данные современных метеорологических наблюдений, но и сведения, содержащиеся в различных исторических источниках от глубокой древности до начала XIX века.

Наверное, с самого начала осознания человеком себя как личности и своего положения в окружающем мире, люди внимательно наблюдали за природными явлениями, погодой и окружающей средой, их взаимосвязью, причинами и следствиями событий. Из таких наблюдений складывались первые «прогнозы» – народные приметы и календари, пословицы и поговорки.

С развитием письменности наблюдения за состоянием окружающей среды, природой и погодными явлениями стало возможным фиксировать, систематизировать, передавать следующим поколениям. В XVI веке в Русском хронографе летописцами было собрано много сведений об экстремальных природных явлениях за пятнадцать веков нашей эры. В том же столетии россиянами было выполнено подробное географическое описание Московского государства от Баренцева до Черного и Каспийского морей, от Финского залива до Оби и Енисея.

Начиная с XVII века, русские исторические источники освещают метеорологические явления почти на всей территории России, включая Сибирь, Дальний Восток вплоть до Сахалина, Курильских островов и Берингова пролива. Жители регионов России, путешественники и мореплаватели наблюдали и описывали погодные явления и метеорологические условия этих суровых районов, особенности климата, ледовые и гидрологические режимы рек и морей. В середине семнадцатого столетия по указу царя Алексея Михайловича в Московском Кремле были начаты ежедневные визуальные наблюдения за погодой, часть которых дошла до нашего времени. Заметки о метеорологических явлениях заносились в Дневальные записи Приказа тайных дел.

В конце XVII века в период царствования Петра I, особенно в связи с переносом столицы в Санкт-Петербург, важность систематических наблюдений за погодой значительно возросла. Петр I, как свидетельствуют его личные журналы, проявлял большой интерес к наблюдениям за атмосферными явлениями, в частности за ветром. Постоянная угроза наводнений в столице и развитие русского флота на Балтике делали любые метеорологические и гидрологические познания особо ценными. Наблюдения за погодой велись на судах военно-морского флота, окружением Петра I и многими его современниками.

Первая половина XVIII века характеризовалась бурным развитием исследований в области естественных наук. В Санкт-Петербурге были созданы обширная научная библиотека, кунсткамера, успешно стали развиваться гидрофизические, астрономические, картографические исследования, чему способствовало снаряжение экспедиций в различные области России. С основанием Петром I в январе 1724 года Петербургской Академии наук была создана городская сеть метеорологических станций. Метеорологические наблюдения в России обрели новые качества – они стали инструментальными, а ученые Академии наук соз-



дали большое количество различных метеорологических приборов, в том числе Крафт-термометры, Бильфингер-барометр, Делиль-«машину» для измерения жидких осадков. Большое внимание вопросам организации гидрометеорологической сети, научных основ метеорологической науки и метеорологического приборостроения уделял выдающийся русский ученый М. В. Ломоносов.

Российские и европейские ученые в 20-х годах XIX века начали проводить совместные геофизические наблюдения, были созданы геофизические обсерватории в Казани, Николаеве, при горных заводах в Нерчинске и Колывани. В 1830 году были начаты регулярные метеорологические наблюдения в городах Вятке, Котельниче, Слободском, а в 1834 году – в Нижнем Новгороде при Нижегородской Губернской гимназии. Наблюдения в то время проводили преподаватели гимназий и смотрители уездных училищ.

Возникла необходимость в организации в Российской Империи единой системы регулярных гидрометеорологических наблюдений, проект был осуществлен российскими учеными во главе с выдающимся ученым и талантливым организатором, академиком Адольфом Яковлевичем Купфером. По мысли А. Я. Купфера: «польза, проистекающая от изучения метеорологических и магнитных явлений, не ограничивается одними приложениями к общему благосостоянию; изучение оных явлений занимает важное место в изучении природы вообще». Особенно важным он считал изучение изменений состояния атмосферы и катастрофических последствий. А. Я. Купфер при поддержке штаба Корпуса горных инженеров предложил создать Нормальную обсерваторию в Петербурге, а также в ряде других городов России, связанных с горнодобывающей промышленностью.

13 апреля (26 апреля по новому стилю) 1834 года согласно имевшему силу закона «высочайшему соизволению», подписанному Императором Николаем I, в Санкт-Петербурге при Корпусе горных инженеров были учреждены Нормальная обсерватория и ряд ее филиалов. С этого времени метеорологическая сеть России начала вести регулярные метеорологические и магнитные наблюдения по единому руководству – эта дата и стала днем образования Гидрометеорологической службы России. В 2019 году Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) отмечает свое 185-летие.

Деятельность Нормальной обсерватории во главе с А. Я. Купфером привела к созданию на ее базе в 1849 году Главной физической обсерватории (ГФО). Государственная регулярная сеть метеорологических и магнитных наблюдений продолжила свое развитие, а результаты наблюдений стали издаваться и распространяться среди широкого круга пользователей. Было создано метеорологическое приборостроение и система поверки приборов.

В 2019 году ГФО, в настоящее время Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (ГГО), празднует свой юбилей – 170 лет со дня образования.

Организация единой наблюдательной сети в России стала основой дальнейшего становления научной и практической метеорологии во всем мире и развития международного сотрудничества в области метеорологии и геофизических наблюдений во второй половине XIX века. Главная физическая обсерватория стала инициатором созыва Международного конгресса метеорологов, состоявшегося в Вене в 1873 году. На этом конгрессе была создана Международная метеорологическая организация, возглавлял которую на протяжении шестнадцати лет директор ГФО России Генрих Иванович Вильд.

В 1947 году Международная метеорологическая организация была преоб-



разована во Всемирную Метеорологическую Организацию (ВМО). С 2003 по 2011 гг. президентом ВМО был избран руководитель Росгидромета в тот период времени – Александр Иванович Бедрицкий. Избрание международным сообществом представителя Российской Федерации на эту должность является признанием заслуг современной России в области гидрометеорологии.

О важности роли, которую всегда играла метеорологическая наука, свидетельствует, например, тот факт, что в оргкомитете Всероссийской промышленной и художественной выставки, проходившей в 1896 году в Нижнем Новгороде, работали подраздел метеорологии и особый павильон, представлявший метеорологическую станцию, оснащенную приборами для проведения наблюдений, что вызывало большой интерес у посетителей выставки. Как продолжение этого начинания в настоящее время на ежегодно проходящем на Нижегородской ярмарке Международном научно-промышленном форуме «Великие реки (экологическая, гидрометеорологическая и энергетическая безопасность)» / ICEF широко представляется деятельность Росгидромета.

В конце XIX – начале XX вв. метеорологическая сеть России унифицировалась, развивались методы наблюдений, службы прогнозов погоды, климатические исследования. Этот период развития российской гидрометслужбы связан с именем Михаила Александровича Рыкачева, который возглавлял ГФО с 1895 по 1913 гг. М. А. Рыкачевым были заложены основы аэрологических наблюдений, которые уже через полвека стали одним из важнейших методов наблюдения за атмосферными процессами после создания в 1930 году профессором П. А. Молчановым первого в мире радиозонда, регулярные запуски которого начались тогда же в Пулковской обсерватории. Начало регулярного высотного радиозондирования атмосферы значительно продвинуло развитие синоптической метеорологии, на основе этих данных строились оперативные карты барической топографии с информацией о погоде на различных высотах, синоптический анализ из плоского перешел в трехмерное измерение.

В 1919 году Народным комиссариатом просвещения было принято решение об учреждении Российского гидрологического института. Под руководством первого директора института Виктора Георгиевича Глушкова, которого заслуженно считают одним из основателей гидрологии как самостоятельной науки в России, были сформулированы основные задачи института: «всестороннее изучение вод, разработка программ и методов гидрологических исследований и теоретических вопросов гидрологии, сбор и систематизация данных о водах страны с целью обеспечения народного хозяйства». В 2019 году Государственный гидрологический институт отмечает свой 100-летний юбилей.

Развитие метеорологической науки и становление Гидрометеорологической службы России во второй половине XIX – начале XX вв. неразрывно связано с именами известных ученых, общественных и государственных деятелей – Н. П. Адамов, А. И. Аскинази, Ф. А. Бредихин, В. И. Вернадский, К. С. Веселовский, А. И. Воейков, Б. Б. Голицын, А. В. Головин, С. Д. Грибоедов, Н. Е. Жуковский, Н. Н. Калитин, А. А. Каминский, А. П. Карпинский, А. Н. Крылов, В. В. Кузнецов, Ф. П. Литке, А. М. Ляпунов, Д. И. Менделеев, П. А. Молчанов, Б. П. Мультановский, В. Н. Оболенский, И. П. Павлов, Н. В. Розе, С. И. Савинов, В. А. Стеклов, Е. И. Тихомиров, А. А. Фридман, С. А. Чаплыгин и многие другие.

Гидрометеорологическая служба России на протяжении всей истории не прерывала своей деятельности ни в период революций, ни во время войн.



21 июня 1921 года Председателем Совета Народных Комиссаров В. И. Лениным «в целях объединения метеорологического дела в РСФСР и для планомерного обслуживания всех ведомств и населения необходимыми для них данными метеорологических наблюдений» был подписан «Декрет об организации метеорологической службы в РСФСР».

1 января 1930 года в Москве в соответствии с постановлением Правительства о создании единой метеорологической службы страны было образовано Центральное бюро погоды СССР, преобразованное в 1936 году в Центральный институт погоды (с 1943 года – Центральный институт прогнозов). В 1965 году Центральный институт прогнозов и Объединенный вычислительный центр Академии наук СССР и Главного управления гидрометслужбы были объединены в одно учреждение – Гидрометеорологический научно-исследовательский центр СССР, с возложением на него функции Мирового и Регионального метеорологических центров в системе Всемирной службы погоды Всемирной метеорологической организации. В 1992 году Гидрометцентр СССР был переименован в Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации (Гидрометцентр России). В 1994 году Гидрометцентру России присвоен статус Государственного научного центра Российской Федерации.

В годы Великой Отечественной войны Гидрометслужба страны была переведена в состав Красной Армии, выполняя работы для военных нужд и обеспечивая информацией народное хозяйство. Возглавлял службу в это время известный полярник и ученый Евгений Константинович Федоров – выпускник Нижегородской опытно-показательной школы им. В. И. Ленина при Нижегородском педагогическом институте. Гидрометеорологическое обеспечение боевых действий Вооруженных Сил в период Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. является одной из ярких страниц деятельности службы, внесшей неопределимый вклад в победу над врагом.

После окончания войны в течение нескольких десятилетий служба активно развивалась, восстанавливались и открывались новые станции и посты, укреплялась производственная и научная база, создавались новые и передавались в систему гидрометслужбы действующие научно-исследовательские институты, в том числе Арктический и антарктический научно-исследовательский институт с сетью полярных станций и радиометцентров, дрейфующими станциями «Северный полюс» и антарктической экспедицией. В городе Обнинск была создана новая научно-экспериментальная база, включающая Научно-производственное объединение «Тайфун», Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии, Центральное конструкторское бюро.

В шестидесятые годы прошлого века стали появляться новые ценные источники метеорологической информации: радиолокаторы и искусственные спутники Земли. Спутниковые методы исследования в области метеорологии, гидрологии, океанологии, изучения природных ресурсов, координацию которых осуществляет Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», продолжают активно развиваться.

В 1970-е годы перед Гидрометслужбой была поставлена новая важная государственная задача – создание системы мониторинга загрязнения природной среды. За короткое время были созданы службы инструментального контроля за загрязнением атмосферы, за источниками загрязнения, нормирования и надзора



за выбросами вредных веществ в атмосферу. В системе Росгидромета был организован комплекс исследований в области мониторинга загрязнения окружающей среды (атмосферы, почв, поверхностных вод суши, океана, радиоактивного загрязнения и др.). Эти работы и в настоящее время занимают важное место в деятельности службы и являются основой для работ других ведомств, базирующихся на данных наблюдений мониторинга загрязнений, в том числе в области охраны природы и рационального природопользования.

Признанием возросшей роли Гидрометслужбы в жизнедеятельности страны явилось изменение ее статуса и организация в 1978 году Государственного комитета по гидрометеорологии и контролю природной среды СССР. Возглавлявший комитет в тот период времени выдающийся ученый, талантливый организатор и известный государственный деятель, академик Юрий Антониевич Израэль стал членом Правительства СССР.

С развитием новых технологий в повседневную работу службы внедрялись вычислительная техника, численные методы анализа и прогноза погоды, автоматизированные системы сбора, обработки, представления и распространения информации; приобретались новые научно-исследовательские суда, самолеты-лаборатории, другие современные технические средства.

Вместе со всей страной в конце XX – начале XXI века Гидрометслужба переживала трудные времена, прекращали работу и закрывались станции и посты, изнашивался приборный парк, сокращались научные исследования и опытно-конструкторские работы. Вместе с тем в первую очередь благодаря энтузиазму и самоотверженности своих работников деятельность службы не только не прекращалась ни на одну минуту, но и находила возможности сохранить потенциал для дальнейшего совершенствования и развития.

Российская гидрометеорологическая служба всегда формировалась как единый научно-технический комплекс, в различные периоды своей истории ее руководители и специалисты большое внимание уделяли укреплению взаимодействия научно-исследовательских учреждений с оперативно-производственными подразделениями государственной наблюдательной сети. Выполнение совместных научных исследований в отдельных регионах страны позволило направить творческий потенциал ученых научных институтов и специалистов управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды на решение научных задач для повышения качества работы управлений и обеспечить переход на полный инновационный цикл – от постановки и реализации научной задачи до внедрения ее результатов в практику. Этому процессу способствовало включение в заключенные Росгидрометом соглашения о сотрудничестве с органами власти субъектов Российской Федерации положений о проведении совместных региональных исследований по наиболее востребованным проблемам гидрометеорологии и экологии, включая проблемы изменения климата.

Совместная работа с рядом республиканских и областных правительств проводится на основе программ создания территориальных систем наблюдений за состоянием окружающей среды и обеспечения их согласного функционирования с государственной наблюдательной сетью Росгидромета, а также на основе программ совершенствования системы гидрометеорологического обеспечения информацией органов власти, отраслей экономики и населения, прогнозирования опасных природных явлений, изучения климата и его влияния на социально-экономическое развитие регионов.

Определение роли и места гидрометеорологической службы в новых поли-

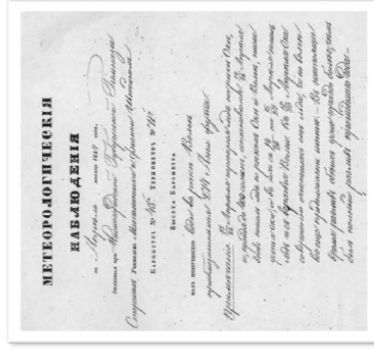


На протяжении соб-
ного ЕГО ИМПЕ-
РСКАГО ВЕЛИ-
ЧЕСТВА рукою на-
писано:
«Купил на оловяг»

ГЛАВНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

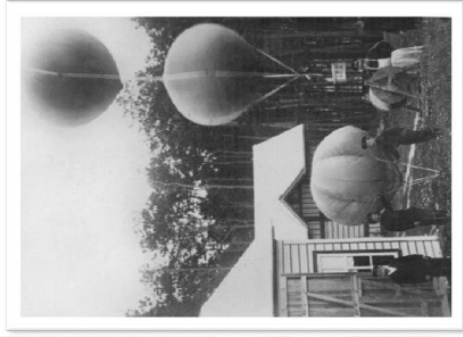
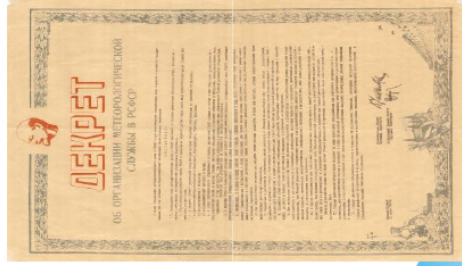
Наименование объекта	Плановый показатель			Исполнение в 2015 году			Итого
	План	Факт		План	Факт		
		тыс. руб.	тыс. руб.		тыс. руб.	тыс. руб.	
Директору, его заместителю и специалистам, выполняющим функции по управлению деятельностью подразделения	1	1 500	-	1 500	-	-	-
Секретарю	1	450	-	450	-	-	-
Секретариат	2	540	-	540	-	-	-
Менеджерам, выполняющим функции по управлению персоналом	3	-	-	360	-	-	-
На содержание Общественного центра	-	-	-	3 710	-	-	-
На содержание Общественного центра	-	-	-	1 600	-	-	-
На содержание Общественного центра	-	-	-	600	-	-	-
Итого:	7	-	-	9 000	-	-	-

Получены: Мужские ♀♀ и Женские ♂♂

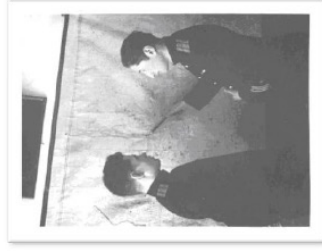


Метеонаблюдения в г.Н.Новгород 1844г.

21 июня 1921 года Председателем Совета Народных Комиссаров В.И. Лениным «в целях объединения метеорологического дела в РСФСР и для планомерного обслуживания всех ведомств и населения необходимыми для них данными метеорологических наблюдений» был подписан **«Декрет об организации метеорологической службы в РСФСР»**



В годы **Великой Отечественной войны** Гидрометслужба находилась в составе Красной Армии, выполняя работы для военных нужд и обеспечения информацией народного хозяйства



Всемирная Метеорологическая Организация



World Meteorological Organization
Organisation météorologique mondiale
Organización Meteorológica Mundial

世界气象组织
المنظمة العالمية للأرصاد الجوية

ВМО – специализированное межправительственное учреждение Организации Объединённых Наций в области метеорологии. Основано в 1950 году. Является компетентным органом ООН по вопросам наблюдения за состоянием атмосферы Земли и её взаимодействия с океанами. Штаб-квартира ВМО находится в Женеве, Швейцария. Членами ВМО являются 185 стран и 6 территорий. Официальные языки: русский, английский, испанский, французский, китайский, арабский

Российское гидрометеорологическое общество



РГМО – Всероссийская общественная организация. Создано в 2018 году по инициативе Администрации Президента РФ, Росгидромета, Гидрометслужбы Вооружённых Сил РФ, Академии наук РФ и Министерства образования и науки РФ.

Целями РГМО является содействие развитию гидрометеорологической науки и практики; содействие образовательной, исследовательской и иной деятельности; популяризация гидрометеорологии; постановка перед органами исполнительной и законодательной власти вопросов, связанных с проблемами гидрометеорологии и изменения климата, содействие международному сотрудничеству и др.



Александр Иванович Бедрицкий

Руководитель Росгидромета 1993-2009 гг.
Советник президента РФ 2009-2018 гг.
Специальный представитель Президента РФ по вопросам изменения климата 2010-2018 гг.
Президент Российского гидрометеорологического общества (РГМО) с 2018 года



Владимир Михайлович Катцов
 Директор ГГО с 2007 года
 Руководитель Климатического центра
 Росгидромета (создан в 2012г.)
 Ведущий автор и рецензент-редактор Оценочных
 докладов Межправительственной группы экспертов
 по изменению климата (IPCC),
 член Комитета по адаптации Рамочной конвенции
 ООН по изменению климата (UNFCCC), член
 Объединенного научного комитета (JSC) Всемирной
 программы исследований климата (WCRP), член
 Научного консультационного комитета
 Климатического центра АТЭС

Климатический центр Росгидромета

The Global Risks Report 2019 14th Edition
 WORLD ECONOMIC FORUM
 COMMITTEE TO ASSESS THE GLOBAL RISKS

Доклад ВЭФ о глобальных рисках на 2019 г.
 24-я Конференция ООН по климату в Катаре
 Пресс-релиз ВКО и открытию 24-й Конференции сторон РКИК
 Черепной национальный оценочный доклад о климате США
 Второй доклад США о состоянии углеродного цикла
 Прогноз развития мировой энергетики МЭА

Изменение климата в 21 веке
 Приоритеты климатического обслуживания
 Снижение риска стихийных бедствий



Обеспечение гидрометеорологической безопасности



Ежегодный
ущерб ~
1% ВВП

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ
Ураганы
Смерчи
Град
«Ледяные» дожди

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ
Сели
Наводнения
Штормовые нагоны

КЛИМАТИЧЕСКИЕ
Засухи
Волны тепла и холода
Природные пожары

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ
Цунами
Магнитные бури

WORLD
ECONOMIC
FORUM

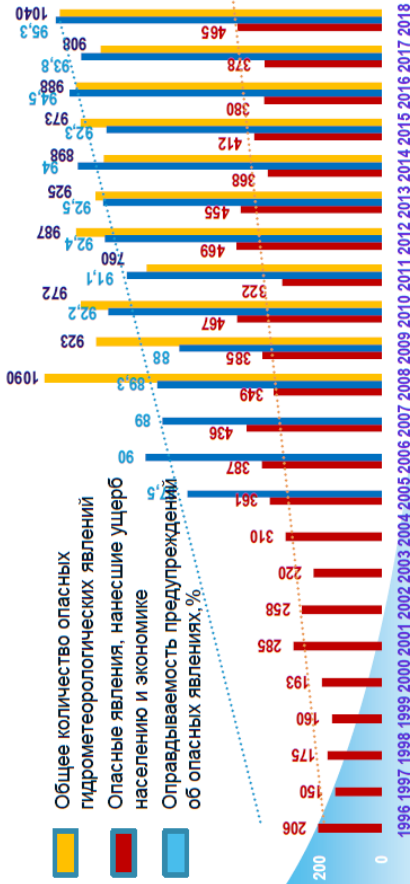
The Global Risks
Report 2019
14th Edition

КОЛИЧЕСТВО ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ (ОЯ) И ОПРАВДАВАЕМОСТЬ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЙ ОБ ОЯ

Всемирный экономический форум (Давос, Швейцария) опубликовал доклад о глобальных рисках на 2019 г.

Первую позицию в пятерке главных глобальных рисков, ранжированных по вероятности, заняли экстремальные погодные явления. За ними следуют риски массовой вынужденной миграции, стихийные бедствия, крупные теракты и кража данных с сопутствующими видами мошенничества.

В списке рисков, ранжированных по масштабу оказываемого воздействия, экстремальные погодные явления уступили лишь оружию массового поражения, следом идут нехватка воды, крупные стихийные бедствия и неудачи в борьбе с изменениями климата.





«21 мая 1937 года заработала новая полярная научная станция, расположенная на дрейфующей льдине.
Состав новой станции:
начальник И.Д. Папанин,
магнитолог-астроном Е.К. Федоров,
радиот Э.Т. Кренкель
гидробиолог П.П. Ширшов.»

ТАСС

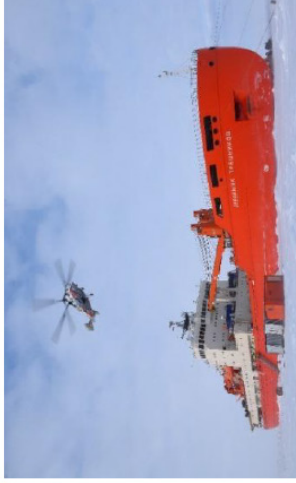


Комплексная научная экспедиция Росгидромета

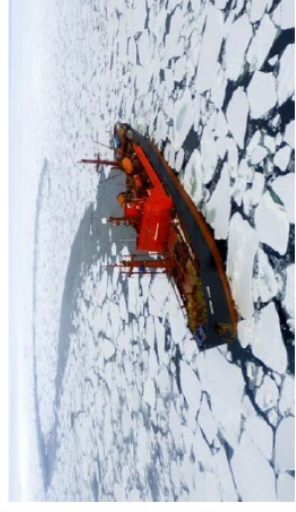
Экспедиция выполняется четырьмя судами Росгидромета и включает четыре этапа.

Задачи исследований:

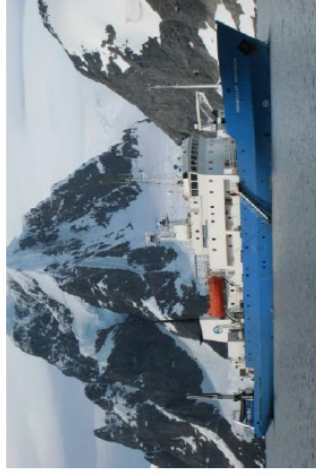
- Возобновление регулярного государственного мониторинга состояния и загрязнения природной среды окраинных арктических морей России
- Выполнение комплексных научных исследований в арктических морях и акватории Арктического бассейна
- Апробация новых технологий в организации научных исследований и наблюдений в Арктике



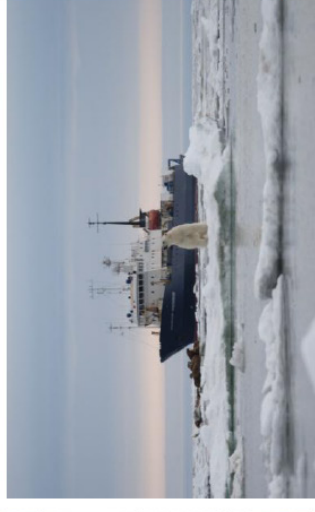
I этап. НЭС «Академик Трёшников». Исследования во льдах Баренцева моря



II этап. НЭС «Михаил Сомов». Мониторинг Баренцева и Белого морей.



III этап. НИС «Профессор Молчанов» Работы по проекту «Арктический плавучий университет»

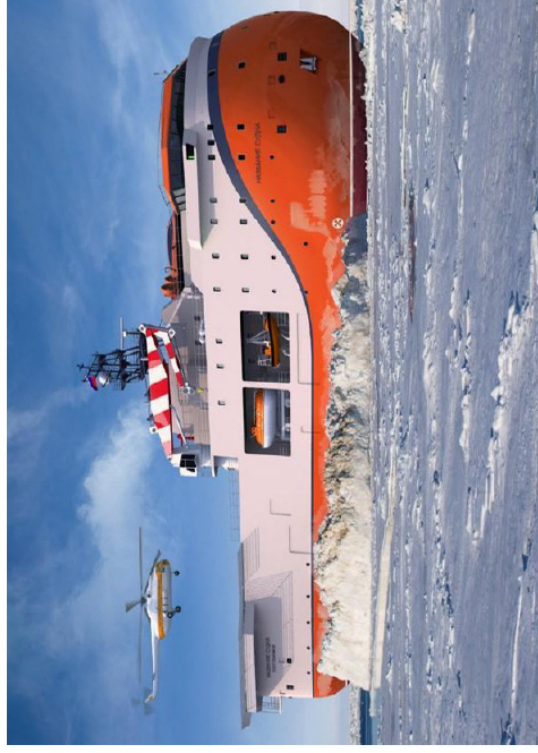


IV этап. НИС «Профессор Мультановский» Мониторинг арктических морей.

Ледостойкая самодвижущаяся платформа «Северный полюс»

Уникальное судно для круглогодичного комплексного изучения природной среды Арктики

- длина наибольшая – 83,1 м;
- ширина наибольшая – 22,5 м;
- водоизмещение – 10373 т;
- мощность ЭУ – 4200 кВт;
- скорость хода
на тихой глубокой воде – 10 узлов;
- экипаж – 14 чел.;
- научный персонал – 34 чел.;
- ледовый класс:
- корпус – Arc8, мощность ЭУ - Arc5.



Строится АО «Адмиралтейские верфи»
по заказу Росгидромета



тических и экономических условиях, степени важности ее деятельности в обеспечении гидрометеорологической безопасности страны дало возможность инициировать подготовку и принятие в 1998 году Федерального закона «О гидрометеорологической службе» (Федеральный закон от 19 июля 1998 г. № 113-ФЗ), закрепившего правовые основы и порядок функционирования службы, формирование и работу государственной наблюдательной сети, государственных информационных ресурсов в области гидрометеорологии, обеспечение единства и сопоставимости методов измерений, участие в международном сотрудничестве.

В настоящее время Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) является федеральным органом исполнительной власти, входит в структуру Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. В систему Росгидромета включены функционально объединенные физические и юридические лица, в том числе органы исполнительной власти, осуществляющие деятельность в области гидрометеорологии и смежных с ней областях (метеорологии, климатологии, агрометеорологии, гидрологии, океанологии, гелиогеофизики, области активных воздействий на метеорологические и другие геофизические процессы), мониторинг окружающей среды, ее загрязнения, в том числе ионосферы и околоземного космического пространства, предоставление информации о состоянии окружающей среды, ее загрязнении, об опасных природных явлениях.

Правительством Российской Федерации определена миссия Росгидромета, которая состоит в обеспечении гидрометеорологической безопасности Российской Федерации и предоставлении государственных услуг в области гидрометеорологии, смежных с ней областях и мониторинга загрязнения окружающей среды и направлена на достижение национальных целей:

- повышение качества жизни населения;
- обеспечение высоких темпов устойчивого экономического роста;
- создание потенциала для будущего развития;
- повышение уровня национальной безопасности.

Перед Росгидрометом поставлены три стратегические цели: первая – обеспечение защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от воздействия опасных природных явлений, изменений климата (обеспечение гидрометеорологической безопасности); вторая – обеспечение потребностей населения, органов государственной власти, секторов экономики, Вооруженных Сил Российской Федерации, Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в гидрометеорологической, гелиогеофизической информации, а также в информации о состоянии и загрязнении окружающей среды; третья – гидрометеорологическое обеспечение деятельности Российской Федерации в Арктике, Антарктике и Мировом океане.

Одна из основных задач Гидрометслужбы – мониторинг окружающей среды – комплексная система постоянного наблюдения и регулярного контроля, проводимых по определенной программе для оценки текущего состояния окружающей среды, анализа происходящих в ней процессов, а также заблаговременного выявления возможных тенденций ее изменения (прогноз) под воздействием природных и антропогенных факторов. Основой системы получения информации о состоянии окружающей среды является наблюдательная сеть – наземная система стационарных и подвижных пунктов наблюдений, предназначенных для наблюдений за физическими и химическими процессами, происходящими в окружающей среде.



В состав Росгидромета в настоящее время входят 7 Департаментов по федеральным округам, 24 Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с филиалами в каждом субъекте Российской Федерации, 17 научно-исследовательских учреждений, арктические и антарктические экспедиции, научно-исследовательский флот, космическая система дистанционного зондирования Земли.

Возрастание роли гидрометеорологического фактора в различных аспектах жизнедеятельности нашло в последние годы яркое подтверждение в ряде экстремальных крупномасштабных катастрофических событий на территории нашей страны, вызвавших значительные экономические потери. Современные вызовы устойчивому развитию – прогнозируемые в ряде регионов дефицит пресной воды, энергии, продовольствия, сокращение биоразнообразия, деградация почв, рост числа и интенсивности катастроф и другие – во многом обусловлены изменением климата. Мировое сообщество уделяет большое внимание проблемам обеспечения гидрометеорологической безопасности и адаптации к происходящим и ожидаемым климатическим изменениям, анализу и прогнозированию связанных с ними угроз. Начало XXI века отмечено крупнейшими погодными аномалиями на территории России (в частности, волной тепла 2010 года, наводнениями в Крымске в 2012 году и на реках Дальнего Востока и Сибири в 2013 и 2019 годах), унесшими человеческие жизни, причинившими большой ущерб национальной экономике и населению страны, имевшими большой общественный резонанс.

Росгидромет был инициатором и основным разработчиком Климатической доктрины Российской Федерации, утвержденной Президентом Российской Федерации в 2009 году, а также инициатором подготовки Концепции гидрометеорологической безопасности государств-участников Содружества Независимых Государств, утвержденной в 2004 году Советом Глав государств-участников СНГ. Принципиально важным является включение в Климатическую доктрину положения о том, что вопросы изменения климата выходят за рамки научной проблемы и представляют собой комплексную междисциплинарную проблему, охватывающую политические, экономические, экологические, социальные аспекты устойчивого развития Российской Федерации.

Перед российским профессиональным сообществом стоит задача гидрометеорологического и климатического обеспечения экономики страны, жизнедеятельности и безопасности общества. Для решения этой задачи необходима консолидация научного и производственного потенциала Росгидромета, Российской академии наук, Высшей школы по решению актуальных задач метеорологической науки и практики.

Для решения задачи модернизации и развития государственной наблюдательной сети в целях повышения качества информационного обеспечения была разработана и утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 1458-р от 03.09.2010 г. «Стратегия деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 года (с учетом аспектов изменения климата)». «Стратегия 2030» определила основные направления, цели и задачи, по которым должна развиваться Гидрометслужба в ближайшие десятилетия.

Реализуя «Стратегию 2030», Росгидромет в последние годы ведет работу по нескольким направлениям в рамках различных проектов и программ: проект «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета», подготовленный в соответствии с Соглашением между



Российской Федерацией и Международным банком реконструкции и развития (осуществляется с 2005 года); Федеральная целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» (реализуется с 2012 года) и других, в том числе выполняемых в рамках национального проекта «Экология».

В результате реализации первой фазы проекта модернизации практически на всех метеорологических станциях Росгидромета установлены автоматизированные метеорологические комплексы, открыто около 250 автоматических метеорологических станций, работающих без участия наблюдателей, часть гидрологических постов оборудована автоматизированными гидрологическими комплексами, введено в эксплуатацию новейшее оборудование и многое другое. Выполнена беспрецедентная по масштабам и сложности работа по обеспечению государственной наблюдательной сети современными средствами автоматизированного получения, сбора и передачи информации в сложных климатических условиях России. Началась реализация второй фазы проекта модернизации, значительная часть средств которой направлена на оснащение большинства гидрологических постов в бассейне реки Волги автоматизированными средствами наблюдений и передачи данных.

В рамках других крупных инвестиционных проектов Росгидромета была модернизирована система предупреждения о цунами на Дальнем Востоке, продолжено развитие сети геофизического мониторинга; управления оснащены мобильными станциями и лабораториями (метеорологическими, гидрологическими, экологическими, поверочными). Идет процесс создания на территории России единого метеорадиолокационного поля от Калининграда до Владивостока на базе сети отечественных доплеровских метеорологических радиолокаторов ДМРЛ-С, необходимых для совершенствования прогнозирования быстроразвивающихся гидрометеорологических процессов. Новая система позволяет предоставлять широкому кругу потребителей – органам власти и управления, Вооруженным Силам, МЧС, авиации, транспортным компаниям, коммунальным службам, населению – оперативную информацию о резкой смене погоды, осадках, ливнях, наводнениях, смерчах, шквалах и других опасных явлениях.

В рамках реализации Климатической доктрины Российской Федерации и «Стратегии 2030» в 2012 году создан Климатический центр Росгидромета – отраслевой научно-методический центр по организации подготовки материалов, содержащих оценки ожидаемых климатических изменений и их последствий, рекомендаций по адаптации к условиям меняющегося климата для органов государственной власти, бизнес-структур, населения, а также по научно-методическому руководству работами учреждений и организаций Росгидромета в области климатического обслуживания.

Все организации и учреждения Росгидромета, участвующие в реализации государственных полномочий и функций федерального органа исполнительной власти, руководствуются принципами информационной открытости, понятности, вовлеченности гражданского общества, подотчетности, которые лежат в основе Концепции открытости федеральных органов исполнительной власти, утвержденной Правительством Российской Федерации в 2014 году. Информационная открытость реализуется с помощью таких механизмов распространения информации как официальные сайты: Росгидромета, департаментов Росгидромета по федеральным округам, управлений и центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, научно-исследовательских учрежде-



ний; подготовка ответов на запросы граждан и организаций; проведение публичных обсуждений правоприменительной практики с лицензиатами Росгидромета; выпуск печатных изданий; публикации статей в официальных изданиях; представление информации, интервью, демонстрация видеофильмов в средствах массовой информации.

Общественное обсуждение и экспертное сопровождение деятельности в системе гидрометслужбы обеспечивается в значительной степени благодаря взаимодействию с общественными организациями. В Приволжском федеральном округе активно работают Общественный совет при Департаменте Росгидромета по ПФО, Консультативный совет по гидрометеорологическому образованию при Департаменте Росгидромета по ПФО. Департамент сотрудничает с Нижегородским областным отделением Общероссийской общественной организации «Всероссийское общество охраны природы», Нижегородским региональным отделением Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество».

В ближайшие годы в России и в мире будет расти число опасных климатических явлений, адаптацию к которым нужно начинать уже сейчас, что потребует координации усилий власти, ученых, экспертного сообщества. Одним из конкретных шагов в этом направлении стало создание в 2018 году Общероссийской общественной организации «Российское гидрометеорологическое общество», которую возглавил почетный Президент Всемирной Метеорологической Организации, руководитель Росгидромета в период 1993–2009 гг., советник Президента Российской Федерации по вопросам изменения климата в период 2009–2018 гг. А. И. Бедрицкий. Рост количества опасных климатических явлений в России и в мире, необходимость адаптации к последствиям климатических изменений требует координации усилий власти, ученых, экспертного сообщества, необходима разработка и реализация интеграционных проектов для решения общих и региональных проблем гидрометеорологической и экологической безопасности, кооперация усилий государства, научного сообщества и бизнеса для обеспечения гидрометеорологической безопасности, устойчивого развития территорий на благо всего общества в Российской Федерации.

*Заместитель начальника
Департамента Росгидромета
по Приволжскому федеральному округу,
Почетный работник гидрометслужбы России*

Носкова А. Е.

ПАМЯТИ ПРЕЗИДЕНТА РААСН, АКАДЕМИКА А. В. КУЗЬМИНА

Научная и творческая общественность России понесла тяжелую утрату. 26 сентября 2019 года на 69-м году жизни скончался выдающийся советский и российский архитектор, президент Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), академик РААСН, академик Российской академии художеств (РАХ), Народный архитектор Российской Федерации, Заслуженный архитектор Российской Федерации, Почетный строитель России, Почетный строитель Москвы, Почетный строитель Московской области Александр Викторович Кузьмин.

Александр Викторович родился 12 июля 1951 в Москве. С раннего детства он увлекался рисованием. Позже это увлечение переросло в серьезное занятие, рисунки, чертежи и планирование стали профессией. А. В. Кузьмин сам решил стать архитектором, хотя изначально мечтал быть художником-иллюстратором. Еще в школе он узнал о наборе в подготовительную группу при Московском архитектурном институте, и все старшие классы усиленно посещал обучающие курсы.

О таких, как Александр Викторович Кузьмин, принято говорить – человек-эпоха. Вся его жизнь была примером самоотверженного служения профессии. В 1974 году Александр Викторович окончил Московский архитектурный институт. С 1974 по 1991 годы работал в НИиПИ Генерального плана г. Москвы, прошел путь от архитектора до главного архитектора института. С 1991 по 1996 годы – заместитель и первый заместитель Председателя Комитета по архитектуре и градостроительству г. Москвы (Москомархитектура), начальник ГлавАПУ г. Москвы. С сентября 1996 года по июль 2012 года – председатель Москомархитектуры, главный архитектор города Москвы. Следует отметить, что А. В. Кузьмин никогда не ограничивался только лишь руководящей работой, многие проекты в Москве и области он создавал сам или в соавторстве с другими архитекторами. В 2009 году Александр Викторович был избран вице-президентом РААСН, в марте 2014 года был назначен генеральным директором Научно-исследовательского центра «Строительство».

В апреле 2014 года А. В. Кузьмин был избран Общим собранием членов РААСН президентом РААСН и утвержден в этой должности Правительством Российской Федерации. В апреле 2019 года Александр Викторович был также избран и утвержден в должности президента РААСН на второй срок.



А. В. Кузьмин известен в нашей стране и за рубежом как руководитель, автор и соавтор десятков крупных градостроительных проектов и научных трудов, реализованных архитектурных проектов. В его активе большое количество книг, научных статей, аналитических публикаций по различным проблемам архитектуры, градостроительства и строительных наук.

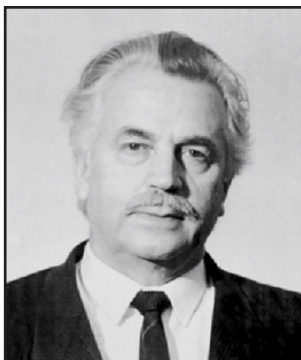
Александр Викторович совмещал свою профессиональную деятельность с педагогической работой. В течение многих лет он вкладывал большой труд в дело подготовки высококвалифицированных кадров в Московском архитектурном институте (государственной академии). Под его руководством и при его деятельном участии были защищены сотни выпускных квалификационных работ, была воспитана целая плеяда талантливых архитекторов и градостроителей.

А. В. Кузьмин долгие годы являлся членом Президиума правления Союза архитекторов России и Союза московских архитекторов, Председателем Совета главных архитекторов субъектов Российской Федерации и муниципальных образований, Председателем Совета главных архитекторов столиц стран СНГ.

Александр Викторович имеет благодарность Президента России, является обладателем золотой медали им. В. Г. Шухова, золотых медалей РААСН и РАХ, Лауреатом Государственной премии Российской Федерации в области архитектуры, премии Правительства Российской Федерации, двух премий правительства Москвы, Кавалером ордена Франции «За заслуги в области искусств и литературы» и Инженерного общества Бельгии «За заслуги в изобретениях», награжден Знаком отличия «За безупречную службу городу Москве», четырьмя орденами и медалью Русской Православной Церкви.

Светлая память о выдающемся мастере архитектуры, одареннейшем педагоге и наставнике, замечательном человеке Александре Викторовиче Кузьмине будет вечно жить в сердцах и памяти тех, кто его знал. Выражаем искренние соболезнования родным, близким и коллегам в связи с невосполнимой утратой.

*Президиум Российской академии архитектуры и строительных наук.
(Интернет-сайт РААСН: www.raasn.ru).*

ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА М. С. СЕДОВА

28 октября 2019 г. – 90 лет со дня рождения доктора технических наук, профессора Михаила Семеновича Седова (1929 – 2000 гг.).

М. С. Седов родился в 1929 г., в с. Работки Нижегородского края (название Нижегородской области с 1929 г. по 1932 г.) в семье рабочего. В 1947 г. поступил в Горьковский инженерно-строительный институт им. В. П. Чкалова на строительный факультет и успешно его закончил.

После окончания института в 1952 г. начал свой трудовой путь в должности ассистента. С этих дней вся жизнь Михаила Семеновича связана с родным вузом, где он прошел путь от ассистента до профессора, заведующего кафедрой архитектуры, которой бессменно руководил 34 года. За эти годы проявились его высокий профессионализм, образованность и великолепные личностные качества.

Профессор М. С. Седов является основоположником нижегородской научной школы строительной акустики. Он разработал теорию самосогласования волновых полей, которая устанавливает механизм прохождения звука через ограждения с двумя типами волн – резонансное и инерционное прохождение звука. Данный подход позволил впервые ввести понятие предельной звукоизоляции, которая соответствует излучению звука только инерционными волнами и не может быть превышена при неизменных значениях поверхностной плотности и геометрических размеров ограждения. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность новых конструктивных решений легких слоистых и сверхлегких мембранных звукоизолирующих конструкций.

Результаты его фундаментальных научных исследований опубликованы в двух монографиях: «Решение некоторых основных задач о собственных колебаниях упругих тел», «Проектирование звукоизоляции» и в одиннадцати учебных пособиях. Он является автором главы «Звукоизоляция» в справочнике «Техническая акустика транспортных машин» (г. Санкт-Петербург), изданном на русском и английском языках. Им было опубликовано более 250 научных работ в российских и зарубежных изданиях.

Михаил Семенович большое внимание уделял подготовке кадров высшей квалификации. Им подготовлено тринадцать кандидатов технических наук. Среди его учеников специалисты из Нижнего Новгорода, Вологды, Иваново. Один из кандидатов технических наук является гражданином африканской страны Мали.

С 1972 г. М. С. Седов являлся членом нескольких диссертационных советов, научно-технического совета Минвуза страны, научно-технического совета РАН



по направлению «Акустика», вице-президентом Российского общества по борьбе с шумом (г. Санкт-Петербург), участвовал в реализации федеральной научной программы «Архитектура и строительство». Принимал участие в международных научных конгрессах, проходивших в Австралии, Канаде, Швеции, Японии. Неоднократно избирался спикером пленарных заседаний и членом научных комитетов крупных международных и всероссийских научных конференций и конгрессов.

Под руководством М. С. Седова в ННГАСУ была создана уникальная лаборатория акустики, которая включает в себя четыре звукомерные камеры – три реверберационных и заглушенную (безэховую). Исследовательский комплекс позволяет проводить широкий спектр измерений звукоизоляции ограждающих конструкций от воздушного и от ударного шума, а также уровней шума различных источников.

Профессор М. С. Седов являлся руководителем работ по созданию инженерных решений по защите от шума для многих объектов гражданского строительства, а также для промышленных предприятий Горьковской области и других регионов страны: для опытного завода им. Туполева (г. Москва), для объединения им. Ползунова (г. Санкт-Петербург), для машиноремонтного завода и Горьковского автомобильного завода (г. Горький), для завода «Заря» (г. Дзержинск) и др.

Михаил Семенович Седов был блестящим лектором. Его лекции являлись образцом для преподавателей кафедры и пользовались большим интересом у студентов и аспирантов. Он был наделен высочайшим даром – талантом человечности. Умел расположить к себе любого, от него шла особая энергия, побуждавшая забывать о неприятностях и обидах. И все это при том, что сам Михаил Семенович был глубоко ранимым человеком, остро реагировал на любую несправедливость.

За заслуги в области научной и педагогической деятельности М. С. Седов награжден двумя орденами и медалью. Ему присвоено звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации».

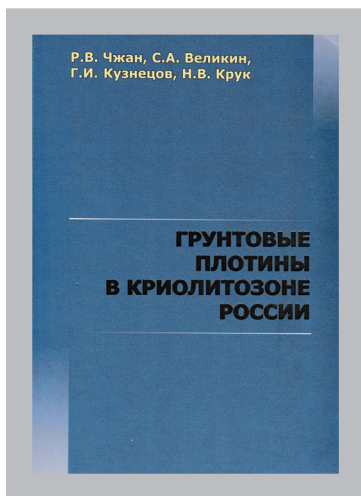
Скончался Михаил Семенович 29 сентября 2000 г. Трудно примириться с уходом замечательного ученого и педагога, невыразимо тяжело потерять яркого самобытного человека, пользовавшегося признанием, уважением и любовью всех знавших его.

В настоящее время научная школа профессора М. С. Седова активно развивается. С 2002 г. в ННГАСУ подготовлено шесть кандидатов технических наук по специальности 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения». 01 октября 2019 г. в ННГАСУ введена в эксплуатацию новая исследовательская экспериментальная установка «Реверберационные акустические камеры», которая была создана в рамках стратегического партнерства и научно-технического сотрудничества с компанией «Акустик Групп» (г. Москва). Данная установка соответствует мировому уровню развития строительной акустики, что позволит проводить полный спектр экспериментальных исследований звукоизолирующих и звукопоглощающих свойств акустических материалов, изделий и конструкций.

Ученики Михаила Семеновича Седова дорожат его научным наследием и будут продолжать его дело. Светлая память об этом талантливом, исключительно трудолюбивом, честном и добром человеке, настоящем интеллигенте, навсегда сохранится в наших сердцах.

Сотрудники кафедры архитектуры ННГАСУ

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ



Чжан, Р. В. Грунтовые плотины в криолитозоне России / Р. В. Джан, С. А. Великин, Г. И. Кузнецов, Н. В. Крук : отв. ред. Д. М. Шестернев : Сиб. отделение Рос. акад. наук. – Новосибирск : СО РАН. Академическое изд-во «Гео», 2019. – 427 с. (в пер.).

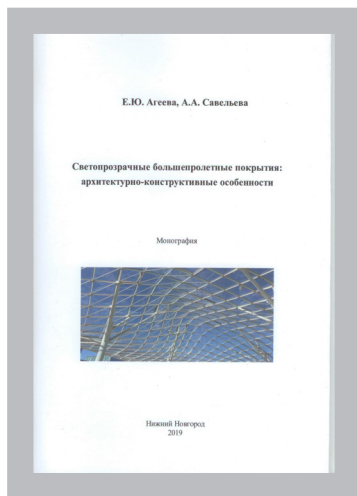
ISBN 978-5-6042857-3-2 (СО РАН),

ISBN 978-5-6043021-1-8 (АИ «Гео»)

DOI: 10.21782 / В978-5-6043021-1-8

В монографии обобщен опыт строительства грунтовых плотин в криолитозоне России, а также приведены результаты натурных исследований формирования криогенно-температурного режима сооружений энергетического и водохозяйственного назначения, являющегося основой статической и фильтрационной устойчивости гидроузлов. Рассмотрены экологические и природоохранные аспекты гидротехнического строительства в условиях меняющегося климата. Показана роль геокриологического мониторинга и система его организации, а также использование геофизических методов, позволяющих на ранних стадиях обнаруживать предпосылки начала фильтрации в криогенной среде. Рассмотрены теплофизические основы работы специальных гидротехнических сооружений – хвостохранилищ – и предложены рекомендации по их возведению и эксплуатации в условиях криолитозоны. Приведены инновационные разработки по возведению плотин способом скважинной гидродобычи и предложения повышения устойчивости грунтовых плотин с использованием криогенных ресурсов Земли. Представлена карта расположения грунтовых плотин и дано описание их современного состояния.

Книга предназначена для научных сотрудников, инженеров-гидротехников, проектирующих и эксплуатирующих гидроузлы в районах криолитозоны.



**Агеева, Е. Ю. Светопрозрачные большепролетные покрытия: архитектурно-конструктивные особенности [Текст]: монография / Е. Ю. Агеева, А. А. Савельева; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т – Н. Новгород: ННГАСУ, 2019 – 112 с.
ISBN 978-5-528-00351-1**

Представлен анализ архитектурно-конструктивных особенностей большепролетных светопрозрачных покрытий. В учебном пособии изложены причины появления и история создания первого светопрозрачного сооружения. Представлена периодизация развития большепролетных светопрозрачных конструкций. При-

ведены разновидности, преимущества и развитие светопрозрачных покрытий. Рассмотрены архитектурно-конструктивные особенности большепролетных светопрозрачных покрытий на примере современных зданий. Выявлены особенности конструирования большепролетного светопрозрачного покрытия, креплений конструкций. Проанализирована пожарная безопасность большепролетных светопрозрачных покрытий.

Рекомендуется преподавателям, аспирантам, магистрантам и студентам специальностей «Архитектура», «Промышленное и гражданское строительство», специализации «Строительство уникальных зданий и сооружений».



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 ввиду 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 дорабо-



танных 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 с аспирантов за публикацию научных статей не взимается.



ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА
на II полугодие 2020 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

