ISSN 1995-2511

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

1 2022

ISSN 1995-2511

ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Периодическое научное издание

№ 1

Март 2022

Нижний Новгород

ББК 95; я5
П 75
ПРИВОЛЖСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ, № 1 (61)

Периодическое научное издание. Н. Новгород, ННГАСУ, 2022. 213 с., 16 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 2.1 – «Строительство и архитектура».

Главный редактор д-р техн. наук, проф. С. В. СОБОЛЬ
Заместитель главного редактора канд. техн. наук, проф. Д. В. МОНИЧ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

акад. РААСН, д-р арх., проф. Е. А. АХМЕДОВА; чл.-корр. РААСН, проф. В. Н. БОБЫЛЕВ; д-р техн. наук, проф. М. В. 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; акад. 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

Редактор М. А. Коссэ, компьютерная верстка И. К. Красавина,
переводчик Л. Ю. Воронцов, работа со списками литературы Л. Б. Вержиковская

Подписано в печать 20.03.2022 г. Формат 70×108/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,6 + вкл. 2,8. 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 (зам. главного редактора), red@nngasu.ru (зам. главного редактора),
интернет-сайт: www.pnj.nngasu.ru; пнж.ннгасу.рф
Подписной индекс «Урал-Пресс»: 80382. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ООО «Стимул-СТ»
Адрес: Россия, 603155, г. Нижний Новгород, ул. Трудовая, д. 6

ISSN 1995-2511 **© ННГАСУ, 2022**

ISSN 1995-2511

THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL

Scientific periodical

№ 1

March 2022

Nizhny Novgorod

THE PRIVOLZHSKY SCIENTIFIC JOURNAL, № 1 (61)

Scientific periodical. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2022. 213 p., 16 p. of colour illustrations.

Founder & Publisher: The Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNGASU). Registered by the Federal service for the supervision of law observance in the sphere of mass media and preservation of cultural heritage of 20.12.2006. Registration certificate ПИ № 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 specialities 2.1 – "Conctruction and architecture".

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

academician of RAACS, doctor of architecture, professor E. A. AKHMEDOVA; corresponding member of RAACS, professor V. N. BOBYLYOV; doctor of technical sciences, professor M. V. 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; academician 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

Editor M. A. Kosse, computer makeup I. K. Krasavina,
translator L. Yu. Vorontsov, literature references L. B. Verzhikovskaya

Signed for publishing on 20.03.2022. Format 70×108/16. Offset paper.
Offset printing. Ref. publ. p. 18,6 + illust. 2,8. 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 (deputy chief editor), red@nngasu.ru (deputy chief editor),
web-site: www.pnj.nngasu.ru; пнж.ннгасу.рф
Subscription index "Ural-Press": 80382. Price is unfixed.

Printed in JSC "Stimul-ST" publishing house
Address: 6, Trudovaya St., 603155, Nizhny Novgorod, Russia.

ISSN 1995-2511 **© NNGASU, 2022**

С О Д Е Р Ж А Н И Е

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Колесов А. И., Гурин А. В. Анализ местной устойчивости стенки на примере КЭ-модели двухпролетного ригеля переменного сечения поперечной рамы ангара для двух самолетов..... 9

Лихачева С. Ю., Поздеев М. Л. Критерий прочности каменной кладки при действии касательных напряжений 19

Трянина Н. Ю., Облетов Е. Н., Самохвалов И. А. Аэродинамическое воздействие на панельные антенны базовых станций 23

Григорьев Ю. С., Фатеев В. В. Причины разрушения строительных конструкций здания Церкви Рождества Иоанна Предтечи в Нижнем Новгороде..... 30

Григорьев Ю. С., Фатеев В. В. Компьютерная модель работы висячей призматической сваи в массиве глинистого грунта..... 36

Кочкин А. А., Шашкова Л. Э., Кочкин Н. А., Иванова А. В. Способы повышения звукоизоляции ограждающих конструкций зданий 41

Монич Д. В. Методология расчета звукоизоляциии и разработки рациональных конструктивных решений легких ограждающих конструкций 52

Монич Д. В. Метод расчета звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с антирезонансными панелями..... 61

Хазов П. А., Тягунова Л. Ю., Гордеевцева А. М., Деулина Н. М. Распределение преобладающих частот и анализ расчетных землетрясений в сейсмически опасных регионах России..... 72

Окунева М. А., Сахарова Д. В., Хазов П. А. Самосогласованная система «несущие конструкции – упругое основание» с применением предварительно напряженных вантовых элементов..... 81

Шеховцов Г. А., Раскаткин Ю. Н. Варианты калибровки фотокамер с целью измерения расстояний..... 87

Антонов А. И., Гречишкин А. В., Гусев В. П., Леденев В. И., Матвеева И. В. Снижение шума газовоздушных каналов энергетических предприятий звукоизолирующими облицовками..... 97

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Федосов С. В., Федосеев В. Н., Логинова С. А. Тепловые процессы в испарительно-конденсационном контуре системы воздушного теплового насоса..... 104

Гримитлин А. М., Волков А. П., Свердлов А. В. Метод масштабирования параметров пожара при испытаниях противодымной вентиляции закрытых автостоянок..... 111

Лебедева Е. А., Разина М. А., Яковлев В. А. Особенности расчета и проектирования когенерационных технологий в котельных 122

Болдин С. В., Пузиков Н. Т. Использование газогенераторного газа в газопоршневой установке..... 129

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Антонов А. С., Караблин Н. П., Федосеев И. А. Напряженно-деформируемое состояние металлических крестовин гидроагрегатов при изменении проектных нагрузок..... 135

Февралев А. В. О целесообразности восстановления Ичалковской ГЭС на реке Пьяне в Нижегородской области 140

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Михеева Э. Р., Катраева И. В., Ворожцов Д. Л. Анаэробная переработка молочной сыворотки с получением метановодородного биогаза (биогитана)..... 145

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

Яковлев А. А., Захарчук А. В. Формирование научно-теоретической базы знаний об идее заимствования природного аналога в архитектуре 151

Тишков В. А., Агеева Е. Ю. Методологические основы архитектурно-строительной реновации: приемы и средства 156

Шумилкин А. С. Научные основы и практические примеры по развитию историко-культурного потенциала объектов центров исторических городов 162

Тарасова Ю. И. Инновации в архитектурно-пространственной среде 167

Витюк Е. Ю. Цифровизация как катализатор развития подходов к архитектурному формообразованию 176

Савельева Н. В. Историко-архитектурный анализ комплекса усадьбы И. Е. Сакина конца XIX – начала XX вв. в г. Иваново 187

Широкова Е. О. Постмодернизм в архитектуре торговых центров в регионах России 195

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Бадави А. А. Архитектурно-планировочная организация различных типов малых гостиниц на юге России с учетом их специализации (на примере Ростовской области)..... 201

ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

Новые издания..... 206

Перечень требований и условий, предоставляемых для публикации в периодическом научном издании «Приволжский научный журнал»..... 207

НА ОБЛОЖКЕ: Река Линда, Нижегородская область. Автор фото А. В. Белов

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES

Kolesov A. I., Gurin A. V. Wall local buckling analysis of FE-model of two-span variable cross section beam of two airplanes hangar transverse frame 9

Likhachyova S. Yu., Pozdeev M. L. The criterion of the strength of masonry under the action of shear stresses 19

Tryanina N. Yu., Obletov E. N., Samokhvalov I. A. Aerodynamic impact on panel antennas of base stations..... 23

Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Reasons for the destruction of building structures of the Church of the Nativity of John the Baptist in Nizhny Novgorod..... 30

Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Computer model of the operation of a hanging prismatic pile in an array of clay soil..... 36

Kochkin A. A., Shashkova L. E., Kochkin N. A., Ivanova A. V. Ways to increase sound insulation of enclosures of buildings..... 41

Monich D. V. Methodology for calculating sound insulation and development of rational design solutions of lightweight enclosures..... 52

Monich D. V. Calculation method of sound insulation of frame-sheathing partitions with anti-resonant panels..... 61

Khazov P. A., Tyagunova L. Yu., Gordeevtseva A. M., Deulina N. M. Distribution of prevailing frequencies and analysis of calculation earthquakes in seismic regions of Russia..... 72

Okuneva M. A., Sakharova D. V., Khazov P. A. Self-consistent system "Load-bearing structures – elastic base" with the use of prestressed cable-stayed elements..... 81

Shekhovtsov G. A., Raskatkin Yu. N. Camera calibration options for distance measure ment..... 87

Antonov A. I., Grechishkin A. V., Gusev V. P., Ledenev V. I.; Matveeva I. V. Noise reduction of gas-air channels at power enterprises by sound-proofing linings..... 97

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

Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Loginova S. A. Thermal processes in the evaporating-condensing circuit of the air heat pump system..... 104

Grimitlin A. M., Volkov A. P., Sverdlov A. V. Method of scaling fire parameters during tests of smoke ventilation of closed parking lots..... 111

Lebedeva E. A., Razina M. A., Yakovlev V. A. Features of calculation and design of cogeneration technologies in boiler rooms..... 122

Boldin S. V., Puzikov N. T. Use of generator gas in a gas piston unit..... 129

HYDRAULIC ENGINEERING, HYDRAULICS AND ENGINEERING GEOLOGY

Antonov A. S., Karablin N. P., Fedoseev I. A. Stress-strain state of runner cross head metal by changing project loads..... 135

Fevralyov A. V. On the expediency of restoring the Ichalkovskaya hydroelectric power station on the Pyana river in the Nizhny Novgorod region..... 140

TENVIRONMENTAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN ECONOMY

Mikheeva E. R., Katraeva I. V., Vorozhtsov D. L. Anaerobic digestion of milk whey for methane-hydrogen biogas (biohythane) production..... 145

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

Yakovlev A. A., Zakharchuk A. V. Scientific and theoretical knowledge base about the idea of natural analogue in architecture..... 151

Tishkov V. A., Ageeva E. Yu. Methodological foundations of architectural and civil engineering rennovation: tecniquies and means..... 156

Shumilkin A. S. Scientific foundations and practical examples of the development of the historical and cultural potential of the objects of the centers of historical cities..... 162

Tarasova Yu. I. Innovations in the architectural-spatial environment..... 167

Vityuk E. Yu. Digitalization as a catalyst of the development of approaches to architectural formation..... 176

Saveleva N. V. Historical and architectural analysis of I. E. Sakin estate of the end of XIX – beginning of XX century in Ivanovo..... 187

Shirokova E. O. Postmodernism in the architecture of shopping centers in the regions of Russia..... 195

ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS. CREATIVE CONCEPTS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY

Badavi A. A. Architectural planning organization of different types of small hotels in the South of Russia, taking into account their specialization (by the example of the Rostov region)..... 201

INFORMATION SECTION

New publications..... 206

List of requirements for publication in the scientific periodical “Privolzhsky Scientific Journal” 207

COVER PAGE: The Linda River, Nizhny Novgorod region. Photo by A. V. Belov

УДК 624.04:624.072.2.014.2

А. И. КОЛЕСОВ, канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой строительных конструкций; А. В. ГУРИН, магистрант

АНАЛИЗ МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНКИ НА ПРИМЕРЕ КЭ-МОДЕЛИ ДВУХПРОЛЕТНОГО РИГЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ РАМЫ АНГАРА ДЛЯ ДВУХ САМОЛЕТОВ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел. (831) 430-54-88; эл. почта: artemxan96@mail.ru
Ключевые слова: устойчивость стенок, балка переменного сечения, метод коэффициентов Новинькова, критические напряжения, местная устойчивость стенок переменного сечения.

Приводится сравнительный анализ методик проверки местной устойчивости стенок стальных балок на конкретном примере. В сравнении участвуют: нормативная методика проверки стенок постоянного сечения и методика коэффициентов А. Г. Новинькова для стенок переменного сечения. Определены критические напряжения и произведена оценка необходимости постановки продольных ребер жесткости в отсеках.

Исследована стальная двухпролетная рама с шарнирным опиранием неразрезного ригеля 2×45 м переменного сечения по длине пролета на стойки постоянного сечения.

Принятые определения:

– расчетный отсек – участок стенки, расположенный между поперечными ребрами жесткости;

– условные отсеки – участки стенки, расположенные по длине расчетного отсека в его границах. Так, в расчетном отсеке 1 существуют три условных отсека.

Расчетная схема рамы с расчетными нагрузками показана на рис. 1. Снеговая нагрузка представлена в двух вариантах, постоянная – в одном. Расчет рамы выполнен от пяти комбинаций нагружений. Поперечные ребра жесткости в ригеле установлены под прогонами с шагом 3 м и над опорами кран-балок. Схема расположения расчетных отсеков ригеля (до оси симметрии) приведена на рис. 2.

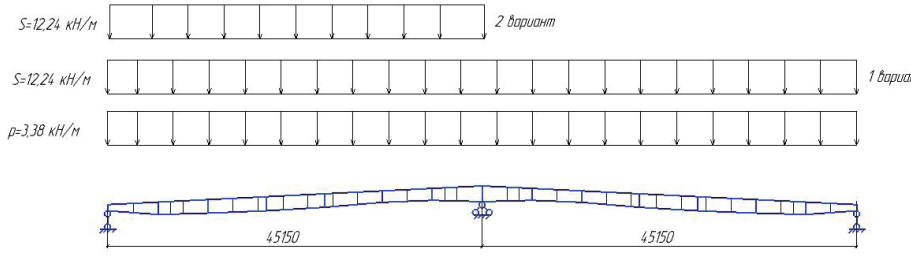


Рис. 1. Расчетная схема ригеля с расчетными нагрузками

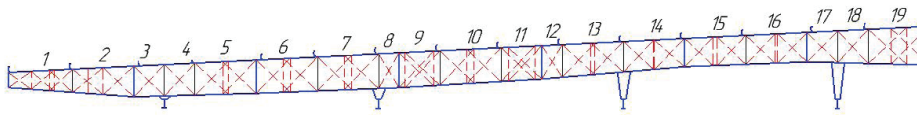


Рис. 2. Схема расположения условных отсеков ригеля (штриховая линия – границы расчетных отсеков)

Расчетные напряжения в стенке ригеля переменного сечения вычислены для модели из пластинчатых КЭ типа 44 в ПВК *SCAD*. Общий вид отсеков стенки при проверке местной устойчивости приведен в двух вариантах: прямоугольный (рис. 3) по нормам [1] и трапецевидный для ригелей переменного сечения (рис. 4).

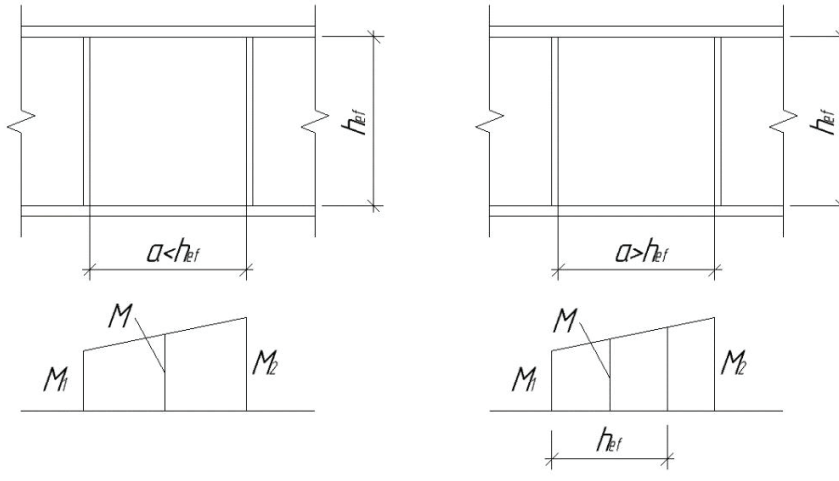


Рис. 3. Схема для расчета отсека по нормам

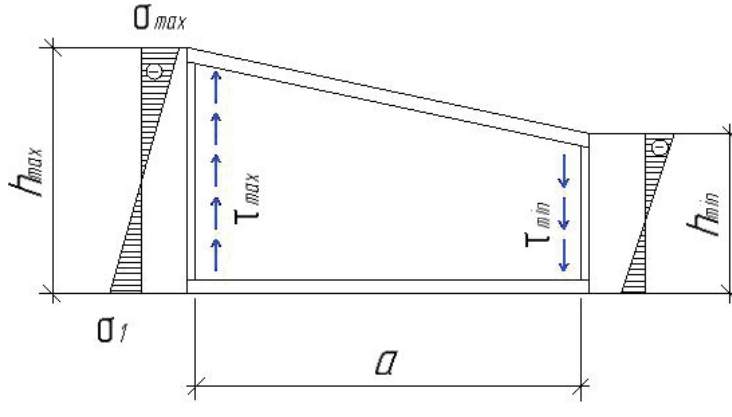


Рис. 4. Схема для расчета отсека по методике Новинькова

При длине отсека существенно большей высоты стенки ($a >> h_{ef}$) задача усложняется, так как требуется проверка устойчивости стенки в нескольких сечениях отсека. Интересным здесь является то, что расчетные сечения и расчетный момент назначаются не по максимальным значениям, а по средним в условных отсеках при $a = h_w$.

Анализ местной устойчивости стенки ригеля переменного сечения по длине пролета выполнен на 19 КЭ (до оси симметрии), на которые был разделен ригель, и в ПВК *SCAD* найдены для каждого КЭ поперечные сечения, удовлетворяющие I предельному состоянию по прочности и II предельному состоянию по жесткости. Для проверки местной устойчивости по нормам [ф. 80, 1] использовалась расчетная формула следующего вида:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}+\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \le \gamma_c, \qquad (1),$$

в которой слагаемое $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,\,cr}}$ под корнем не использовалось, так как в верхней зоне ригеля под прогонами устанавливались поперечные ребра жесткости, а локальные напряжения в инженерных расчетах от сосредоточенных нагрузок не учитывались. Аналогично в нижней зоне в местах крепления опор под кран-балками ставились поперечные ребра жесткости, и слагаемое, отображающее влияние локальных напряжений на местную устойчивость, не участвует в расчете.

В формуле 1:

$\sigma = \frac{M_x^{ср}}{I_x} \cdot \frac{h}{2}$ – средние изгибные напряжения в условном отсеке ригеля ($a = h_w$), вычисленные в сечении по центру длины для каждого условного отсека;

$\tau = \frac{Q}{A_w \cdot h_w}$ – среднее касательное напряжение по центру длины условного отсека;

σ_{cr}, τ_{cr} – соответственно их критические значения по [ф. 81, 83, 1];

γ_c – коэффициент условий работы по [табл. 1, 1].

Результаты расчетов местной устойчивости стенки в каждом из девятнадцати расчетных отсеков сведены в табл. 4 и табл. 5, в которых основные параметры обозначают следующее:

$\bar{\lambda}_w \le 6\sqrt{\left(\frac{R_y}{\sigma}\right)}$ – согласно требованию [п. 8.5.3, 1], относительно устойчивости стенки. Здесь σ – наибольшее сжимающее изгибное напряжение в поясе в рассматриваемом условном отсеке;

$\bar{\lambda}_w \le 5{,}5\sqrt{\left(\frac{R_y}{\sigma}\right)}$ – согласно требованию [п. 8.5.11, 1], относительно постановки продольного ребра.

Для проверок местной устойчивости стенок в ригеле переменного сечения использованы результаты исследования А. Г. Новинькова [2] в его кандидатской диссертации, изложенные в книге В. В. Катюшина [4] в виде приближенных формул по определению критических нормальных и касательных напряжений в стенке ригеля.

Формулы для определения нормальных и касательных критических напряжений даны в следующем виде [ф. 4,5, 4]:

$\sigma_{cr} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \sigma_{cr,\,norm}$;

$\tau_{cr} = k_5 \cdot k_6 \cdot \tau_{cr,\,norm}$,

где:

$\sigma_{cr,\,norm} = \dfrac{c_{cr} \cdot R_y}{\overline{\lambda}^2_{w,max}}$;

$\tau_{cr,\,norm} = 10{,}3\left(1 + \dfrac{0{,}76}{\mu^2}\right)\dfrac{R_s}{\overline{\lambda}^2_d}$;

$\overline{\lambda}_{w,max} = h_{max}/t_w \sqrt{(R_y/E)}$ – наибольшая условная гибкость стенки;

$\overline{\lambda}_d = \dfrac{d}{t_w}\sqrt{\dfrac{R_y}{E}}$;

d – меньшая из сторон отсека стенки (h_{max} или a);

μ – отношение большей стороны отсека к меньшей.

Коэффициенты k_1 и k_5 в книге [4] рекомендовано определять интерполяцией значений из табл. 1 (см. ниже) при отношении h_{max}/h_{min}, где h_{max} и h_{min} – наибольшая и наименьшая высота отсека стенки между поперечными ребрами жесткости соответственно.

Таблица 1

Коэффициенты k_1 и k_5

h_{max}/h_{min}	1,0	1,15	1,30	1,40	1,50
k_1	1,0	1,06	1,15	1,18	1,20
k_5 – сжата короткая диагональ	1,0	1,20	1,37	1,49	1,59
k_5 – сжата длинная диагональ	1,0	1,06	1,09	1,11	1,12

При определении коэффициента k_5 по вышеуказанной таблице нужно учитывать направление касательных напряжений (рис. 5) [4].

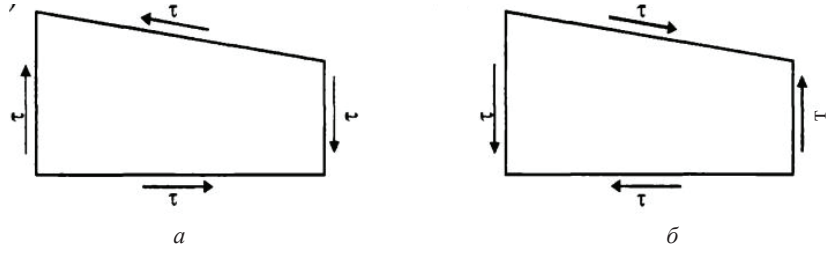


Рис. 5. Определение направления касательных: *а* – сжата короткая диагональ; *б* – сжата длинная диагональ

Коэффициент $k_2 = f(\alpha_{max})$,

где $\alpha_{max} = \dfrac{\sigma_{max} - \sigma_1}{\sigma_{max}}$; σ_{max} – максимальное сжимающее напряжение у расчетной границы стенки в сечении с максимальной высотой, принимаемое со знаком плюс; σ_1 – напряжение по противоположной кромке стенки, принимаемое со своим знаком.

$k_2 = 1/(6 - 3\alpha_{max})$, при $0 \le \alpha_{max} \le 0{,}667$;

k_2 определяется по табл. 2, при $0{,}667 \le \alpha_{max} \le 1{,}4$;

$k_2 = 0{,}25\alpha^2$, при $1{,}4 \le \alpha_{max} \le 4$.

Таблица 2

Коэффициент k_2 при $0{,}667 \le \alpha_{max} \le 1{,}4$

α_{max}	0,667	0,8	1,0	1,2	1,4
k_2	0,25	0,275	0,325	0,395	0,49

Коэффициент $k_3 = f(\alpha_\alpha)$ учитывает изменение нормальных напряжений по длине отсека [3],

где $\alpha_\alpha = \dfrac{\alpha_{max} - \alpha_{min}}{\alpha_{max}}$; $k_3 = 1{,}0$ при $0 \le \alpha_\alpha \le 0{,}05$; $k_3 = 1 - 0{,}2\,\alpha_\alpha$ при $\alpha_\alpha > 0{,}05$;

α_{max} и α_{min} – значения коэффициентов на кромках отсека в зоне максимальной и минимальной высоты стенки.

$k_4 = 1 + 0{,}3\alpha_\sigma$

где $\alpha_\sigma = \dfrac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{\sigma_{max}}$, σ_{max} и σ_{min} – сжимающие нормальные напряжения на кромках стенки в зоне максимальной и минимальной высоты отсека.

$k_6 = 1 + 0{,}5\alpha_\tau$ – учитывает изменение величины касательных напряжений по длине отсека,

где $\alpha_\tau = \dfrac{\tau_{max} - \tau_{min}}{\tau_{max}}$; τ_{max} и τ_{min} – касательные напряжения на кромках стенки в зоне максимальной и минимальной высоты отсека.

При одновременном действии в отсеке σ и τ общая формула проверки стенки на местную устойчивость, приведенная в работе [4], имеет вид:

$$(1+\beta_h^3)\sqrt{\frac{2-\alpha_y}{4}\cdot k_\sigma + \left(\frac{\alpha_\sigma}{1+\alpha_x}\right)^2 \cdot (k_\sigma \cdot k_\tau)^2} + \sqrt{\left(\frac{2+\alpha_{max}}{4}\right)^2 \cdot k_\sigma^2 + (k_\tau)^2} \le \gamma_c,$$

где:

$k_\tau = \tau / \tau_{cr}$;

$k_\sigma = \sigma/\sigma_{cr}$; $\beta_h = h_{max} - h_{min})/h_{max}$; $\gamma_c = 1$ – для рядовых отсеков;

$\gamma_c = 0{,}9$ – для отсека в зоне сопряжения ригеля и стойки;

$$\alpha_x = \frac{\sigma_{h,max} - \sigma_{h,min}}{\sigma_{h,max}};\quad \alpha_y = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{\sigma_{max}},$$

где $\sigma_{h,max}$ – максимальное сжимающее напряжение в сечении отсека с максимальной гибкостью стенки; $\sigma_{h,min}$ – минимальное сжимающее напряжение в сечении отсека с максимальной гибкостью стенки.

Результаты расчетов ригеля по методике А. Г. Новинькова приведены в табл. 5, 6, 7 (t_{f1} и b_{f1} – толщина и ширина верхнего пояса, t_{f2} и b_{f2} – толщина и ширина нижнего пояса, h_w и t_w – высота и толщина стенки, $\sigma_в$ и $\sigma_н$ – нормальные напряжения в верхнем и нижнем поясе). Сравнительный анализ результатов по обеим методикам сведен в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительный анализ методик («+» – отсек теряет устойчивость, «–» – отсек не теряет устойчивость)

Методика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Нормы	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-
Новиньков	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-

Таблица 4

Проверка устойчивости стенок отсеков по нормам

Номер отсека	h	t_{f1}	t_{f2}	b_{f1}	b_{f2}	h_w	t_w	$\sigma_в$	$\sigma_н$	σ_{cr}	τ	τ_{cr}	Проверка устойчивости
1	87,0	1,4	1,4	24	23,93	84,2	0,85	-4,7	5,2	46,8	4,4	17,0	0,3
1	100,8	1,4	1,4	28	27,85	98	0,85	-12,7	12,8	48,9	3,9	17,1	0,3
1	112,3	1,4	1,4	31,1	31,01	109,5	0,85	-15,8	16,1	39,1	3,2	14,0	0,5
2	112,3	1,4	1,4	31,1	31,01	109,5	0,85	-16,9	17,1	39,1	2,3	14,1	0,5
2	150,0	1,4	1,4	42	41,5	147,2	0,85	-16,9	17,0	21,7	1,8	8,4	0,8
3	153,3	1,5	1,5	42,63	41,88	150,25	0,9	-16,9	16,8	23,4	2,0	13,4	0,7
4	156,5	1,5	1,5	43,25	43	153,5	0,9	-18,7	18,7	22,4	1,7	13,2	0,9
5	156,5	1,5	1,5	43,25	43	153,5	0,9	-19,9	19,9	22,4	1,5	8,8	0,9
5	163,0	1,5	1,5	44,5	44,5	160	0,9	-20,7	20,6	20,6	1,4	8,2	1,0
6	163,0	1,65	1,6	44,5	44,5	159,75	0,95	-19,8	20,1	23,2	1,5	9,1	0,7
6	166,0	1,65	1,6	46	46	162,75	0,95	-20,3	20,6	22,3	1,4	8,9	0,9
7	166,0	1,65	1,6	46	46	162,75	0,95	-20,9	21,0	22,3	1,1	8,9	0,9
7	169,0	1,65	1,6	47,5	47,5	165,75	0,95	-21,5	21,3	21,6	0,8	8,6	1,0
8	170,0	1,65	1,6	48	48	166,75	0,95	-22,8	22,7	21,3	1,4	24,4	1,1
9	170,0	1,6	1,6	48	48	166,8	0,95	-20,7	20,8	21,2	1,0	10,5	1,0
9	168,0	1,6	1,6	47,14	47,14	164,8	0,95	-21,4	21,2	21,7	1,0	10,7	1,0
10	168,0	1,6	1,6	47,14	47,14	164,8	0,95	-20,7	21,1	21,7	1,3	8,7	1,0
10	165,0	1,6	1,6	45,86	45,86	161,8	0,95	-20,9	20,7	22,5	1,4	8,9	0,9
11	165,0	1,6	1,6	45,86	45,86	161,8	0,95	-19,8	20,2	22,5	1,6	11,0	0,9
11	163,0	1,6	1,6	45	45	159,8	0,95	-19,7	19,7	23,0	1,7	11,1	0,9
12	163,0	1,55	1,55	45	45	159,9	0,9	-20,0	20,9	20,7	2,2	22,3	1,0
13	159,4	1,55	1,55	43	43	156,33	0,9	-20,1	20,4	21,7	2,3	8,5	1,0
13	148,7	1,55	1,55	37	37	145,61	0,9	-20,0	19,9	24,8	2,3	9,6	0,8
14	148,7	1,55	1,55	37	37	145,61	0,9	-18,9	19,1	24,8	2,8	9,6	0,8
14	138,0	1,55	1,55	31	31	134,9	0,9	-17,0	17,3	28,5	2,8	10,9	0,5
15	138,0	1,4	1,4	31	31	135,2	0,8	16,5	-16,4	22,6	1,8	8,6	0,8
15	141,0	1,4	1,4	36	36	138,2	0,8	17,9	-17,8	21,9	1,8	8,3	0,9

Окончание табл. 4

16	141,0	1,4	1,4	36	36	138,2	0,8	19,1	-19,0	21,9	2,0	8,3	0,9
16	144,0	1,4	1,4	41	41	141,2	0,8	20,3	-20,3	21,1	1,8	8,0	1,0
17	155,5	1,8	1,85	44,25	43,88	151,85	1,1	16,6	-16,3	34,3	2,5	19,9	0,5
18	167,0	1,8	1,85	47,5	46,75	163,35	1,1	18,2	-18,0	29,6	2,2	18,7	0,6
19	167,0	1,8	1,85	47,5	46,75	163,35	1,1	19,7	-19,5	29,6	2,3	11,8	0,7
19	190,0	1,8	1,85	54	52,5	186,35	1,1	20,5	-20,2	22,7	2,0	9,6	0,9

Таблица 5

Входные параметры для проверки методом Новинькова

Номер отсека	$\sigma_{cr,norm}$	$\tau_{cr,norm}$	h_{max}	h_{min}	k_1	k_5	k_2		k_3		k_4		k_6	
					h_{max}/h_{min}	диагональ	σ_{max}	σ_1	σ_{max}	σ_1	σ_{max}	σ_{min}	τ_{max}	τ_{min}
1	46,8	17,0	87	79	1,1	к	-9,4	9,5	-1,8	0,3	9,4	1,8	4,4	5,9
1	48,9	17,1	101,6	87	1,2	к	-14,2	14,3	-9,4	9,5	14,2	9,4	3,3	4,4
1	39,1	14,0	112,3	98,9	1,1	к	-17,5	17,1	-13,5	13,6	17,5	13,5	2,5	3,5
2	39,1	14,1	131,4	112,3	1,2	к	-16,4	16,9	-17,5	17,1	16,4	17,5	2,1	2,5
2	21,7	8,4	150	131,4	1,1	к	-16,7	16,2	-16,4	16,9	16,7	16,4	2,2	2,1
3	28,9	13,4	153,25	150	1,0	д	-18,0	18,6	-16,7	16,2	18,0	16,7	1,8	2,2
4	22,4	13,2	156,5	153,25	1,0	д	-20,0	19,5	-18,0	18,6	20,0	18,0	1,6	1,8
5	22,4	8,8	160	156,5	1,0	д	-20,3	20,3	-20,0	19,5	20,3	20,0	1,5	1,6
5	20,6	8,2	163	159,5	1,0	д	-20,6	21,0	-19,9	19,9	20,6	19,9	2,1	1,6
6	56,3	9,1	164,7	163	1,0	д	-20,1	20,4	-20,6	21,0	20,1	20,6	1,4	2,1
6	22,3	8,9	166	164,3	1,0	д	-20,9	21,2	-19,9	20,3	20,9	19,9	1,1	1,4
7	22,3	8,9	167,7	166	1,0	д	-20,6	21,0	-20,9	21,2	20,6	20,9	1,0	1,1
7	21,6	8,6	169	167,3	1,0	д	-26,5	22,4	-20,6	21,0	26,5	20,6	1,5	1,1
8	21,3	24,4	170	169	1,0	к	-21,3	21,1	-26,5	22,4	21,3	26,5	0,9	1,5
9	21,2	10,5	170	168,3	1,0	к	-21,3	21,1	-21,2	20,9	21,3	21,2	0,9	1,9
9	21,7	10,7	169,7	168	1,0	к	-20,4	20,1	-24,2	21,8	20,4	24,2	1,6	1,0
10	21,7	8,7	168	166,3	1,0	к	-24,2	21,8	-20,6	20,6	24,2	20,6	1,0	1,4
10	22,5	8,9	166,7	165	1,0	к	-20,6	20,6	-22,6	20,3	20,6	22,6	1,4	1,1
11	22,5	11,0	165	163,4	1,0	к	-22,6	20,3	-19,2	19,1	22,6	19,2	1,1	1,6
11	23,0	11,1	164,7	163	1,0	к	-20,1	20,7	-20,5	19,8	20,1	20,5	1,9	1,7
12	20,7	22,3	163	159,4	1,0	к	-20,5	19,8	-21,7	19,9	20,5	21,7	1,7	1,8
13	21,7	8,5	159,4	153,7	1,0	к	-21,7	19,9	-20,1	20,0	21,7	20,1	1,8	2,3
13	24,8	9,6	154,4	148,7	1,0	к	-19,6	19,5	-20,9	20,0	19,6	20,9	2,3	2,5
14	24,8	9,6	148,7	143,4	1,0	к	-20,9	20,0	-18,0	18,9	20,9	18,0	2,5	2,8
14	77,7	10,9	143,3	138	1,0	к	-18,1	18,0	-17,1	17,3	18,1	17,1	2,8	3,1
15	22,6	8,6	139,4	138	1,0	к	-11,4	11,4	-17,1	17,3	11,4	17,1	3,5	3,1
15	21,9	8,3	141	139,6	1,0	к	-18,6	18,4	-17,2	17,2	18,6	17,2	1,9	1,8
16	21,9	8,3	142,4	141	1,0	к	-19,6	19,5	-18,6	18,4	19,6	18,6	2,0	1,9
16	21,1	8,0	144	142,6	1,0	к	-19,0	18,2	-19,7	19,6	19,0	19,7	3,2	2,0

Окончание табл. 5

17	42,1	19,9	155,5	144	1,1	к	-17,3	17,5	-19,0	18,2	17,3	19,0	2,3	3,2
18	29,6	18,7	167	155,5	1,1	к	-18,9	18,6	-17,3	17,5	18,9	17,3	2,2	2,3
19	29,6	11,8	181,6	167	1,1	к	-20,1	20,2	-18,9	18,6	20,1	18,9	2,1	2,2
19	44,9	9,6	190	175,4	1,1	к	-22,7	20,6	-19,5	19,7	22,7	19,5	3,5	2,3

Таблица 6

Вычисление критических напряжений для метода Новинькова

Номер отсека	k_1	k_5	α_{max}	k_2	α_{min}	α_{α}	k_3	α_{σ}	k_4	α_{τ}	k_6	σ_{cr}	τ_{cr}
1	1,1	1,1	2,0	1,0	1,2	0,4	0,9	0,8	1,2	-0,3	0,8	57,0	16,2
1	1,1	1,2	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,3	1,1	-0,3	0,8	59,2	17,4
1	1,1	1,2	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,2	1,1	-0,4	0,8	44,1	13,0
2	1,1	1,2	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	-0,1	1,0	-0,2	0,9	43,4	15,4
2	1,1	1,2	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,1	1,0	22,9	10,3
3	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,1	1,0	-0,2	0,9	31,0	12,1
4	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,1	1,0	-0,2	0,9	22,8	12,2
5	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0	-0,1	1,0	22,8	8,5
5	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,2	1,1	21,4	9,1
6	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0	-0,5	0,8	57,3	6,9
6	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,1	1,0	-0,3	0,9	23,1	7,7
7	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0	-0,1	1,0	22,8	8,5
7	1,0	1,0	1,9	0,9	2,0	-0,1	1,0	0,2	1,1	0,3	1,1	19,7	9,9
8	1,0	1,0	2,0	1,0	1,9	0,1	1,0	-0,2	0,9	-0,8	0,6	19,4	15,3
9	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0	-1,2	0,4	21,1	4,4
9	1,0	1,0	2,0	1,0	1,9	0,0	1,0	-0,2	0,9	0,4	1,2	20,3	13,0
10	1,0	1,0	1,9	0,9	2,0	-0,1	1,0	0,2	1,1	-0,5	0,8	20,5	6,8
10	1,0	1,0	2,0	1,0	1,9	0,1	1,0	-0,1	1,0	0,2	1,1	21,7	9,8
11	1,0	1,0	1,9	0,9	2,0	-0,1	1,0	0,2	1,1	-0,4	0,8	21,3	9,0
11	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,1	1,0	23,7	11,7
12	1,0	1,0	2,0	1,0	1,9	0,0	1,0	-0,1	1,0	-0,1	1,0	20,0	22,2
13	1,0	1,1	1,9	0,9	2,0	0,0	1,0	0,1	1,0	-0,3	0,9	20,8	7,8
13	1,0	1,1	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	-0,1	1,0	-0,1	1,0	24,8	9,5
14	1,0	1,1	2,0	1,0	2,1	-0,1	1,0	0,1	1,0	-0,1	1,0	25,3	9,6
14	1,0	1,1	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,1	1,0	-0,1	0,9	80,4	10,8
15	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	-0,5	0,9	0,1	1,1	19,4	9,2
15	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,1	1,0	0,0	1,0	22,3	8,5
16	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	22,3	8,6
16	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,4	1,2	19,9	9,6
17	1,1	1,1	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	-0,1	1,0	-0,4	0,8	42,8	17,5
18	1,0	1,1	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,1	1,0	0,0	1,0	31,1	20,5
19	1,1	1,1	2,0	1,0	2,0	0,0	1,0	0,1	1,0	-0,1	1,0	31,9	12,8
19	1,1	1,1	1,9	0,9	2,0	-0,1	1,0	0,1	1,0	0,4	1,2	44,1	12,5

Таблица 7

Проверка устойчивости стенки методом Новинькова

Номер отсека	k_τ	k_σ	τ	σ	β_h	γ_c	$\sigma_{h,max}$	$\sigma_{h,min}$	α_x	σ_{max}	σ_{min}	α_y	Проверка устойчивости
1	0,3	0,2	4,4	9,4	0,1	0,9	-9,4	9,5	0,8	-9,4	-1,8	2,0	0,6
1	0,2	0,2	3,3	14,2	0,1	0,9	-14,2	14,3	0,3	-14,2	-9,4	2,0	0,6
1	0,2	0,4	2,5	17,5	0,1	0,9	-17,5	17,1	0,2	-17,5	-13,5	2,0	0,7
2	0,1	0,4	2,1	16,4	0,2	1,0	-16,4	16,9	-0,1	-16,4	-17,5	2,0	0,6
2	0,2	0,7	2,2	16,7	0,1	1,0	-16,7	16,2	0,0	-16,7	-16,4	2,0	0,9
3	0,2	0,6	1,8	18,0	0,0	1,0	-18,0	18,6	0,1	-18,0	-16,7	2,0	0,8
4	0,1	0,9	1,6	20,0	0,0	1,0	-20,0	19,5	0,1	-20,0	-18,0	2,0	0,9
5	0,2	0,9	1,5	20,3	0,0	1,0	-20,3	20,3	0,0	-20,3	-20,0	2,0	1,0
5	0,2	1,0	2,1	20,6	0,0	1,0	-20,6	21,0	0,0	-20,6	-19,9	2,0	1,0
6	0,2	0,4	1,4	20,1	0,0	1,0	-20,1	20,4	0,0	-20,1	-20,6	2,0	0,6
6	0,1	0,9	1,1	20,9	0,0	1,0	-20,9	21,2	0,1	-20,9	-19,9	2,0	1,0
7	0,1	0,9	1,0	20,6	0,0	1,0	-20,6	21,0	0,0	-20,6	-20,9	2,0	1,0
7	0,2	1,3	1,5	26,5	0,0	1,0	-26,5	22,4	0,2	-26,5	-20,6	1,9	1,2
8	0,1	1,1	0,9	21,3	0,0	1,0	-21,3	21,1	-0,2	-21,3	-26,5	2,0	1,1
9	0,2	1,0	0,9	21,3	0,0	1,0	-21,3	21,1	0,0	-21,3	-21,2	2,0	1,0
9	0,1	1,0	1,6	20,4	0,0	1,0	-20,4	20,1	-0,2	-20,4	-24,2	2,0	1,0
10	0,1	1,2	1,0	24,2	0,0	1,0	-24,2	21,8	0,2	-24,2	-20,6	1,9	1,1
10	0,1	1,0	1,4	20,6	0,0	1,0	-20,6	20,6	-0,1	-20,6	-22,6	2,0	1,0
11	0,1	1,1	1,1	22,6	0,0	1,0	-22,6	20,3	0,2	-22,6	-19,2	1,9	1,0
11	0,2	0,9	1,9	20,1	0,0	1,0	-20,1	20,7	0,0	-20,1	-20,5	2,0	0,9
12	0,1	1,0	1,7	20,5	0,0	1,0	-20,5	19,8	-0,1	-20,5	-21,7	2,0	1,0
13	0,2	1,1	1,8	21,7	0,0	1,0	-21,7	19,9	0,1	-21,7	-20,1	1,9	1,0
13	0,2	0,8	2,3	19,6	0,0	1,0	-19,6	19,5	-0,1	-19,6	-20,9	2,0	0,9
14	0,3	0,8	2,5	20,9	0,0	1,0	-20,9	20,0	0,1	-20,9	-18,0	2,0	0,9
14	0,3	0,2	2,8	18,1	0,0	1,0	-18,1	18,0	0,1	-18,1	-17,1	2,0	0,6
15	0,4	0,6	3,5	11,4	0,0	1,0	-11,4	11,4	-0,5	-11,4	-17,1	2,0	0,9
15	0,2	0,8	1,9	18,6	0,0	1,0	-18,6	18,4	0,1	-18,6	-17,2	2,0	0,9
16	0,2	0,9	2,0	19,6	0,0	1,0	-19,6	19,5	0,1	-19,6	-18,6	2,0	1,0
16	0,3	1,0	3,2	19,0	0,0	1,0	-19,0	18,2	0,0	-19,0	-19,7	2,0	1,0
17	0,1	0,4	2,3	17,3	0,1	1,0	-17,3	17,5	-0,1	-17,3	-19,0	2,0	0,7
18	0,1	0,6	2,2	18,9	0,1	1,0	-18,9	18,6	0,1	-18,9	-17,3	2,0	0,8
19	0,2	0,6	2,1	20,1	0,1	0,9	-20,1	20,2	0,1	-20,1	-18,9	2,0	0,9
19	0,3	0,5	3,5	22,7	0,1	0,9	-22,7	20,6	0,1	-22,7	-19,5	1,9	0,9

Таким образом, метод коэффициентов дает результаты, отличающиеся в большую и в меньшую сторону от результатов расчета по нормативной методике, но в

большинстве отсеков совпадающие. В случае проведения обширного экспериментального исследовании и точного подтверждения зависимостей метод может быть внесен в нормы и применен на практике. Метод легко реализуется в табличной форме, прост в освоении для инженера и не требует больших затрат времени на вычисления. Данную методику можно использовать на этапе сравнения вариантов конструкций в дополнение к нормативной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 16.13330 – 2017. Стальные конструкции : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 года № 126/пр : актуализированная редакция СНиП II-23-81* : дата введения 2017-08-28 : [редакция от 4 декабря 2019 года]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_278905/ (дата обращения : 15.03.2021). – Режим доступа : Консультант-Плюс. Законодательство. ВерсияПроф. – Текст : электронный.

2. Новиньков, А. Г. Устойчивость стенок в элементах рамных конструкций с переменной высотой стенки : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. Г. Новиньков ; НИСИ им. В. В. Куйбышева. – Новосибирск, 1991. – 176 с. – Текст : непосредственный.

3. Бирюлев, В. В. Инженерный метод расчета устойчивости стенок сжато-изгибаемых двутавров переменной высоты / В. В. Бирюлев, А. Г. Новиньков. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1991. – № 7. – С. 9–14.

4. Катюшин, В. В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство) / В. В. Катюшин. – Москва : Стройиздат, 2005. – 656 с. – ISBN 5-274-02030-5. – Текст : непосредственный.

KOLESOV Aleksandr Ivanovich, candidate of technical sciences, professor, holder of the chair of building constructions; GURIN Artyom Vitalevich, undergraduate student

WALL LOCAL BUCKLING ANALYSIS OF FE-MODEL OF TWO-SPAN VARIABLE CROSS SECTION BEAM OF TWO AIRPLANES HANGAR TRANSVERSE FRAME

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 432-05-76;
e-mail: artemxan96@mail.ru

Key words: walls buckling, beam with variable cross section, A. G. Novinkov coefficients method, critical stress, local buckling of variable cross section walls.

The article considers comparative analysis of checking methods of local wall stability of steel beams on specific sample. Compared methods: normative method of constant-cut walls stability check and A. G. Novinkov coefficients method of various height walls stability check. Critical stress was determined and assessment of the necessity to install longitudinal stiffeners in compartments was carried out.

REFERENCES

1. SP 16.13330.2017. Stalnye konstruktsii [Steel constructions] : svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhd. i vved. v deystvie prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. kozyaystva

Ross. Fed. ot 27 fevralya 2017 goda № 126/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-23-81*: data vved. 2017-08-28 : [redaktsiya ot 4 dekabrya 2019 goda]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_278905/ (data obrascheniya : 15.03.2021). – Rezhim dostupa : Konsultant-Plyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

2. Novinkov A. G. Ustoychivost stenok v elementakh ramnykh konstruktsiy s peremennoy visotoy stinki [Wall buckling in elemements of frames with changing wall height]. Dissertation for the candidate of technical sciences. NISI im. V.V. Kuybysheva, Novosibirsk, 1991. – 176 p.

3. Biryulev V. V., Novinkov A. G. Inzhenerniy metod raschyota ustoychivosti stenok szhato-izgibaemykh dvutavrov peremennoy vysoty [Engineering method for calculating the stability of walls of compressed-bent I-beams with variable height]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo i arkhitektura [News of High Educational Institutions. Construction and architecture]. 1991; № 7. – P. 9–14.

4. Katushin V. V. Zdaniya s karkasami iz stalnykh ram peremennogo secheniya (raschyot, proektirovanie, stroitelstvo) [Buildings with variable stiffness still frame carcass (calculations, design, building)]. – Moscow: Stroyizdat, 2005. – 656 p. – ISBN 5-274-02030-5.

© А. И. Колесов, А. В. Гурин, 2022
Получено: 08.12.2021 г.

УДК 69.04:693.2

С. Ю. ЛИХАЧЕВА, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; М. Л. ПОЗДЕЕВ, студент

КРИТЕРИЙ ПРОЧНОСТИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ ДЕЙСТВИИ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: lihsvetlana@yandex.ru, maksim.leon.pz@yandex.ru
Ключевые слова: каменная кладка, плоское напряженное состояние, касательные напряжения, критерий прочности, фигура прочности, ортотропный материал.

Описан критерий прочности каменных кладок в области среза по перевязанному и неперевязанному сечению. Проведено обобщение подходов к описанию прочности кладки на действие касательных напряжений по результатам опытных данных и предложенных авторских и нормативных методик. Проведен анализ их применимости в инженерной практике.

Современная нормативная база в области проектирования каменных конструкций [1] во многом консервативна и ориентирована на ручные расчеты по упрощенным одноосным расчетным моделям, которые не могут корректно описать фактическое напряженно-деформированное состояние (НДС) кладки, в том числе плоское НДС кирпичных стен при сложных видах загружений (опирание плит перекрытий одновременно на продольные и поперечные стены, горизонтальные ветровые и сейсмические нагрузки, стены на упругом основании и др.).

Проектирование каменных зданий в инженерной практике производят, используя метод конечных элементов (МКЭ), при этом размер конечного элемента (КЭ) во много раз превосходит размер однородного вещества – кирпича и рас-

творной матрицы. Данный макромеханический подход к моделированию требует использовать гомогенизацию свойств, т. е. замену неоднородной структуры каменной кладки на однородную анизотропную структуру с осредненными физико-механическими характеристиками. При этом встает вопрос в определении критериев прочности, которые могут корректно описать несущую способность композитной каменной конструкции с учетом анизотропии ее свойств.

Целью данной работы стало обобщение подходов к описанию прочности кладки на действие касательных напряжений по результатам опытных данных и предложенных авторских и нормативных методик и анализ их применимости в инженерной практике.

Влияние плоского НДС кладки на ее прочность описано в отечественных и зарубежных источниках. В частности, Г. А. Гениевым был разработан критерий прочности каменной кладки при плоском НДС [2] (рис. 1) на основе опытов А. У. Пейджа [3]. Данный критерий достаточно хорошо аппроксимирует опытные данные, однако имеет ряд недостатков. В частности, в нем используются инварианты, которые в действующих нормах не приведены, из-за чего он не может быть использован в инженерной практике при реальном проектировании.

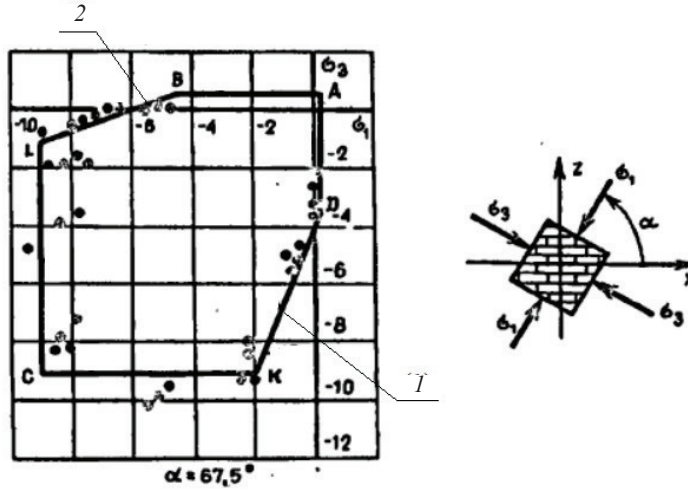


Рис. 1. Критерий прочности Гениева: *1* – срез по неперевязанному сечению, см. уравнение (1); *2* – срез по перевязанному сечению, см. уравнение (2)

Рассмотрим критерий прочности Гениева в области сжатие-растяжение и сжатие-сжатие, когда одно из главных напряжений во много раз превосходит другое. Данные области критерия прочности соответствуют потери прочности за счет действия касательных напряжений, т. е. сдвига кладки вдоль или поперек растворных швов. В зависимости от угла наклона главных напряжений к горизонтальным растворным швам Гениевым предлагается использовать различные законы прочности.

При действии на элемент вдоль растворных швов существенно больших сжимающих напряжений потеря несущей способности происходит за счет сдвига вдоль растворных швов (срез по неперевязанному сечению). При этом учитывается упрочнение за счет действия нормальных к плоскости сдвига сжимающих напряжений по закону касательной Кулона-Навье:

$$|\tau_{xz}| = C_z - \mu_z \sigma_z, \qquad (1)$$

где C_z – предел прочности на сдвиг по неперевязанному сечению; μ_z – коэффици-

ент внутреннего трения при сдвиге по неперевязанному сечению.

При срезе кладки поперек горизонтальных растворных швов (срез по перевязанному сечению) Гениевым также рассматривается срез с упрочнением по касательной Кулона-Навье, однако в качестве расчетного сечения для определения касательных напряжений предлагается использовать площадку под углом 45° к главным площадкам, а в качестве инвариантов приняты усредненные характеристики касательного сцепления C_{13} и коэффициента трения μ_{13}, вычисляемые в зависимости от угла α между главными напряжениями и осями ортотропии.

$$|\tau_{13}| = C_{13}(\alpha) - \mu_{13}(\alpha) \cdot \sigma_{13}\ , \tag{2}$$

где

$$C_{13}(\alpha) = 1/2\ [(C_x + C_z) - (C_x - C_z) \cdot |\sin 2\alpha|]\ , \tag{3}$$

$$\mu_{13}(\alpha) = 1/2\ [(\mu_x + \mu_z) - (\mu_x - \mu_z) \cdot |\sin 2\alpha|]\ . \tag{4}$$

Коэффициенты C_{13} и μ_{13} занормированы только в одном направлении согласно п. 7.20 [1]. Поэтому данный критерий не может быть применен в инженерной практике. С другой стороны, в п. 9.12 [1] приводится проверка на действие главных растягивающих напряжений. Данное уравнение описывает огибающую Мора-Кулона (рис. 2), будучи продленной в область двуосного сжатия, данное условие может полностью заменить критерий Гениева по перевязанному сечению.

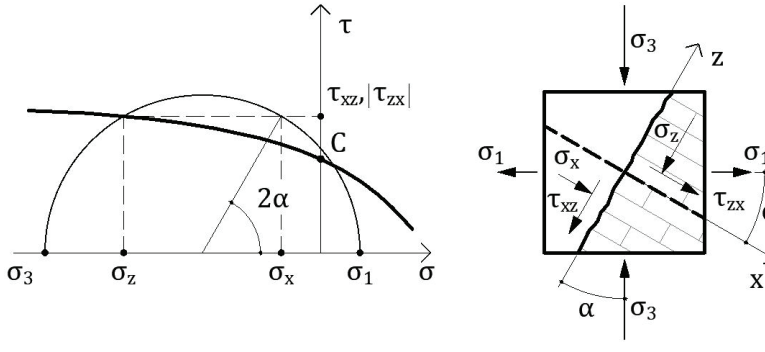


Рис. 2. Огибающая Мора-Кулона на рассматриваемых площадках сдвига

В качестве опасной площадки предлагается рассматривать площадку вдоль вертикальных швов кладки. В таком случае уравнение предельной кривой описывается уравнением:

$$\tau_{xz} = \sqrt{C\,(C - k\sigma_z)}, \tag{5}$$

где ,

$$\sigma_z = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\cos 2\alpha, \tag{6}$$

$$\tau_{zx} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\sin 2\alpha, \tag{7}$$

k – коэффициент надежности по нагрузке, принимаемый равным 0,9 [1].

Решая данную систему из трех уравнений относительно главных напряжений σ_1 и σ_3, получаем уравнение вида:

$$\sigma_1 = \sigma_3 - \frac{a}{b} + \frac{\sqrt{a^2 + 4bC\,(C - k\sigma_3)}}{b}, \tag{8}$$

где $a = kC(1 - \cos 2\alpha)$; $b = \sin^2 2\alpha$.

В терминах норм [1] значение C соответствует расчетному сопротивлению на действие главных растягивающих напряжений R_{tw}.

Используя результаты опытов Пейджа [3], построены точки в областях среза и аппроксимирующие кривые по уравнению (8), представленные на рис. 3. При этом сдвиг кладки при угле α = 22,5° соответствует срезу по перевязанному сечению, а при α = 67,5° – срезу по неперевязанному сечению (вдоль горизонтальных растворных швов). Кривые построены при значении *C* = 0,9 МПа.

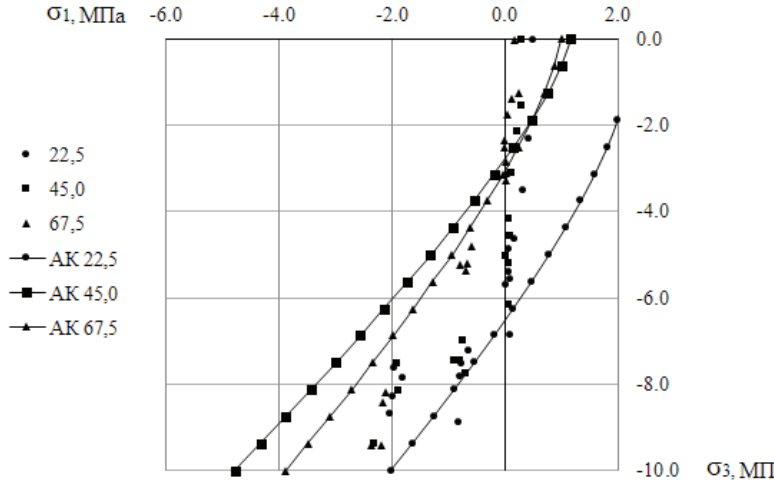


Рис. 3. Предельные точки по результатам опытов Пейджа и их аппроксимирующие кривые (АК) при различных углах наклона α главных напряжений σ_1 и σ_3 к горизонтальным растворным швам

В результате анализа графиков (рис. 3) можно сделать следующие выводы:

1. Качественно уравнение (8) хорошо описывает прочность кладки в области среза, поскольку наименьшая несущая способность возникает при угле α = 45,0°, а несущая способность при угле α = 22,5° превосходит несущую способность при α = 67,5°, поскольку соответствует сдвигу по перевязанному сечению.

2. Количественно наилучший результат достигается при срезе по перевязанному сечению (α = 22,5°) – опытные точки расположены по обе стороны от аппроксимирующей кривой.

3. Для выполнения инженерных расчетов по предложенному критерию достаточно нормативных характеристик кладки, приведенных в [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 15.13330.2020 Каменные и армокаменные : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. № 902/пр и. : актуализированная редакция СНиП II-22-81* : дата введения 1 июля 2021 г. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573741258 (дата обращения: 20.10.2021). – Текст : электронный.

2. Гениев, Г. А. Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов / Г. А. Гениев, А. С. Курбатов, Ф. А. Самедов – Москва : Интербук, 1993. – 187 с. : ил. ISBN 5-7664-0991-5. – Текст : непосредственный.

3. Page, A. W. The biaxial compressive strength of brick masonry / Page A. W. // Proc. Jnst. Civ. Eng. – 1981. – Part 2, 71, Sept. – P. 893–906.

LIKHACHYOVA Svetlana Yurevna, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; POZDEEV Maksim Leonidovich, student

THE CRITERION OF THE STRENGTH OF MASONRY UNDER THE ACTION OF SHEAR STRESSES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;
e-mail: lihsvetlana@yandex.ru, maksim.leon.pz@yandex.ru
Key words: masonry, biaxial compression, shear stress, strength criterion, strength figure, orthotropic material.

The article describes the criterion of strength of masonry in the area of the cut. The generalization of approaches to the description of the strength of masonry on the action of tangential stresses is carried out based on the results of experimental data and proposed author's and normative methods. The analysis of their applicability in engineering practice is carried out.

REFERENCES

1. SP 15.13330.2020 Kamennye i armokamennye konstruktsii [Stone and reinforced stone structures] : utverzhd. prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 30 dekabrya 2020 g. № 902/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-22-81*: data vved. 1 iyulya 2021 g. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573741258 (data obrascheniya: 20.10.2021).

2. Geniev G. A., Kurbatov A. S., Samedov F. A. Voprosy prochnosti i plastichnosti anizotropnykh materialov [Problems of strength and plasticity of anisotropic materials]. – Moscow: Interbuk, 1993. – 187 p.: il. - ISBN 5-7664-0991-5.

3. Page A.W. The biaxial compressive strength of brick masonry. Proc. Jnst. Civ. Eng., Part 2, 1981, 71, Sept. – P. 893–906.

© С. Ю. Лихачева, М. Л. Поздеев, 2022
Получено: 24.01.2022 г.

УДК 624.042.41+533.6.011

Н. Ю. ТРЯНИНА, канд. техн. наук, проф. кафедры теории сооружений и технической механики; Е. Н. ОБЛЕТОВ, аспирант, асс. кафедры теории сооружений и технической механики; И. А. САМОХВАЛОВ, ст. преп. кафедры строительных конструкций

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПАНЕЛЬНЫЕ АНТЕННЫ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;
эл. почта: tstm@nngasu.ru, evg.obletov@gmail.com
Ключевые слова: панельная антенна, ветровой поток, коэффициент лобового сопротивления, число Рейнольдса, эффективная площадь сопротивления.

Представлены результаты численного исследования влияния угла атаки ветровой нагрузки и числа Рейнольдса (Re) на изменение аэродинамических характеристик панельных антенн. Проведено сравнение нормативных и предложенных значений коэффициента лобового сопротивления. Предложена методика минимизации ветрового воздействия на опору, путем подбора антенн с хорошей обтекаемостью.

По мере расширения услуг беспроводной связи и повышения скорости обмена данными поставщики развертывают все больше базовых станций и увеличивают количество оборудования на них для удовлетворения растущего спроса. В результате антенные опоры (башни, мачты, триподы и т. д.) приближаются к пределу своей грузоподъемности. Поэтому важно оценить характер и величину влияния каждой антенны на общую загруженность сооружения.

Антенны базовых станций увеличивают нагрузку на опоры не только за счет их массы, но и за счет дополнительной ветровой нагрузки, которую они воспринимают. В зависимости от аэродинамических характеристик конкретной антенны ветровая нагрузка может значительно изменяться.

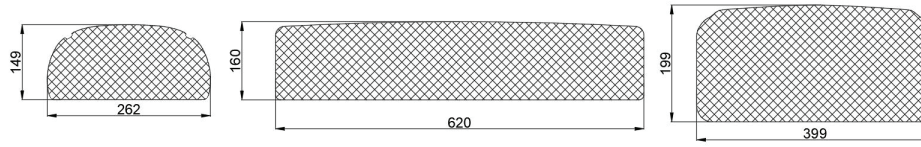
Согласно СП «Нагрузки и воздействия» [1] при определении компонентов основной ветровой нагрузки следует учитывать соответствующие значения аэродинамических коэффициентов, в том числе коэффициента лобового сопротивления (КЛС) c_x. Для призматических сооружений и конструктивных элементов (к которым можно отнести антенны) аэродинамический коэффициент представлен в приложении В.1.13 [1], он постоянный для всех форм и видов антенн и равен $c_x = 1{,}4$. Кроме того, в атласе [2] и работе [3] можно найти результаты продувки форм, близких с рядом антенн. Однако коэффициенты сопротивления, основанные на стандартах и применяемые для схожих форм, не могут учитывать уникальные профили антенн. Работа [3] посвящена исследованию форм летательных аппаратов и искомые коэффициенты представлены для скоростей, неактуальных для строительства.

Для ограниченного количества антенн коэффициенты c_x представлены в мануалах, но для большинства они вообще отсутствуют. Некоторые ведущие производители антенн предоставляют методику определения КЛС в аэродинамических трубах, но это не выполнимо при массовом строительстве базовых станций и растущем количестве различного рода панельных антенн. В тех работах, где описаны методики исследования с использованием *CFD*-технологий, определяемым параметром является максимально допустимая ветровая нагрузка на антенны, а не КЛС [4, 5, 6].

Поэтому данное исследование, направленное на определение уточненных аэродинамических характеристик антенн базовых станций, является несомненно актуальным, своевременным, отвечающим на запросы потребителей и проектировщиков, а также имеющим практическую ценность.

В данной работе представлены уточненные значения лобового c_x и поперечного c_y коэффициентов сопротивления для панельных антенн различной формы в зависимости от угла атаки и числа Рейнольдса.

Объектом исследования являются панельные приемо-передающие антенны: 742270 “*Kathrein*” (рис. 1*а*), *TQB-172718DEH-65Fv02* “*Tongyu Communication*” (рис. 1*б*) и *MB4B/MF/MF-65-16/18/18DE-IN* “*MOBI Antenna Technologies*” (рис. 1*в*). Ниже в качестве названия антенны используются названия фирм-производителей.



а *б* *в*

Рис. 1. Сечения исследуемых антенн: *а* – “*Kathrein*”, *б* – “*Tongyu*”, *в* – “*MOBI*”

Применяемый программный комплекс *SolidWorks Flow Simulation* позволяет решать комплекс задач, в том числе внешние задачи аэромеханики, используя при этом математическую модель Навье-Стокса движения вязкой по Ньютону жидкости [7].

Условия и начальные параметры задачи: тип задачи – внешняя; текучая среда – воздух; тип течения – ламинарное и турбулентное; число Рейнольдса изменяется в зависимости от угла атаки и скорости набегающего потока; шероховатость антенн – 20 мкм; атмосферное давление – 101 325 Па; температура – 293,2 К; плотность воздуха – 1,204 кг/м^3; скорость набегающего потока изменяется от 0,1 до 40 м/с.

Для решения поставленной задачи были созданы 39 моделей исследуемых антенн и подгружены в *SolidWorks*. Были назначены начальные условия, сгенерирована пространственная сетка с общим количеством контрольных объемов ~5,4×10^6 (из них 1,9×10^6 на границе раздела сред), задано параметрическое исследование, в котором переменный параметр – скорость набегающего потока. Общее количество проанализированных вариантов – 468.

Результаты исследования представлены на графиках зависимости (рис. 2), а распределение скорости потока, давления и картины обтекания представлены в графическом приложении (рис. 1–5 цв. вклейки).

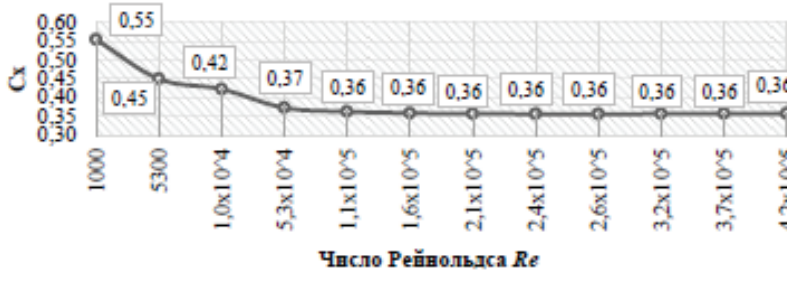


Рис. 2. Антенна “*Tongyu*”, угол атаки 90°. График зависимости КЛС от числа Рейнольдса

Как видно, с увеличением числа Рейнольдса происходит уменьшение КЛС, а затем стабилизация у одного значения. Такая же картина прослеживается и в остальных вариантах исследования. Коэффициент же поперечной силы c_y практически постоянен при выбранном диапазоне чисел Рейнольдса и в целом мало важен при сборе ветровой нагрузки и проектировании антенных опор.

Важным результатом исследования является получение зависимости коэффициента лобового сопротивления c_x от угла атаки модели антенны ветровыми потоками. Угол атаки 0° соответствует действию ветрового потока в лицевую плоскость антенны, а 180° – в тыльную. Шаг изменения угла атаки 15° (рис. 3). Искомые значения c_x представлены на графике (рис. 4).

К СТАТЬЕ Н. Ю. ТРЯНИНОЙ, Е. Н. ОБЛЕТОВА, И. А. САМОХВАЛОВА «АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПАНЕЛЬНЫЕ АНТЕННЫ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ»

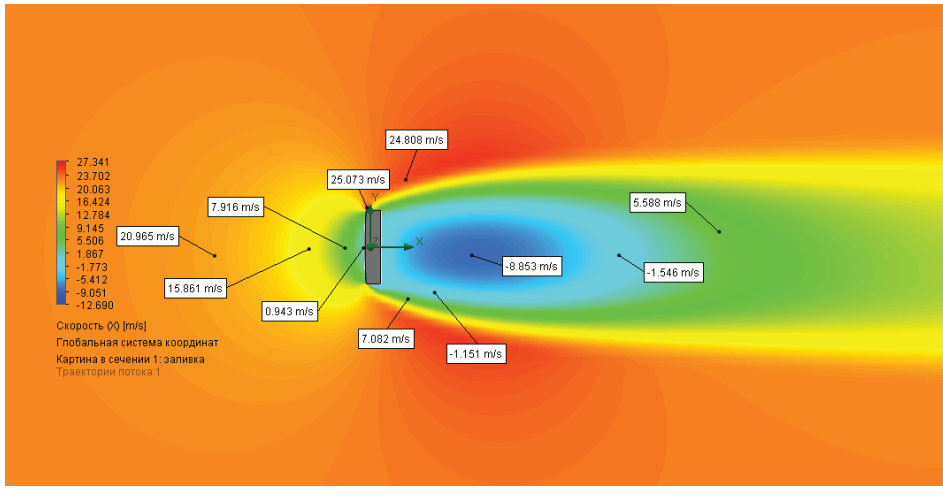


Рис. 1. Картина скорости потока около антенны “*Tongyu Communication*”. Угол атаки $\alpha = 0^{\circ}$. Скорость потока $v = 22{,}5$ м/с

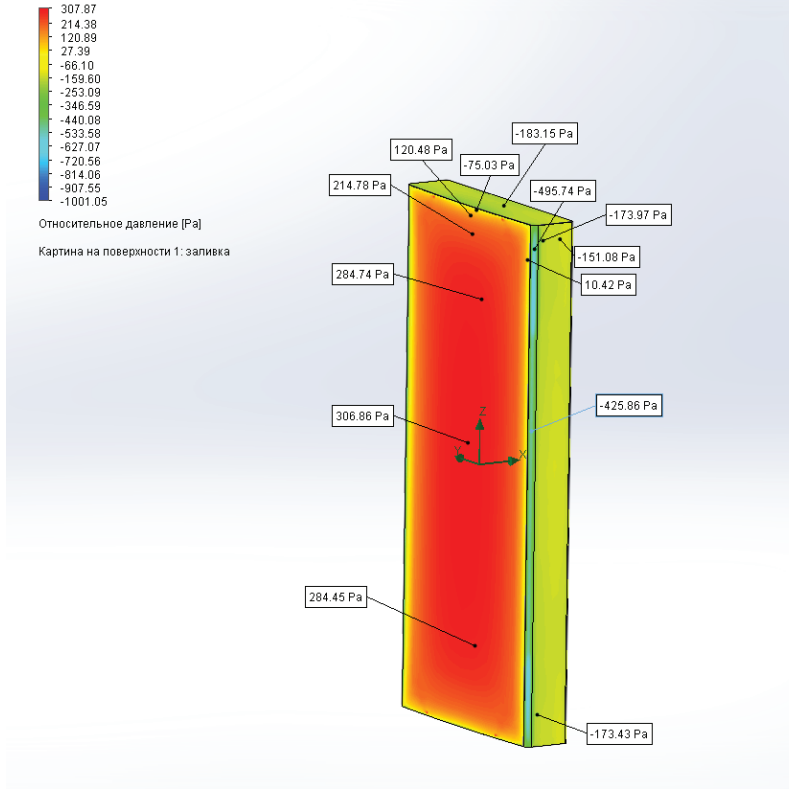


Рис. 2. Распределение относительного давления по поверхности антенны “*Tongyu Communication*”. Угол атаки $\alpha = 0^{\circ}$. Скорость потока $v = 22{,}5$ м/с

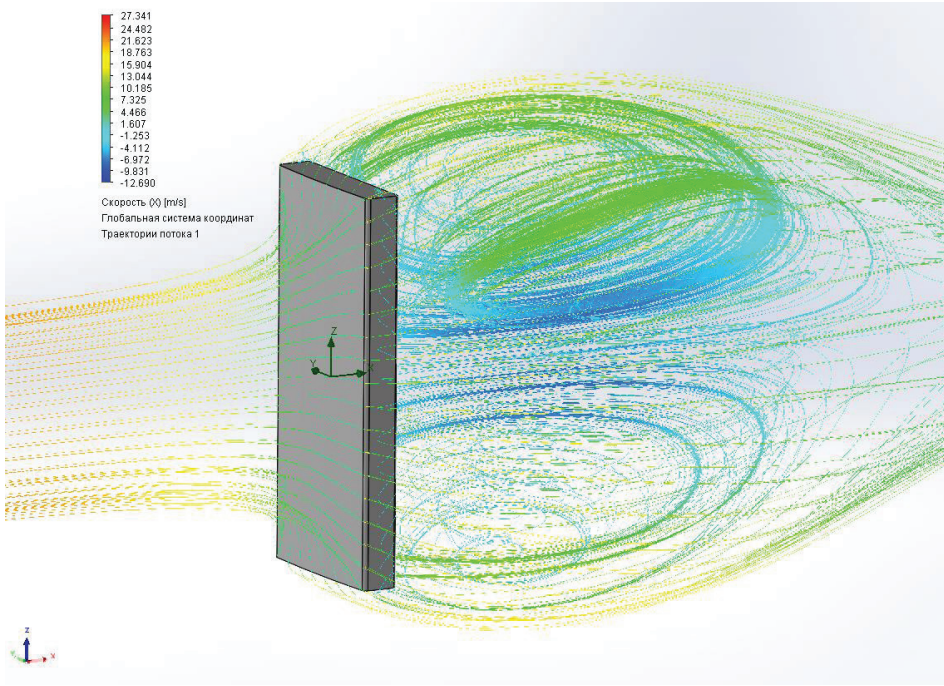


Рис. 3. Картина обтекания антенны “*Tongyu Communication*”. Угол атаки $\alpha = 0^{\circ}$. Скорость потока $v = 22{,}5$ м/с

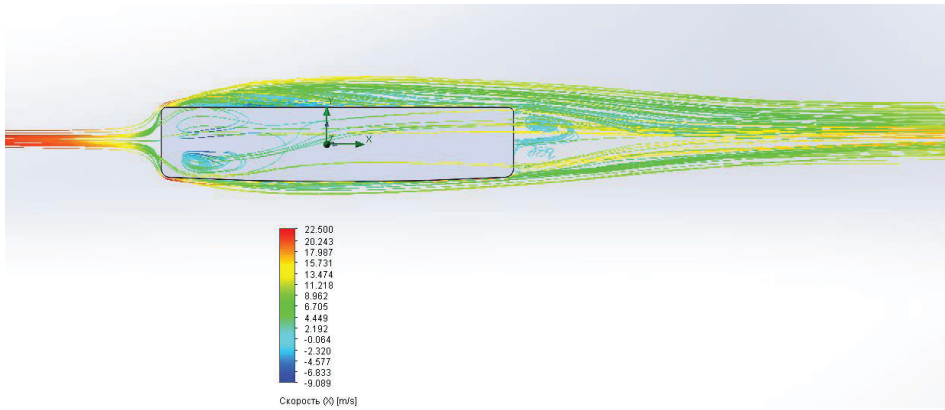


Рис. 4. Картина обтекания антенны “*Tongyu Communication*”. Угол атаки $\alpha = 90^{\circ}$. Скорость потока $v = 22{,}5$ м/с

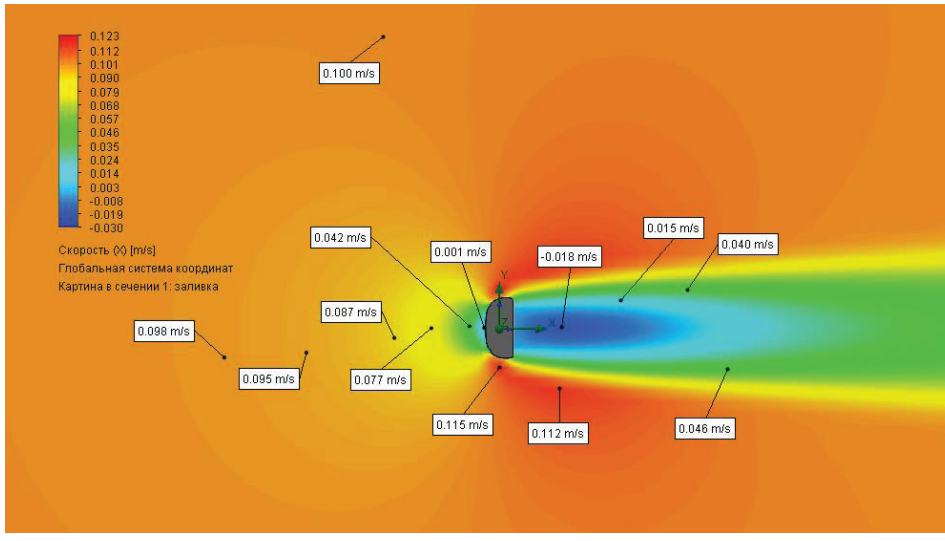


Рис. 5. Картина скорости потока около антенны “*Tongyu Communication*”. Угол атаки $\alpha = 0^{\circ}$. Скорость потока $v = 0{,}1$ м/с

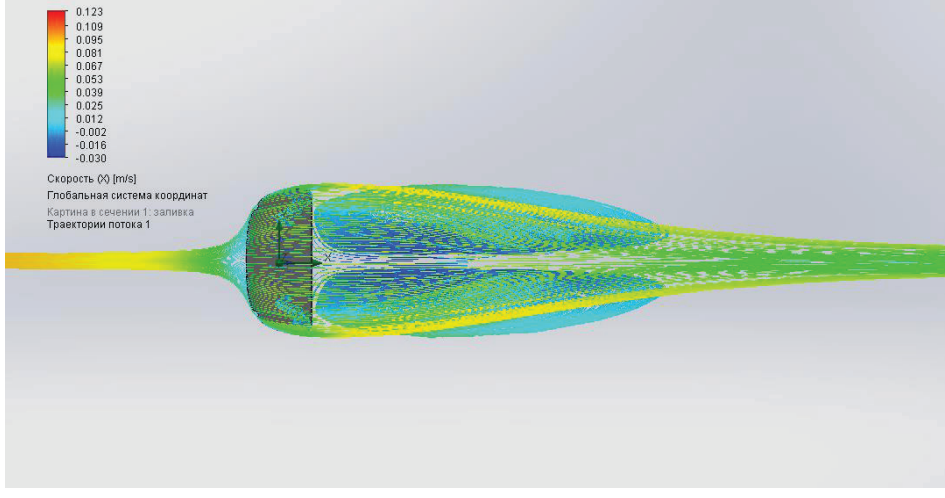


Рис. 6. Картина обтекания антенны “*Kathrein*”. Угол атаки $\alpha = 0^{\circ}$. Скорость потока $v = 0{,}1$ м/с

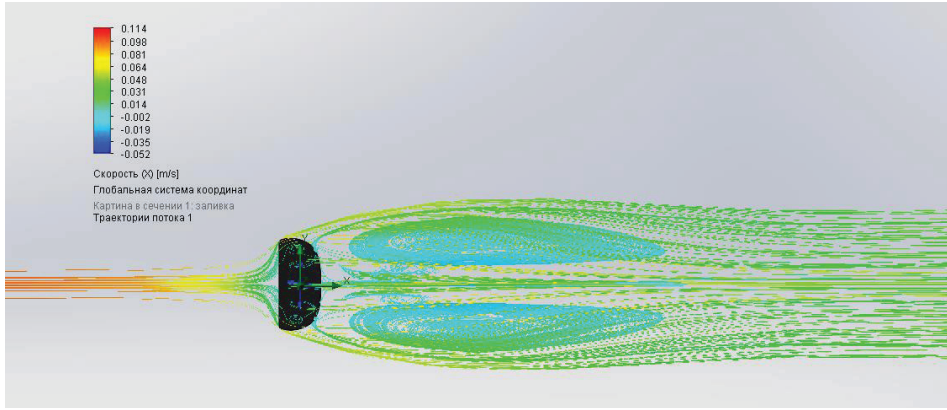


Рис. 7. Картина обтекания антенны “*Kathrein*”. Угол атаки $\alpha = 0^{\circ}$. Скорость потока $v = 0{,}1$ м/с

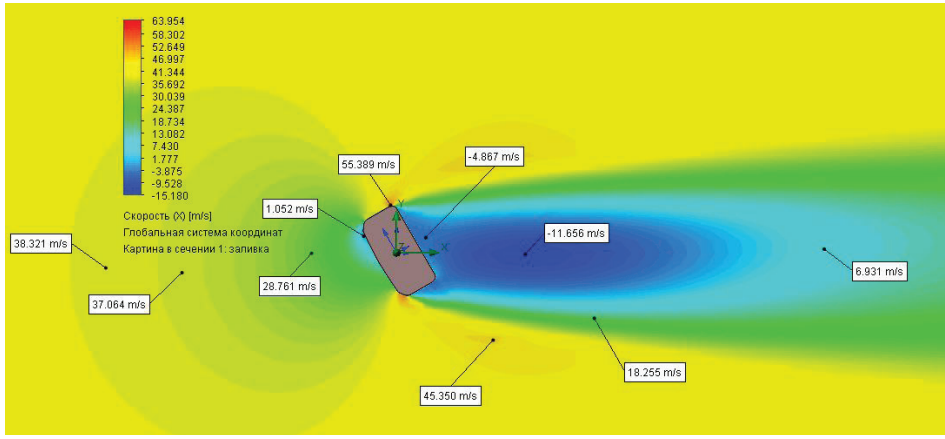


Рис. 8. Картина скорости потока около антенны “*MOBI*”. Угол атаки $\alpha = 30^{\circ}$. Скорость потока $v = 40$ м/с

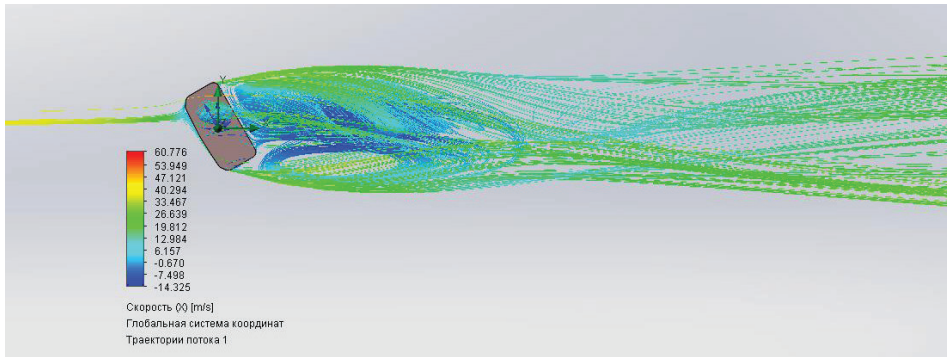


Рис. 9. Картина обтекания антенны “*MOBI*”. Угол атаки $\alpha = 30^{\circ}$. Скорость потока $v = 40$ м/с

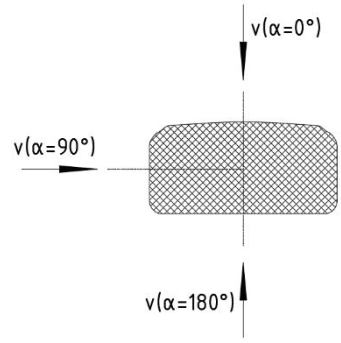


Рис. 3. Схема изменения направления ветрового воздействия *v*

Рис. 4. Антенна "*Kathrein*". График зависимости КЛС c_x от угла атаки при v = 0,1 м/с

Существенные изменения значения коэффициента лобового сопротивления c_x обусловлены изменением площади проекции и формой антенны в зависимости от направления ветра.

Наименьший c_x соответствует варианту ветровой нагрузки в ребро антенны, поскольку в этом случае возникает непротяженная отрывная зона, обусловленная незначительным отрывом пограничного слоя (рис. 3 цв. вклейки). Обратные процессы происходят при воздействии в тыльную часть антенны (рис. 5 цв. вклейки).

Для того чтобы определить, какой же c_x принимать для той или иной антенны, необходимо, во-первых, выбрать скорость при которой определяется искомый коэффициент, во-вторых, выбрать угол атаки, при котором антенна получает наибольшее нагружение.

При определении скорости предлагается использовать соответствующую скорость ветровых районов. Согласно п. 11.1.4 [1] нормативное значение ветрового давления определяется по формуле 11.3. Зная давление в конкретном ветровом районе, можно определить величину нормативной скорости v_{50}. Например, для I ветрового района v_{50} = 23,1 м/с.

Для выбора наихудшего варианта ветрового воздействия на антенну в зависимости от угла атаки предлагается ввести коэффициент *WCA* (*Worst Case Attack*), определяемый по формуле:

$$WCA = b \cdot c_x, \quad (1)$$

где b – ширина проекции антенны, c_x – коэффициент лобового сопротивления в зависимости от угла атаки.

Таблица 1

Результаты определения коэффициентов *WCA* и *EDA* для антенны “*Tongyu*” при *v* = 22,5 м/с

Угол атаки α, °	c_x	Ширина проекции *b*, м	*WCA*	Высота *h*, м	Площадь проекции *A*, м²	*EDA*, м
0	0,96	0,62	0,595	1,36	0,843	0,809
15	1,0	0,625	**0,625**	-	0,850	0,850
30	0,91	0,593	0,540	-	0,806	0,734
45	0,9	0,515	0,464	-	0,700	0,630
60	0,78	0,402	0,314	-	0,547	0,426
75	0,76	0,255	0,194	-	0,347	0,264
90	0,36	0,16	0,058	-	0,218	0,078
105	0,71	0,255	0,181	-	0,347	0,246
120	0,78	0,402	0,314	-	0,547	0,426
135	0,91	0,503	0,458	-	0,684	0,623
150	0,93	0,593	0,551	-	0,806	0,750
165	1,04	0,625	0,650	-	0,850	0,884
180	1,14	0,62	**0,707**	-	0,843	**0,961**

Наибольший коэффициент *WCA* соответствует углу атаки 180 ° и равен 0,707 м. Следовательно, принимаем c_x = 1,14 для антенны *TQB-172718DEH-65Fv02* “*Tongyu Communication*”.

Использование наибольшего полученного c_x корректно не для всех случаев, например, при размещении антенны на фасаде здания ветер попросту не воздействует на тыльную плоскость антенны, а поиск наибольшего c_x ограничивается углами атаки 0–90°. В этом случае коэффициент *WCA* = 0,625, а c_x = 1,0, а при сборе ветровой нагрузки полученный коэффициент следует умножать на соответствующую площадь проекции антенны (табл. 1).

В автомобильной и авиационной промышленности эквивалентная площадь пластины *EFA* (*Equivalent Flat Plate Area*) используется для сравнения аэродинамической эффективности одного автомобиля или самолета с другой. В телекоммуникациях *EFA* может использоваться таким же образом для сравнения форм антенн. Кроме того, возможно использовать *EFA* для описания грузоподъемности конкретной башни. *EFA* для антенны представляет собой площадь гипотетической плоской поверхности, перпендикулярной потоку текучей среды, которая создает то же сопротивление, что и анализируемая антенна [4, 8]:

$$0{,}5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A_a \cdot c_x^{\,a} = 0{,}5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A_{fp} \cdot c_x^{\,fp}, \qquad (2)$$

где A_a – площадь проекции антенны, $c_x^{\,a}$ – коэффициент лобового сопротивления антенны, A_{fp} – площадь эквивалентной плоской пластины, $c_x^{\,fp}$ – коэффициент лобового сопротивления эквивалентной плоской пластины.

Более общепринятой практикой является предположение, что эквивалентная плоская пластина имеет коэффициент сопротивления $c_x^{\,fp}$ = 1,0, поэтому эквивалентная площадь плоской пластины равна коэффициенту сопротивления антенны, умноженному на площадь проекции антенны, перпендикулярную направлению ветра [8]:

$$EDA = A_a \cdot c_x^{\,a}, \quad (3)$$

где *EDA* (*Effective Drag Area*) – эффективная площадь сопротивления.

Сравним исследуемые антенны по критерию *EDA* (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение *EDA* антенн при угле атаки α = 180° и *v* = 22,5 м/с

Антенна	c_x	Ширина проекции *b*, м	Высота *h*, м	Площадь проекции *A*, м^2	*EDA*, м^2
Kathrein	1,07	0,262	1,49	0,39	0,42
Tongyu	1,14	0,62	1,36	0,843	0,96
Mobi	1,0	0,399	2,0	0,798	0,80

Чем выше удобообтекаемость объекта и меньше площадь проекции, тем меньше эффективная площадь сопротивления. Очевидно, что выгодной с точки зрения минимизации ветрового воздействия на опору является антенна *Kathrein*.

В заключение можно отметить, что найденные значения коэффициентов сопротивления c_x панельных антенн варьируются в широком диапазоне (достигают 3-кратного изменения) в зависимости от угла атаки ветровой нагрузки. Коэффициент поперечной силы c_y практически постоянен при выбранном диапазоне чисел Рейнольдса.

С увеличением числа Рейнольдса происходит уменьшение КЛС, а затем стабилизация у одного значения.

Наибольший полученный КЛС в исследовании c_x = 1,16, что в 1,2 раза меньше, чем предлагаемое значение 1,4 в СП 20 Приложение В.1.13 [1] для конструкционных профилей. Использование коэффициентов сопротивления для схожих форм может привести к переоценке или недооценке истинных ветровых нагрузок.

Возможность минимизировать ветровую нагрузку на антенную опору – ключевой фактор, помогающий операторам беспроводной связи и владельцам опор снизить стоимость аренды, обеспечивая надежность эксплуатации и качество обслуживания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 20.13330.2016. – Нагрузки и воздействия : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 3 декабря 2016 года № 891/пр : актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85* : дата введения 2017-06-04 : [редакция от 28 января 2019 года]. – URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=STR;n=21021#0494065318720567 (дата обращения : 15.03.2021). – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф. – Текст : электронный.

2. Березин, М. А. Атлас аэродинамических характеристик строительных конструкций / М. А Березин, В. В. Катюшин. – Новосибирск : Олден-Полиграфия, 2003 – 130 с. – ISBN 5-94905-002-9. – Текст : непосредственный.

3. Петров, К. П. Аэродинамика тел простейших форм / К. П. Петров. – Москва : Факториал, 1998. – 432 с. – ISBN 5-88688-014-3. – Текст : непосредственный.

4. Ferris, M. Wind Loading On Base Station Antennas / M. Ferris. – URL: https://www.cosconor.fr/GSM/Divers/Equipment/Andrew/White%20papers/Wind%20loading.pdf (date of treatment: 01.11.2021).

5. Wind Load Test and Calculation of the Base Station Antenna. – URL: https://carrier.huawei.com/~/media/CNBGV2/download/products/wireless-network/antenna/White-Paper-for-

the-Wind-Load-Test.pdf (date of treatment: 24.10.2021).

6. Wind load testing methodology for measuring drag coefficient of aerodynamically efficient base station antenna profiles. – URL: https://www.surfboard.com/globalassets/digizuite/3502-wind-load-testing-for aerodynamically-efficient-bsa-wp-112534-en.pdf (date of treatment: 27.10.2021).

7. Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation : монография / А. А. Алямовский. – Москва : ДМК Пресс, 2010. – 464 с. – ISBN 978-5-94074-586-0. – Текст : непосредственный.

8. Engineering Standard: TIA-222-G. Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas : revision of TIA/EIA-222-F. – Arlington (U.S.A.) : Telecommunications Industry Association Standards and Technology Department, 2006 (date of treatment: 27.10.2021). .

TRYANINA Nadezhda Yurevna, candidate of technical sciences, professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; OBLETOV Evgeny Nikolaevich, postgraduate student, assistant of the chair of theory of structures and technical mechanics; SAMOKHVALOV Ivan Aleksandrovich, senior teacher of the chair of building structures

AERODYNAMIC IMPACT ON PANEL ANTENNAS OF BASE STATIONS

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia.
Tel.: +7 (831) 430-54-96; e-mail: tstm@nngasu.ru; evg.obletov@gmail.com
Key words: panel antenna, wind flow, drag coefficient, Reynolds number, effective drag area.

The article presents the results of a numerical study of the influence of the angle of attack of the wind load and the Reynolds number (Re) on the change in the aerodynamic characteristics of panel antennas. Comparison of the standard and proposed values of the drag coefficient is carried out. A technique is proposed to minimize the wind effect on the support by selecting antennas with good streamlining.

REFERENCES

1. SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya [Loads and impacts] : svod pravil : izdanie ofitsialnoe : utverzhdyon i vvedyon v deystvie Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilischnokommunalnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 3 dekabrya 2016 roda № 891/pr : data vvedeniya 2017-06-04 : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85*: [red. ot 28 yanvarya 2019 goda]. – URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=STR;n=21021#0494065318720567 (data obrascheniya : 15.03.2021). – Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf.

2. Berezin M. A., Katyushin V. V. Atlas aerodinamicheskikh kharakteristik stroitelnykh konstruktsiy [Atlas of aerodynamic characteristics of building structures]. Novosibirsk: Olden-Poligrafiya, 2003. – 130 p. ISBN 5-94905-002-9.

3. Petrov K. P. Aerodinamika tel prosteyshikh form [Aerodynamics of bodies of the simplest forms]. Moscow : Faktorial, 1998. - 432 p. ISBN 5-88688-014-3.

4. Ferris M. Wind Loading On Base Station Antennas / M. Ferris, Andrew Solutions CommScope [Electronic resource]. – URL: https://www.cosconor.fr/GSM/Divers/Equipment/Andrew/White%20papers/Wind%20loading.pdf (date of treatment: 01.11.2021).

5. Wind Load Test and Calculation of the Base Station Antenna. – URL: https://carrier.huawei.com/~/media/CNBGV2/download/products/wireless-network/antenna/White-Paper-for-the-Wind-Load-Test.pdf (date of treatment: 24.10.2021).

6. Wind load testing methodology for measuring drag coefficient of aerodynamically

efficient base station antenna profiles. – URL: https://www.surfboard.com/globalassets/digizuite/3502-wind-load-testing-for aerodynamically-efficient-bsa-wp-112534-en.pdf (date of treatment: 27.10.2021).

7. Alyamovsky A. A. Inzhenernye raschyoty v SolidWorks Simulation [Engineering calculations in the SolidWorks Simulation]: monogr. Moscow: DMK Press, 2010, 464 p. ISBN 978-5-94074-586-0.

8. Engineering Standard: TIA-222-G. Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas. Revision of TIA/EIA-222-F. – Arlington (U.S.A.): Telecommunications Industry Association Standards and Technology Department, 2006 (date of treatment: 27.10.2021).

© Н. Ю. Трянина, Е. Н. Облетов, И. А. Самохвалов, 2022
Получено: 25.11.2021 г.

УДК 69.059.2:726.5(470.341-25)

Ю. С. ГРИГОРЬЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры; В. В. ФАТЕЕВ, ст. преп. кафедры архитектуры

ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ЦЕРКВИ РОЖДЕСТВА ИОАННА ПРЕДТЕЧИ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ

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, valeriy-fateev@rambler.ru
Ключевые слова: здание церкви, строительные конструкции, реконструкция, ретроспективный анализ.

Приведены результаты обследований строительных конструкций и результаты ретроспективного анализа процесса реконструкции здания церкви Рождества Иоанна Предтечи в Нижнем Новгороде.

Обследование здания церкви Рождества Иоанна Предтечи, расположенной у площади Народного Единства, на подножии Кремлевского склона в Нижнем Новгороде (рис. 1–4), было выполнено авторами в 2002 году в связи с решением о необходимости проведения комплексных работ по восстановлению архитектурного ансамбля церкви, получившего с течением времени значительные повреждения в результате природных и антропогенных воздействий [1, 2].

Первоначально на этом месте была построена деревянная церковь, первые упоминания о которой относятся к XV веку. В 1683 году, вместо сгоревшей деревянной церкви, был выстроен новый 5-главый каменный храм, с алтарем, трапезной и колокольней, а в 1815 году (спустя 132 года) к стенам северного фасада был пристроен вытянутый вдоль здания каменный двухэтажный объем, в нижней части которого располагались торговые лавки, сдававшиеся в аренду, а в верхней части размещался Святодуховской каменный придельный храм. В 1883 году по «высочайшему повелению» Николая I придельный храм снесли, и вместо него над торговыми лавками устроили террасу (рис. 4, 5).

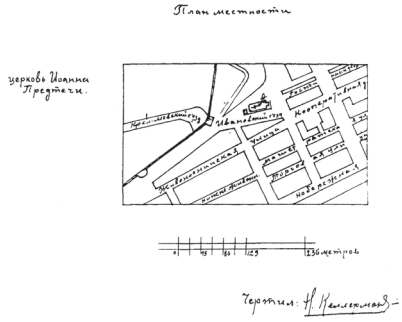


Рис. 1. Схема расположения церкви Рождества Иоанна Предтечи, 1924 год [3]

Рис. 2. Церковь Рождества Иоанна Предтечи. Вид с Кремлевского холма. Издание фотографа М. П. Дмитриева, 1911 год

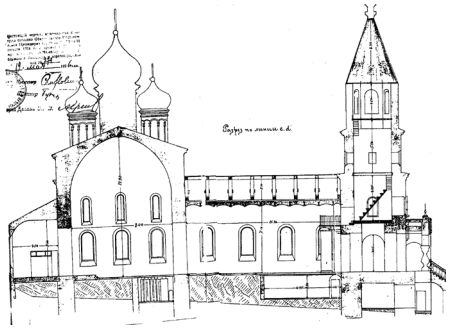


Рис. 3. Продольный разрез здания церкви Рождества Иоанна Предтечи, 1924 год [3]

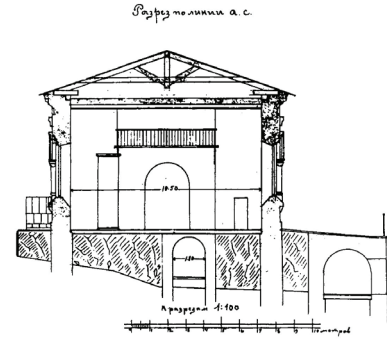


Рис. 4. Поперечный разрез трапезной церкви Рождества Иоанна Предтечи, 1924 год [4]

В 1871–1872 годах колокольня, находившаяся в аварийном состоянии, была разобрана и выстроена заново (рис. 5).

В 1882 году была построена Царская часовня в память мученической кончины императора Александра II (рис. 5–7 и рис. 1 цв. вклейки).

В 1885–1886 годах была выстроена заново находившаяся в аварийном состоянии с трещинами в стенах и в своде трапезная храма, которая до перестройки, почти квадратная в плане, отстояла от колокольни на 4 метра. В результате перестройки западная стена трапезной была разобрана, а угловые стены-вставки, выложенные заново и продленные к западу, охватили колокольню с южной и северной сторон (рис. 5 и рис. 11–13 цв. вклейки). В дополнение к террасе, расположенной над торговыми лавками, была устроена терраса с западной стороны с большой открытой лестницей перед западным входом в храм (рис. 5 и рис. 1, 2 цв. вклейки). Тогда же в 1886 году на месте сторожки, построенной в 1874 году, к церкви была пристроена новая каменная сторожка (рис. 5, 6–8 и рис. 1, 14–17 цв. вклейки).

К СТАТЬЕ Ю. С. ГРИГОРЬЕВА, В. В. ФАТЕЕВА «ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ЦЕРКВИ РОЖДЕСТВА ИОАННА ПРЕДТЕЧИ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ»

Рис. 1. Западный фасад церкви. Слева – Царская часовня, справа – сторожка, 2002 год

Рис. 2. Крыльцо у главного входа в здание церкви. Физический износ крыльца 100 %, 2002 год

Рис. 3. Южный фасад церкви. Над портиком, расположеным над входом, над частью трапезной и над алтарем – новая кровля из оцинкованной стали. Над колокольней, над черверикoм, над частью трапезной и над пристроем к ней, а также над сторожкой и Царской часовней – старая кровля, большая часть которой в неудовлетворительном состоянии, 2002 год

Рис. 4. Проход (терраса) между откосом и южной стеной здания аккумулирует дождевую и талую воду, что приводит к насыщению стены водой, ее разрушению и образованию плесени внутри здания (фото на рис. 6, 7)

Рис. 5. Стена северного фасада здания. Вместо разобранного в средине XX века торгового ряда вдоль стены насыпан земляной откос с разрушенной по его верху отмосткой

Рис. 6. Разрушение плесенью (грибами-деструкторами) штукатурки откоса оконного проема в северной стене трапезной, 2002 год

Рис. 7. Разрушение плесенью штукатурки цокольной (подоконной части) северной стены трапезной, 2002 год

Рис. 8. Разрушение водосточных труб привело к интенсивному замачиванию стены южного фасада четверика храма в месте примыкания к нему алтаря (рис. 9, 10)

Рис. 9. Температурно-влажностное разрушение (расслоение) кирпичной кладки стены северного фасада четверика храма (рис. 8, 10)

Рис. 10. Температурно-влажное разрушение штукатурки и кирпичной кладки стены северного фасада четверика храма (рис. 8, 9)

Рис. 11. Трещины осадочного происхождения в угловых стенах-вставках северного фасада трапезной в месте ее примыкания к портику главного входа в храм (см. рис. 12)

Рис. 12. Угловая стена-вставка северной стены трапезной с осадочными трещинами в месте ее примыкания к портику главного входа в храм (см. рис. 11)

Рис. 13. Угловая стена-вставка южной стены трапезной с осадочными трещинами в месте ее примыкания к портику главного входа в храм

Рис. 14. Сторожка Предтеченского храма с трещинами в стенах осадочного происхождения

Рис. 15. Вход в дренажную галерею окского склона, расположенный в правой наружной стене сторожки (см. фото на рис. 14)

Рис. 16. Дренажная галерея. Вид из цокольной части сторожки

Рис. 17. Сток воды из дренажной галереи в полуразрушенную водоотводящую трубу ливневой канализации

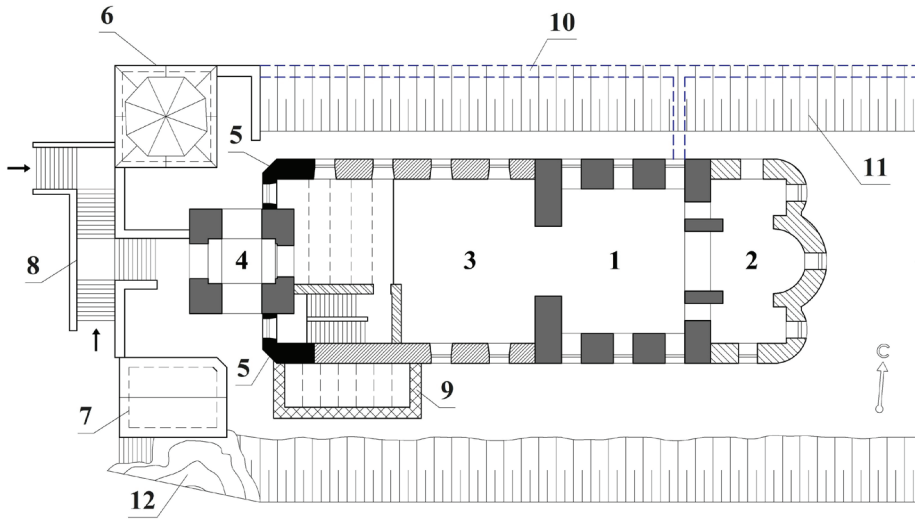


Рис. 5. Комплекс сооружений церкви Рождества Иоанна Предтечи: *1* – четверик; *2* – алтарь; *3* – трапезная; *4* – колокольня; *5* – угловые вставки, выполненные в 1885 году при восстановлнии трапезной; *6* – царская часовня; *7* – сторожка; *8* – крыльцо; *9* – пристрой середины двадцатого века; *10* – контур разобранного пристроя (торговые лавки и придельный храм); *11*– грунтовый откос; *12* – оплывина

В 1889–1902 годах был выполнен капитальный ремонт главной части храма – четверика, находившегося в ветхом состоянии, с восстановлением его южной стены. Одновременно был разобран и выстроен заново находившийся в аварийном состоянии алтарь.

Таким образом, церковь, построенная в 1683 году, просуществовала в первоначальном виде до 1871 года (188 лет) и затем, в течение 31 года (с 1871 по 1902 год) была выстроена практически заново.

Грунтовое основание перестроенных: колокольни, трапезной, четверика и алтаря за 188 лет (к 1871 году) было опрессовано (уплотнено) весом строительных конструкций, возведенных в 1683 году. Исключение составляло лишь грунтовое основание впервые пристроенных в 1885–1886 годах угловых стен-вставок, удлинивших продольные стены трапезной и охвативших колокольню с южной и северной стороны, а также основание крыльца, пристроенного к западному входу в храм.

В 1937 году Предтеченская церковь была закрыта, а в 1938 году постановлением Президиума Горсовета города Горького здание было передано на баланс областного совета ОСОАВИАХИМ. С целью приспособления здания церкви под спортивно-технический клуб был выполнен проект перестройки, в результате которой в конце 1930-х – начале 1940-х годов все сооружения архитектурного ансамбля Предтеченской церкви были изменены до неузнаваемости (рис. 6 и рис. 1 цв. вклейки). Так, вместо разобранной колокольни был устроен тамбур с большой открытой террасой с четырехколонным портиком над ней. Здание храма было разделено на 2 этажа новым перекрытием, при этом были заложены старые и пробиты новые оконные проемы в северной и южной стенах трапезной, что привело к существеному ослаблению ее стен.

В начале 90-х годов XX века здание было возвращено Нижегородской епархии, и в 1994 году в храме возобновились богослужения.

Обследованиями строительных конструкций, выполненными сотрудниками ННГАСУ, было установлено, что стены храма, не защищенные от воздействия дождевой и талой воды, разрушались главным образом в результате климатических температурно-влажностных воздействий (рис. 2–10 цв. вклейки), возникавших из-за того, что к стенам церкви со стороны кремлевского склона и с кровли самой церкви, имеющей большую водосборную площадь, стекало большое количество дождевой и талой воды, отведение которой от здания не было организовано должным образом. Пониженные и замкнутые участки территории аккумулировали дождевую и талую воду, способствуя таким образом ее инфильтрации в грунтовое основание, а также насыщению водой конструкций фундаментов и цокольной части стен.

Рис. 6. Здание церкви Рождества Иоанна Предтечи, приспособленное под клуб ОСОАВИАХИМ. Середина XX века

Рис. 7. Царская часовня. Середина XX века

Рис. 8. Сторожка. Середина XX века

Этому способствовали также: 1) разрушенная отмостка по наружному периметру здания; 2) отсутствие по контуру отмостки водосборных лотков-перехватчиков, отводящих воду с участка; 3) строительные материалы, складировав-

шиеся у южной стены здания, способствовавшие активному задержанию и накоплению снега; 4) свалки грунта, строительного и бытового мусора у южной стены сторожки, препятствовавшие отведению поверхностной воды от стен храма; 5) оползневое тело (оплывина) у южной стены сторожки, затрудняющее сток воды с террасы у южной стены церкви; 6) неудовлетворительное состояние как старой, так и обновленной кровли, а также водосточных труб, подоконных и карнизных сливов; 7) отсутствие гидроизоляции в стенах и в конструкциях фундаментов; 8) неудовлетворительное состояние конструкций отвода воды из дренажной штольни (рис. 15–17 цв. вклейки).

Неудовлетворительное состояние кровли храма и водосточных труб также привело к систематическому замачиванию и последующему интенсивному разрушению деревянных конструкций крыши, конструкций перекрытий, кирпичной кладки стен здания.

Отсутствие гидроизоляции в фундаментных и стеновых конструкциях явилось причиной повышенной влажности кладки стен и, как следствие, причиной разрушения штукатурки на внутренней поверхности стен грибами-деструкторами (рис. 6, 7 цв. вклейки).

В стенах трапезной на участках их примыкания к колокольне были обнаружены трещины, рассекающие стены по всей высоте, причиной образования которых стала осадка грунтового основания под угловыми вставками, выполненными в 1885–1886 годах при восстановлении трапезной (рис. 11–13 цв. вклейки). Дело в том, что значительные по величине осадки грунтового основания, вследствие которых происходили деформации и разрушение строительных конструкций церкви в течение первых 188 лет ее существования, к 1871 году закончились, а угловые стены-вставки между трапезной и колокольней, построенные в 1885–1886 годах на неопрессованных грунтах и никогда не перестраивавшиеся (рис. 5) из-за значительной осадки грунтового основания под ними, стали деформироваться и разрушаться (рис. 11–13 цв. вклейки).

Дополнительными причинами значительной по величине осадки угловых вставок стен трапезной являлись: 1) разрушение лучковой перемычки над большим проемом в цокольной части северной стены (рис. 11 цв. вклейки); 2) влияние на грунтовое основание южной вставки дополнительной нагрузки от веса каменного пристроя, возведенного в середине XX века (рис. 5 и рис. 2 цв. вклейки).

По результатам выполненных обследований были предложены мероприятия по обеспечению нормальных условий эксплуатации зданий храма: 1) устройство подпорной стенки, удерживающей от перемещений склон с южной стороны храма; 2) разборка пристроя у южной стены храма; 3) планировка территории, примыкающей к зданию храма; 4) защита подземной части здания от грунтовых вод и капиллярной влаги устройством гидроизоляции; 5) усиление угловых стен-вставок трапезной, примыкающих к колокольне, стальными тяжами и скобами; 6) замена разрушенных деревянных конструкций; 6) устройство кровли, водосточных труб и отмостки, защищающих здание от воздействия атмосферных осадков и поверхностной воды; 7) ремонт конструкций, отводящих воду из дренажной штольни, выходящей в помещение сторожки (рис. 14–17 цв. вклейки).

Исследования, некоторые результаты которых изложены в настоящей работе, были выполнены в 2002 году по поручению ректора ННГАСУ, академика В. В. Найденко, с благословения настоятеля храма Рождества Иоанна Предтечи, протоиерея Александра Лехно и при содействии профессора, заместителя заведующего международной кафедрой ЮНЕСКО ННГАСУ Т. П. Виноградовой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпов, Б. Н. Борьба с оползнями в условиях города Горького / Б. Н. Карпов. – Горький : Волго-Вятское кн. изд-во, 1971. – 166 с. – Текст : непосредственный.

2. Карпов, Б. Н. Инженерная защита города Горького. – Горький : Волго-Вятское кн. изд-во, 1979. – 191 с. – Текст : непосредственный.

3. Центральный архив Нижегородской области (ЦАНО). Фонд 1689. Опись 2. Дело 779, Листы 1-2. – Продольный разрез. – Текст : непосредственный.

4. Центральный архив Нижегородской области (ЦАНО). Фонд 1689. Опись 2. Дело 779, Лист 5. – Поперечный разрез. – Текст : непосредственный.

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

REASONS FOR THE DESTRUCTION OF BUILDING STRUCTURES OF THE CHURCH OF THE NATIVITY OF JOHN THE BAPTIST IN NIZHNY NOVGOROD

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: church building, building structures, reconstruction, retrospective analysis.

The article presents the results of surveys of building structures and the results of retrospective analysis of the reconstruction process of the Church of the Nativity of John the Baptist in Nizhny Novgorod.

REFERENCES

1. Karpov B. N. Borba s opolznyami v usloviyakh goroda Gorkogo [Fighting landslides in the conditions of the city of Gorky]. – Gorky: Volgo-Vyatskoe kn. izd-vo, 1971. – 166 p.

2. Karpov B. N. Inzhenernaya zaschita goroda Gorkogo [Engineering protection of the city of Gorky]. – Gorky: Volgo-Vyatskoe kn. izd-vo, 1979. – 191 p.

3. Tsentralny arkhiv Nizhegor. obl. (TsANO) [Central archives of the Nizhny Novgorod region]. F. 1689. Op. 2. D. 779. L. 1-2. – Prodolny razrez.

4. Tsentralny arkhiv Nizhegor. obl. (TsANO) [Central archives of the Nizhny Novgorod region]. F. 1689. Op. 2. D. 779. L. 5. – Poperechny razrez.

© Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев, 2022
Получено: 27.12.2021 г.

УДК 624.154.1

Ю. С. ГРИГОРЬЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры; В. В. ФАТЕЕВ, ст. преп. кафедры архитектуры

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ВИСЯЧЕЙ ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ СВАИ В МАССИВЕ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

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, valeriy-fateev@rambler.ru
Ключевые слова: компьютерная модель, висячая призматическая свая, грунтовый массив, вертикальная и горизонтальная нагрузки, верификация, валидация.

Приведены результаты разработки и апробации компьютерной модели работы висячей призматической сваи в массиве глинистого грунта с использованием программного комплекса “MIDAS GTS NX”, предназначенной для исследования совместной работы свайных фундаментов различных типов с грунтовым основанием.

Программные комплексы *PLAXIS, ZSOIL, FEMmodels, MIDAS GTS* и другие существенно расширяют возможности специалистов в исследованиях работы фундаментных конструкций, позволяют существенно расширить объем исследований по анализу эффективности использования различных типов фундаментов и выбору из них наиболее рационального варианта, особенно при необходимости их устройства в сложных инженерно-геологических условиях, и вместе с тем позволяют значительно сократить объем натурных испытаний, которые могут быть выполнены лишь для подтверждения правильности выбранных компьютерных моделей фундаментов и их конструктивных решений. Вместе с тем ошибки, допущенные при разработке компьютерных моделей фундаментов и геомеханических моделей грунтовых оснований, используемых в дальнейшем для обоснования проектных решений, могут привести к деформациям зданий и сооружений и даже к их разрушению [1], поэтому в такого рода исследованиях на первый план выходит необходимость апробации компьютерных моделей с использованием процедур верификации[1] и валидации[2], разработанных ведущими мировыми организациями в области инженерных расчетов *NAFEMS*[3] и *ASME*[4] (рис. 1) [2, 3]. В качестве критериев верификации разработанной авторами компьютерной модели использовались результаты натурных испытаний свай в полевых условиях при действии на сваи вертикальных вдавливающих, выдергивающих и горизонтальных нагрузок.

[1]Верификация (verification — проверка, контроль) – это процесс, позволяющий получить ответ на вопросы: «Сделана ли геомеханическая модель правильно? Реализованы ли в модели все необходимые функции?».
[2]Валидация (validation — придание законной силы) – это процесс определения степени соответствия расчетной модели реальному физическому объекту в рамках области планируемого использования данной модели. Результаты валидации позволяют дать ответ на вопрос: «Правильно ли реализована функциональность разработанной модели?».
[3]International Association forthe Engineering Modeling, Analysis and Simulation Community.
[4]American Society of Mechanical Engineers.

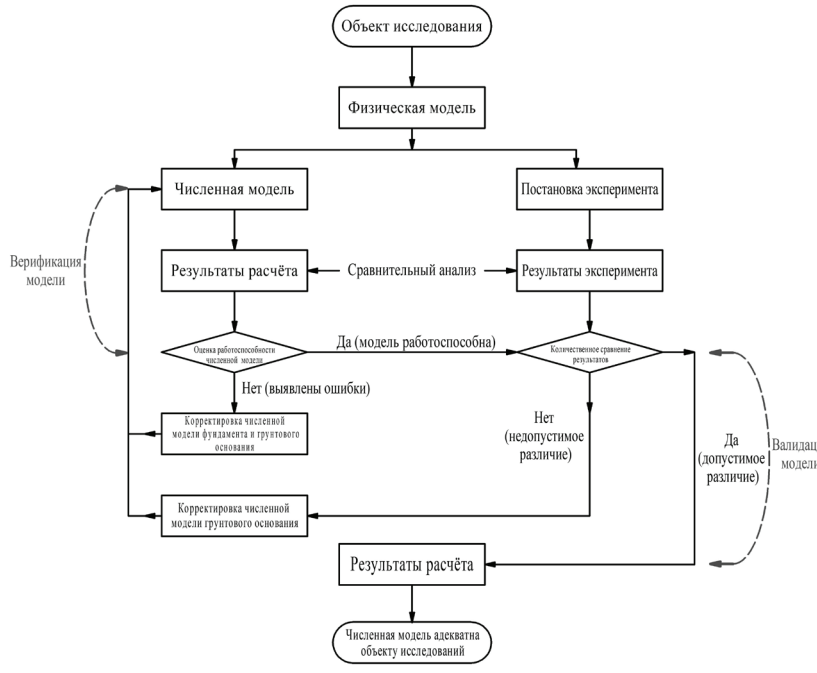


Рис. 1. Блок-схема верификации и валидации компьютерной модели сваи в грунтовом массиве

Математическое моделирование процесса взаимодействия забивной призматической висячей сваи с грунтовым массивом в пространственной постановке было выполнено авторами с использованием программного комплекса *MIDAS GTS NX*, использующегося при проектировании уникальных объектов гражданского, промышленного и транспортного назначения.

Создание компьютерных моделей сваи и грунтового массива с анализом их работы было выполнено последовательно в несколько этапов, при этом во всех случаях расчетная область состояла из модели грунтового основания в виде куба с размерами 15×15×15 м и забивной железобетонной сваи сечением 0,3×0,3 м длиной 7 м, погруженной в грунт на 6 м, что позволило исключить влияние размеров расчетной области на результаты расчетов (рис. 1 цв. вклейки).

Расчетный случай № 1

В расчетном случае № 1, использовавшимся некоторыми авторами в исследованиях работы свайных фундаментов разных типов в различных грунтовых условиях, принимаются следующие условия:

1. Расчетная область формируется программным комплексом автоматически. Для формирования расчетной области грунтового массива используется укрупненная гибридная (комбинированная) форма сетки, состоящая из объемных элементов – тетраэдров и гексаэдров.

2. Призматическая свая сечением 0,3×0,3 м и длиной 6 м моделируется трехмерными пространственными элементами (гексаэдрами) с размерами 0,3×0,3×0,2 м.

3. Взаимодействие сваи и околосвайного грунта моделируется жесткими связями, сформированными автоматически при формировании расчетной области.

4. Объемные силы от собственного веса сваи и собственного веса грунта ос-

К СТАТЬЕ Ю. С. ГРИГОРЬЕВА, В. В. ФАТЕЕВА «КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ВИСЯЧЕЙ ПРИЗМАТИЧЕСКОЙ СВАИ В МАССИВЕ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА»

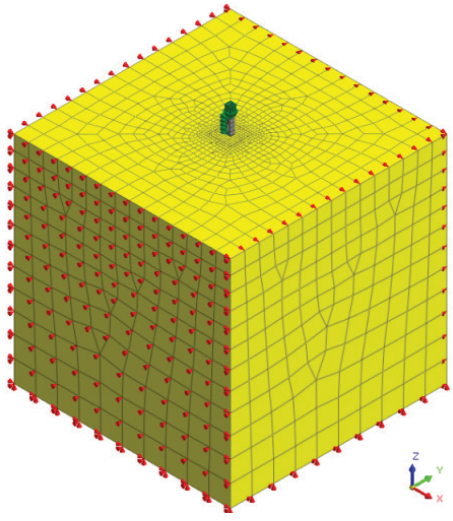


Рис. 1. Компьютерная модель расчетной области висячей призматической сваи, разработанная в *MIDAS GTS NX*

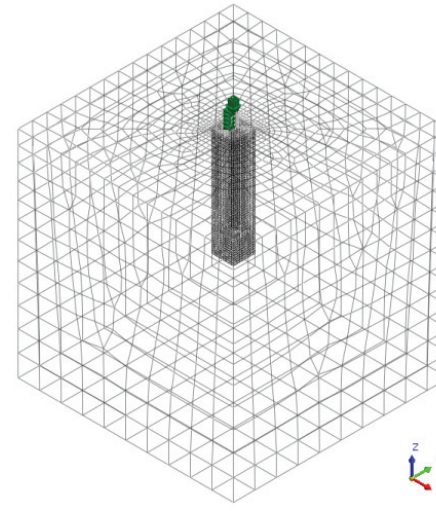


Рис. 2. То же, см. рис. 1. Со сгущенной сеткой конечных элементов в области околосвайного пространства

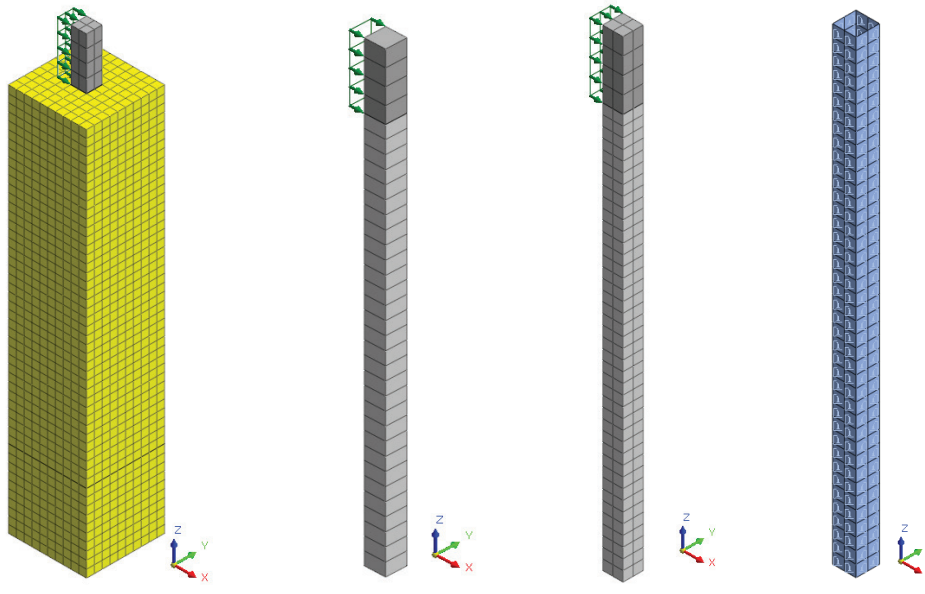


Рис. 3. Трехмерные компьютерные модели: *1* – околосвайного массива грунта; *2* и *3* – призматической сваи соответственно с крупным и мелким шагом разбивки сетки конечных элементов; *4* – интерфейсные элементы на контакте сваи и грунта

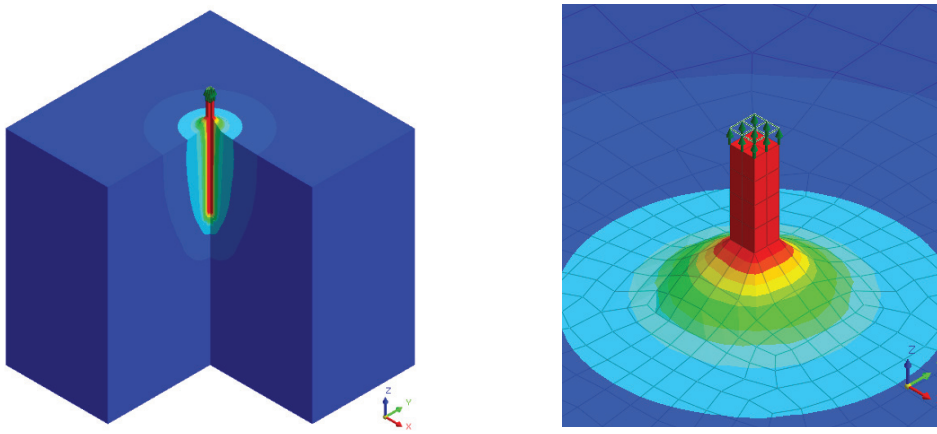


Рис. 4. Расчетный случай № **2**. Изополя вертикальных перемещений (по оси *Z*) висячей призматической сваи и околосвайного грунта при действии вертикальной выдергивающей нагрузки ***P***

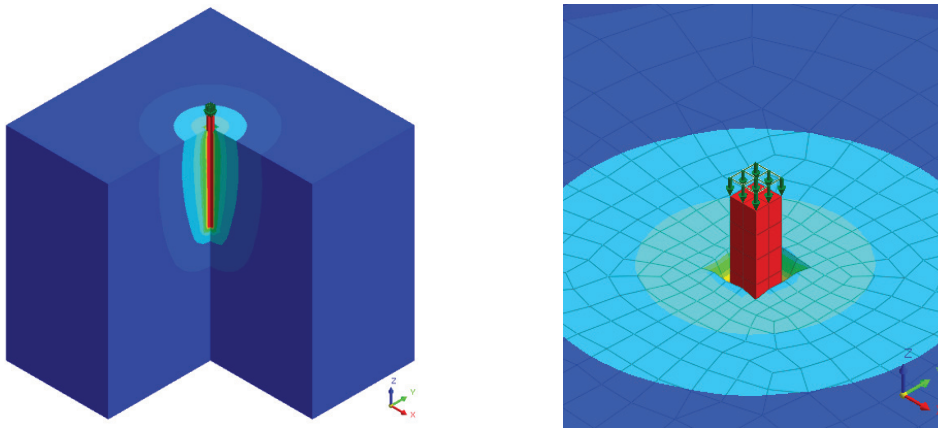


Рис. 5. Расчетный случай № **2**. Изополя вертикальных перемещений (по оси *Z*) висячей призматической сваи и околосвайного грунта при действии вертикальной вдавливающей нагрузки ***N***

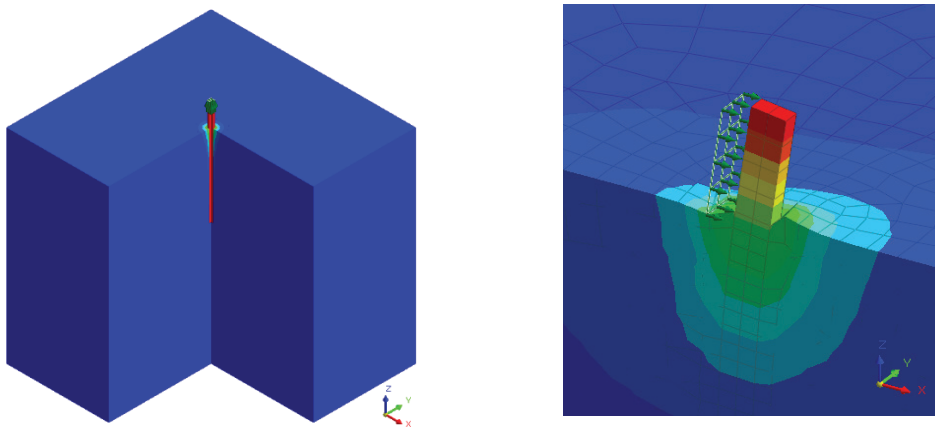


Рис. 6. Расчетный случай № **2**. Изополя горизонтальных перемещений (по оси *X*) висячей призматической сваи и окружающего грунта при действии горизонтальной нагрузки ***H***

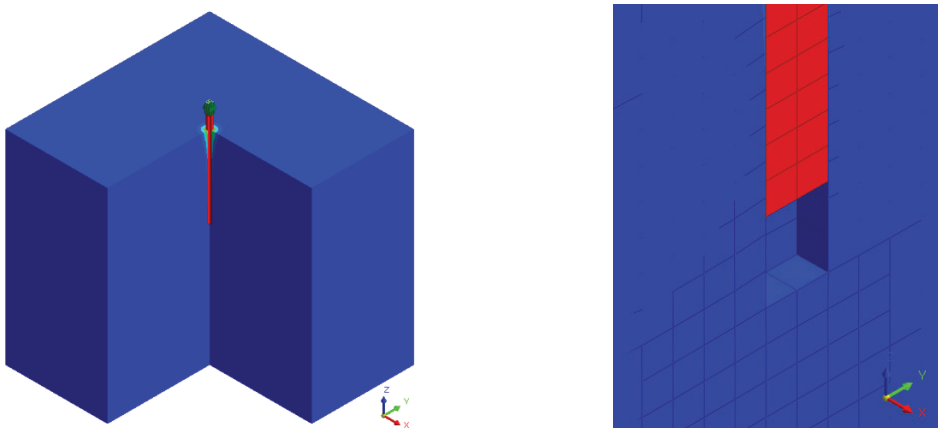


Рис. 7. Расчетный случай № **4**. Изополя вертикальных перемещений (по оси *Z*) висячей призматической сваи и околосвайного грунта при действии вертикальной выдергивающей нагрузки ***P*** в стадии срыва

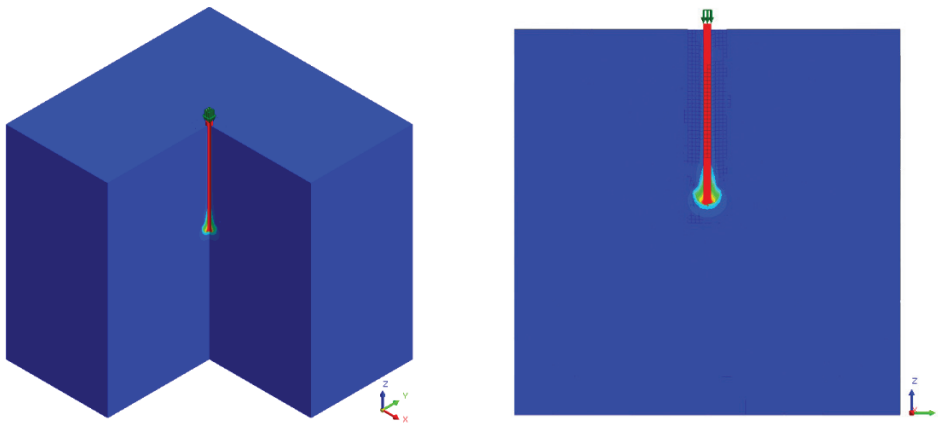


Рис. 8. Расчетный случай № **4**. Изополя вертикальных перемещений (по оси *Z*) висячей призматической сваи и околосвайного грунта при действии вертикальной вдавливающей нагрузки ***N*** в стадии срыва

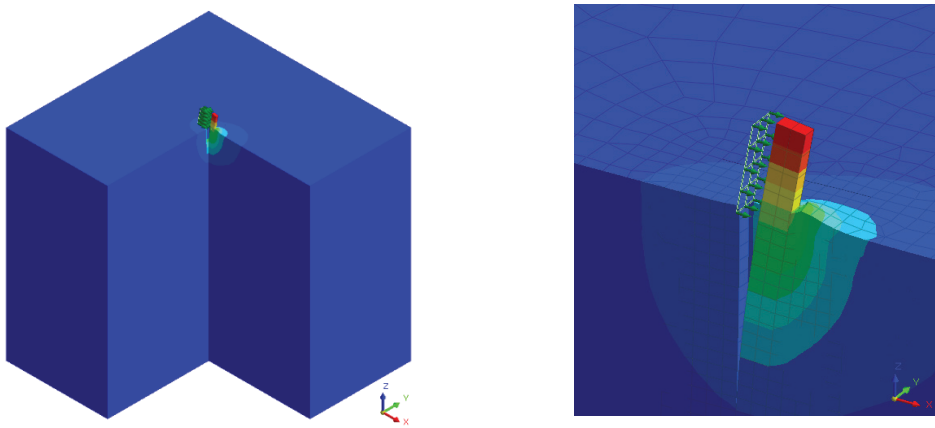


Рис. 9. Расчетный случай № **4**. Изополя горизонтальных перемещений (по оси *X*) висячей призматической сваи и околосвайного грунта при действии горизонтальной нагрузки ***H***

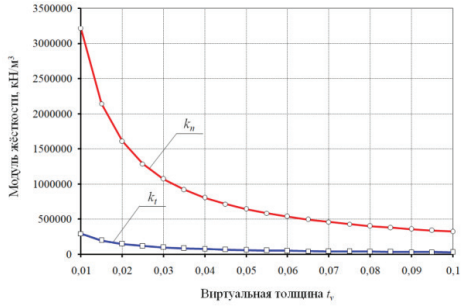


Рис. 10. Графики изменения величины модулей жесткости k_n и k_t в зависимости от виртуальной толщины контактного элемента t_v

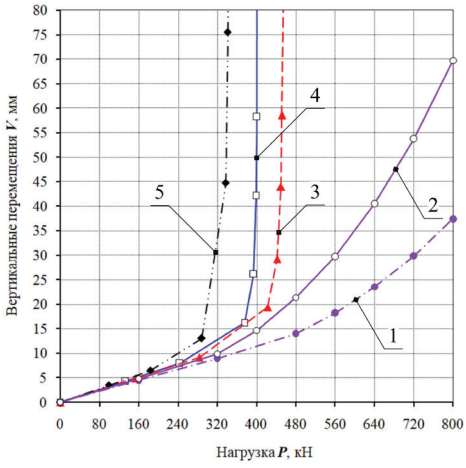


Рис. 11. Графики зависимости вертикальных перемещений V, мм от вертикальных выдергивающих нагрузок $\boldsymbol{P}$: 1–5 – номера расчетных случаев

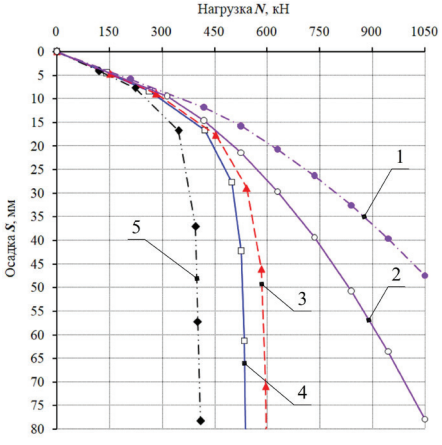


Рис. 12. Графики зависимости осадок $\boldsymbol{S}$ от вертикальных вдавливающих нагрузок $\boldsymbol{N}$: 1–5 – номера расчетных случаев

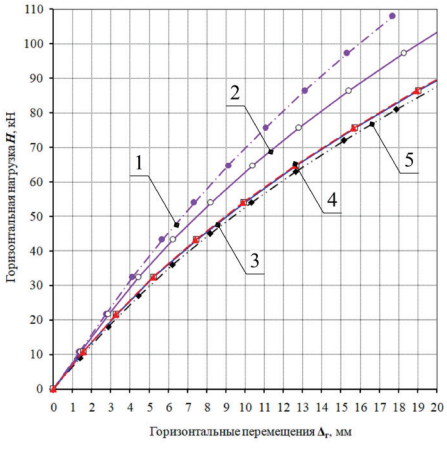


Рис. 13. Графики зависимости горизонтальных перемещений $\Delta_г$ от горизонтальных нагрузок $\boldsymbol{H}$: 1–5 – номера расчетных случаев

нования создаются программным комплексом автоматически с использованием введенных в программу значений объемного веса грунта и материала сваи.

Расчётный случай № 2

Отличия расчетного случая № 2 от расчетного случая № 1 заключаются в следующем:

1. Околосвайная зона в виде фрагмента грунтового массива сформирована из конечных элементов правильной формы – кубов с размером граней 0,15 м (рис. 2 и 3 цв. вклейки).

2. Модель сваи сформирована из конечных элементов-кубов с размером граней 0,15 м (рис. 3 цв. вклейки).

Расчетные случаи № 3, 4 и 5

Совместная работа призматических свай и околосвайного грунта, обеспечивающаяся работой контактного слоя грунта толщиной 10–100 мм, представляющего собой тонкую оболочку с определенными физико-механическими свойствами, моделируется применением интерфейсных элементов, разделяющих связанные узлы между конечными элементами сваи и грунта (рис. 3 цв. вклейки). Свойства контактных интерфейсных элементов описываются такими параметрами как: модуль нормальной жесткости; модуль сдвиговой жесткости; удельное сцепление; угол внутреннего трения; угол дилатансии и прочность грунта при растяжении.

Отличие расчетных схем № 3, № 4 и № 5 от расчетной схемы № 2 заключается в том, что в расчетные модели вводятся интерфейсные элементы с модулями жесткости, соответствующими виртуальной толщине $t_v = 0{,}03$ (схема № 3), $t_v = 0{,}04$ (схема № 4) и $t_v = 0{,}1$ (схема № 5) (см. рис. 10 цв. вклейки).

При выполнении численных расчетов назначались следующие граничные условия по закреплениям и перемещениям расчетной области:

– на верхней горизонтальной поверхности расчетной области – свободное перемещение узлов по всем направлениям;

– на вертикальных гранях – свободное перемещение в вертикальном направлении (вдоль оси Z) и запрет на горизонтальные перемещения (вдоль осей X и Y);

– на нижней горизонтальной плоскости – запрет на перемещения по всем направлениям.

Для моделирования работы однородного грунтового основания, сложенного суглинками, использовалась упругопластическая модель Мора-Кулона и характеристики грунта естественного сложения: удельный вес $\gamma = 16{,}8$ кН/м^3; коэффициент пористости $e = 0{,}846$; коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}37$; удельное сцепление $c = 20$ кПа; угол внутреннего трения $\varphi = 22^{\circ}$; модуль деформации $E = 8$ МПа, принятыми по материалам инженерно-геологических изысканий, выполнявшихся на одном из участков застройки нагорной части Нижнего Новгорода.

В результате выполненных исследований было установлено:

1. Результаты серии тестовых расчетов (расчетная схема № 1) позволили определить оптимальные размеры расчетной области, а также оптимальные размеры и форму конечных элементов.

2. Для повышения точности расчетов и упрощения работы по извлечению их результатов целесообразно разбивать поперечное сечение сваи и массив околосвайного грунта на элементы правильной формы – гексаэдры (расчетная схема № 2).

3. Моделирование взаимодействия сваи и грунта жесткими связями (без интерфейсных элементов контакта) приводит к несоответствию результатов численных расчетов и результатов как натурных испытаний свай, так и испытаний моделей свай (рис. 2, 3). Это несоответствие проявляется в следующем:

1) в отсутствии «срыва» сваи при действии вертикальных вдавливающих и выдергивающих нагрузок (рис. 11, 12 цв. вклейки). В этом случае даже при значительных вертикальных нагрузках грунт испытывает одинаковые по величине и направлению со сваей деформации (рис. 4, 5 цв. вклейки);

2) при горизонтальных перемещениях под действием горизонтальной нагрузки грунт «прилипает» к задней (тыльной) стенке сваи и перемещается вместе со сваей в горизонтальном направлении (рис. 6, 13 цв. вклейки), что противоречит результатам натурных испытаний свай и испытаний физических моделей свай в лабораторных условиях (рис. 1, 2).

Рис. 2. Железобетонная свая длиной 2,75 м, сечением 120×120 мм, в суглинках твердой консистенции. В результате испытаний горизонтальной нагрузкой между задней (тыльной) частью боковой поверхности сваи и грунтом образовался зазор в 50 мм (отрыв сваи от грунта) [4]

Рис. 3. Деревянная модель сваи длиной 0,6 м, сечением 30×30 мм, в песчаном грунтовом массиве. В результате испытаний горизонтальной нагрузкой между тыльной частью боковой поверхности модели и грунтом образовался зазор в 15 мм [5]

4. Качественное совпадение характера работы свай в натурных условиях на вдавливающие, выдергивающие и горизонтальные нагрузки в наибольшей степени соответствует модели, в которой взаимодействие сваи с грунтом моделируется с применением контактных интерфейсных элементов при виртуальной толщине контактного слоя t_v = 0,03–0,05 (рис. 7–9, 11–13 цв. вклейки). В этом случае модель взаимодействия свай с грунтовым массивом посредством интерфейсных контактных элементов позволяет получить «срыв» сваи по достижении ее предельной несущей способности в испытаниях вертикальными нагрузками и «отрыв» тыльной части боковой поверхности сваи при испытаниях горизонтальной нагрузкой. Грунтовый массив в этих случаях не следует за перемещениями сваи в отличие от расчетных схем № 1 и № 2. При этом тщательный подбор величины модулей жесткости интерфейсных элементов позволяет достичь удовлетворительного количественного совпадения результатов компьютерного моделирования с результатами натурных испытаний свай.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙСПИСОК

1. 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.

2. 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 (47). – С. 16–22.

3. Верификационный отчет по программному комплексу MIDASGTS. Том 1. Общие сведения. Матрица верификации. – Москва : Подземпроект, 2012. – 88 с. – Текст : непосредственный.

4. Довгий, А. Н. Продольно-поперечный изгиб стержней в упруго-податливой среде с учетом физической нелинейности материала : специальность 01.02.03 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. Н. Довгий – Харьков, 1984. – 193 с. : ил. – Текст : непосредственный.

5. Фатеев, В. В. Исследования работы горизонтально нагруженных моделей свайных фундаментов с однорядным расположением призматических свай / В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2014. – № 2 (30). – С. 68–70.

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

COMPUTER MODEL OF THE OPERATION OF A HANGING PRISMATIC PILE IN AN ARRAY OF CLAY SOIL

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, valeriy-fateev@rambler.ru
Key words: computer model, hanging prismatic pile, soil array, vertical and horizontal loads, verification, validation.

The article presents the results of the development and testing of a computer model of the operation of a hanging prismatic pile in an array of clay soil using the software package "MIDAS GTS NX", designed to study the joint work of pile foundations of various types with a soil base.

REFERENCES

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

2. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Verifikatsiya i validatsiya geomekhanicheskoy modeli gruntovogo osnovaniya deformiruyuschegosya zdaniya [Verification and validation of a geomechanical model of a 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.

3. Verifikatsionny otchyot po programmnomu kompleksu MIDAS GTS. Tom 1. Obshchie svedeniya. Matritsa verifikatsii [MIDAS GTS Software Complex Verification Report. Volume 1. General information. Verification matrix]. Moscow : Podzemproekt, 2012. – 88 p.

4. Dovgiy A. N. Prodolno-poperechny izgib sterzhney v uprugo-podatlivoy srede s uchyotom

fizicheskoy nelineynosti materiala [Longitudinal-transverse bending of rods in elastic-malleable medium considering physical nonlinearity of material] : spetsialnost 01.02.03 : dis. ... cand. tekhn. nauk. – Kharkov, 1984. – 193 p.: il.

5. Fateev V. V. Issledovaniya raboty gorizontalno nagruzhennykh modeley svaynykh fundamentov s odnoryadnym raspolozheniem prizmaticheskikh svay [Researches on the function of horizontally loaded models of single-row prismatic piles foundations]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2014. № 2. P. 68–70.

© Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев, 2022
Получено: 27.12.2021 г.

УДК 699.844:692.23

А. А. КОЧКИН, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства; Л. Э. ШАШКОВА, канд. техн. наук, доц. кафедры промышленного и гражданского строительства; Н. А. КОЧКИН, канд. техн. наук, доц. кафедры промышленного и гражданского строительства; А. В. ИВАНОВА, ст. преп. кафедры промышленного и гражданского строительства

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»
Россия, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15. Тел.: (817) 251-83-96; эл. почта: kochkinaa@vogu35.ru
Ключевые слова: звукоизоляция, однослойные ограждения, слоистые вибродемпфированные элементы, изменение изгибной жесткости, гибкие плиты на относе, двойные ограждения.

Представлены способы повышения звукоизоляции различных видов ограждающих конструкций при сравнении с однослойными ограждениями равной поверхностной плотности. Показано, что приблизить частотную характеристику звукоизоляции конструкции до «закона массы» возможно использованием слоистых вибродемпфированных элементов и путем изменения изгибной жесткости и повышения коэффициента потерь ограждения. Использование данных ограждений по сравнению с листами, соединенными «насухо», позволяет повысить звукоизоляцию двойных ограждающих конструкций.

За последние 50–60 лет со времени массового строительства гражданских и промышленных зданий по типовым проектам несколько раз ужесточались нормативные требования к звукоизоляции ограждающих конструкций. При реконструкции и капитальном ремонте существующих зданий требуется повышать звукоизоляцию ограждений до существующих в настоящее время нормативных требований. Кроме этого сейчас возникает много обращений жильцов к строительным организациям на недостаточную звукоизоляцию межквартирных перегородок и междуэтажных перекрытий. Часто это объясняется экономией материалов и отсутствием знаний по способам повышения звукоизоляции ограждений. Так, для защиты от проникновения из соседнего помещения межквартирную двойную перегородку из кирпича «усиливают» поперечными вертикальными связями из

кирпича (через 2–3 кирпича). Получается жесткая конструкция с пониженной звукоизоляцией.

Новые конструктивные решения ограждений повышенной звукоизоляции разработаны Бобылевым В. Н., Моничем Д. В., Ерофеевым В. И., Гребневым П. А., Дымченко В. В., Кузьминым Д. С., Хазовым П. А. [1–7]. В работах показана возможность использования резерва повышения звукоизоляции однослойных легких ограждений путем применения антирезонансных панелей, бескаркасных сэндвич-панелей с пазогребневым соединением среднего слоя, каркасно-обшивных перегородок с одинарным каркасом различного профиля. Данные решения позволяют повысить звукоизоляцию ограждающих конструкций без увеличения общей поверхностной плотности.

Исследование влияния на звукоизоляцию ограждений структурной звукопередачи рассмотрены в работах Овсянникова С. Н., Лелюги О. В., Жулиной М. Д. [8, 9], где отмечены факторы и параметры ограждающих конструкций и примыкающих к ним элементов здания на снижение звукоизоляции за счет косвенной передачи звука.

В данной статье показаны другие способы повышения звукоизоляции ограждений путем изменения их изгибной жесткости, введения в элементы вибропоглощения и использования этих элементов в двойных и других ограждениях.

Первый используемый способ увеличения звукоизоляции существующих ограждений заключается в устройстве вплотную еще одной или двух перегородок (см. рис. 1*а*, *б*). Это приводит к значительному увеличению поверхностной плотности нагрузки на перекрытие, стены, фундамент и снижает полезную площадь помещений. Звукоизоляция повышается незначительно на 2–3 дБ и ведет к удорожанию реконструкции.

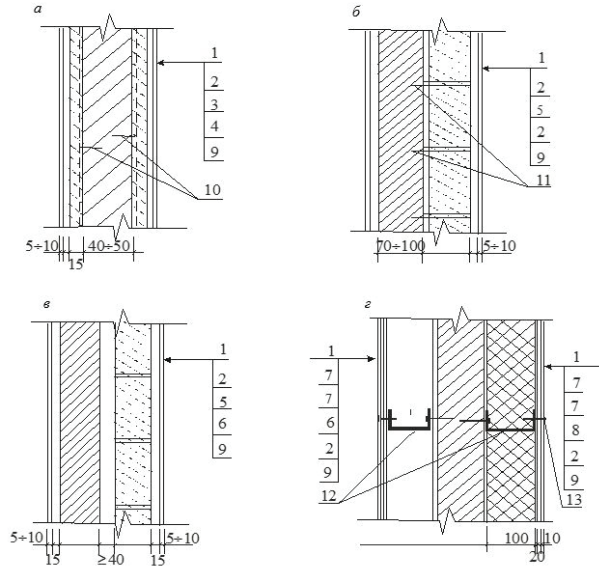


Рис. 1. Конструктивные решения по повышению звукоизоляции ограждений: *а, б* – увеличение поверхностной плотности; *в* – устройство дополнительной перегородки; *г* – гибкие плиты на относе; 1 – отделочный слой; 2 – штукатурка; 3 – торкретбетон; 4 – стальная сетка; 5 – пазогребневые плиты; 6 – воздушный промежуток; 7 – обшивочные листы (ГВЛ, ГКЛ, ОСП); 8 – звукопоглощающий материал; 9 – существующая перегородка; 10 – дюбель-гвоздь; 11 – анкерный дюбель; 12 – стальной гнутый профиль; 13 – саморез

Повышение звукоизоляции за счет увеличения поверхностной плотности неэффективно. Здесь имеется значительный резерв повышения звукоизоляции ограждений до закона массы (рис. 2). Повысить (приблизить) звукоизоляцию ограждения до закона массы возможно с использованием слоистых вибродемпфированных элементов (СВДЭ), которые представляют собой два и более тонких листа (гипсокартонные, гипсоволокнистые, цементно-стружечные, ориентировано-стружечные), фанеры и другие (рис. 2, 3) [10, 11]. Повышение звукоизоляции слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с однослойными ограждениями равной поверхностной плотности достигается за счет уменьшения толщины листов, что приводит к смещению граничной частоты волнового совпадения в область более высоких частот, за пределы нормируемого диапазона. Использование вибропоглощения для склеивания листов друг с другом приводит к образованию кроме изгибных колебаний ограждения сдвиговых колебаний, которые снижают звуковую энергию, прошедшую через ограждение.

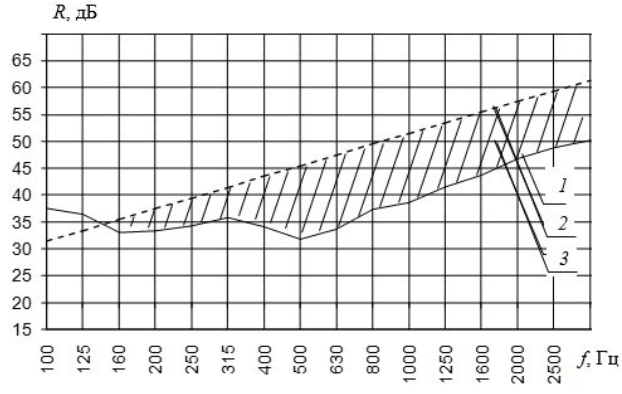


Рис. 2. Частотная характеристика звукоизоляции ограждения: *1* – перегородка из гипсовых плит толщиной 80 мм, R_w = 40 дБ; *2* – звукоизоляция по закону массы; *3* – резерв повышения звукоизоляции

Уменьшение динамического модуля упругости вибродемпфирующего слоя смещает граничную частоту волнового совпадения в область более высоких частот (рис. 4).

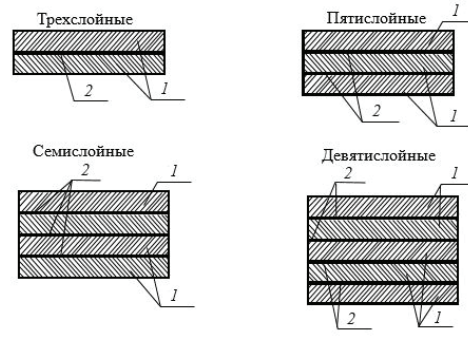


Рис. 3. Предлагаемые слоистые элементы с вибропоглощением для повышения звукоизоляции ограждений: *1* – жесткий слой (стекло, ГВЛ, ГКЛ, фанера и др.); *2* – вибропоглощающий слой

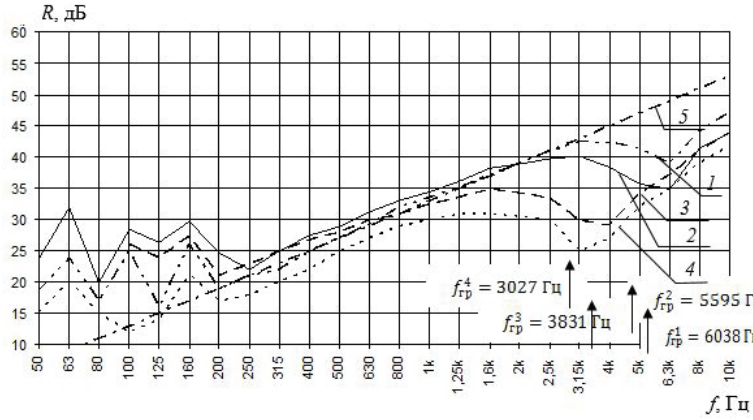


Рис. 4. Частотные характеристики звукоизоляции слоистых элементов, состоящих из двух листов дюралюминия толщиной по 2,0 мм и прослойки из вибродемпфирующего материала толщиной 1,0 мм, μ = 11,8 кг/м^2: *1* – динамический модуль упругости вибродемпфирующего слоя $E_д$ = 0,63·10^8 Па, R_w = 35 дБ; *2* – динамический модуль упругости вибродемпфирующего слоя $E_д$ = 0,12·10^9 Па, R_w = 34 дБ; *3* – динамический модуль упругости вибродемпфирующего слоя $E_д$ = 0,4·10^9 Па, R_w = 31 дБ; *4* – однослойное ограждение из дюралюминия толщиной 4 мм, $E_д$ = 7,0·10^{10} Па, μ =10,8 кг/м^2; *5* – закон массы, μ = 11,8 кг/м^2

Для более толстых ограждений, у которых граничная частота волнового совпадения располагается в области средних частот, для смещения ее в область высоких частот необходимо ослабить поперечное сечение ограждения путем устройства пропилов в двух направлениях максимальной глубины. Выполненные пропилы заполняются вибропоглощающим материалом, и два таких полуэлемента соединяются в один элемент через вибропоглощающий материал. Также данные конструкции можно использовать и как составные элементы в двойных ограждениях (см. рис. 5) [13]. Такой подход дает возможность уменьшить изгибную жесткость и повысить вибропоглощение внутри конструкции, тем самым происходит повышение (приближение) частотной характеристики звукоизоляции ограждения до закона массы и повышение индекса изоляции воздушного шума конструкции (рис. 6).

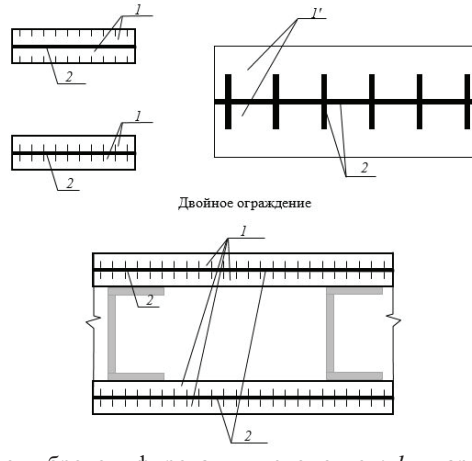


Рис. 5. Конструкции из вибродемпфированных элементов: *1* – наружный слой (ГВЛ, ГКЛ, фанера, ЦСП и т. д.); *1'* – наружный слой (бетон, газобетон, пенобетон и т. д.); *2* – вибродемпфирующий материал

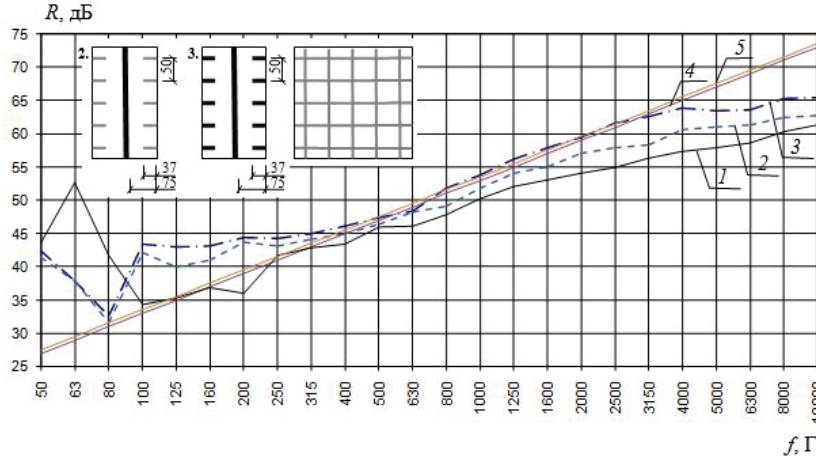


Рис. 6. Частотные характеристики звукоизоляции конструкции, состоящей из двух силикатных газобетонных блоков толщиной по 75,0 мм и прослойки из двух слоев техноэласта толщиной по 3,0 мм, μ = 105 кг/м^2: *1* – без пропилов, R_w = 45 дБ; *2* – наружные пропилы с двух сторон с шагом 50 мм, R_w = 46 дБ; *3* – наружные пропилы с двух сторон с шагом 50 мм заполнены техноэластом, R_w = 48 дБ; *4* – закон массы для конструкций *1* и *2*; *5* – закон массы для конструкции *3*, μ = 112 кг/м^2

Для увеличения звукоизоляции существующих ограждений возможно использование гибкой плиты на относе из двух гипсокартонных или гипсоволокнистых листов, соединенных «насухо» или в виде СВДЭ (рис. 1 *г*) [16–18]. Исследования производились на ограждениях с гибкими плитами, соединенными с основной конструкцией через воздушный зазор, а также при заполнении зазора звукопоглощающим материалом. Конструкции гибких плит состояли из двух листов, а в случае слоистых вибродемпфированных элементов – из двух листов, соединенных вибропоглощающей мастикой Акцент 117.

Индексы изоляции воздушного шума ограждений, полученные по результатам экспериментальных исследований звукоизоляции, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние конструкции гибких плит на относе на звукоизоляцию ограждения при основной конструкции из гипсовых пазогребневых плит

Вид материала гибких плит	Объемная плотность, кг/м^3	Толщина одного листа, мм	Поверхностная плотность гибкой плиты, кг/м^2	Вид заполнения зазора	Индекс изоляции воздушного шума R_w, дБ, для конструкции с гибкими плитами (ГП)		Изменение индекса изоляции воздушного шума R_w, дБ, конструкции с гибкой плитой (ГП) на относе по отношению к индексу изоляции воздушного шума основной конструкции с R_w = 40 дБ	
					ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ	ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ
				ВЗ	49	52	9	12
ГКЛ	704	12,5	17,6	ЗПМ	54	55	14	15

Видно, что акустическая эффективность применения гибких плит из слоистых вибродемпфированных элементов вместо гибких плит из листов, соединенных «насухо», составляет 1–3 дБ. Большая эффективность слоистых вибродемпфированных элементов наблюдается в случае устройства их на легких ограждающих конструкциях. Чем выше поверхностная плотность основной конструкции, тем ниже эффект от устройства слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с листами, соединенными «насухо».

Проведенный анализ показывает на существенный резерв повышения звукоизоляции ограждений за счет использования слоистых элементов из тонких гипсокартонных и гипсоволокнистых листов, соединенных между собой вибропоглощающими материалами. В связи с этим новые легкие ограждения из слоистых элементов с вибропоглощением предлагаются для повышения звукоизоляции существующих межквартирных и межкомнатных перегородок и стен, междуэтажных перекрытий как сверху, так и снизу перекрытия (рис. 7).

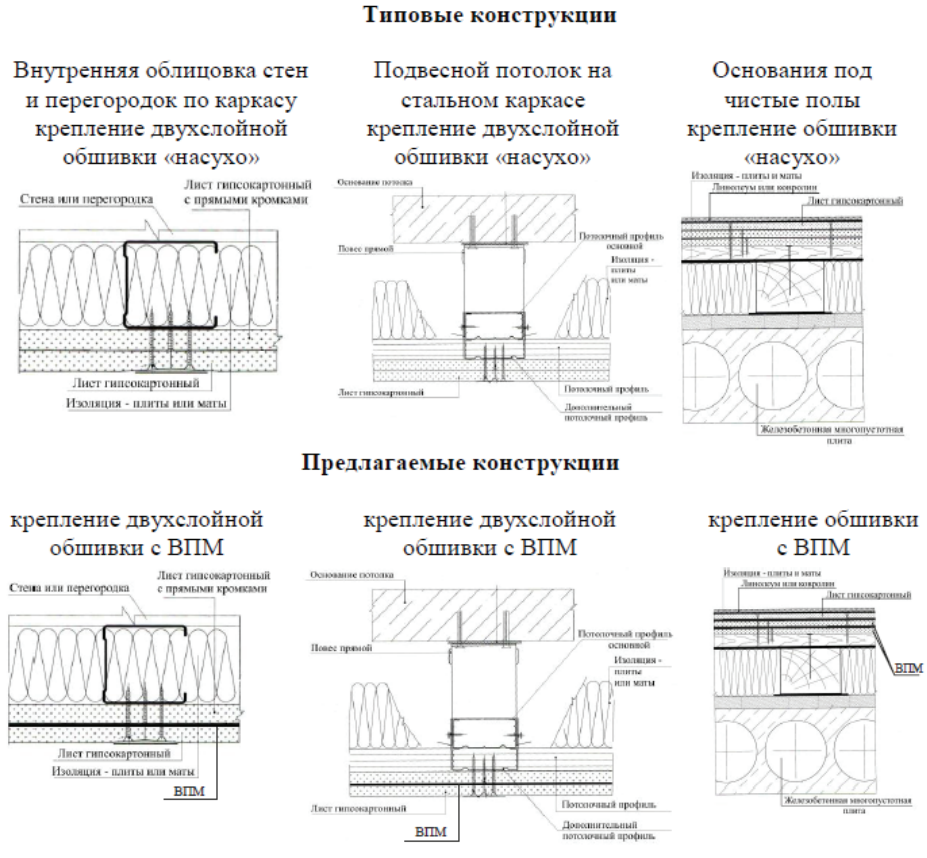


Рис. 7. Конструктивные решения по повышению звукоизоляции ограждений с использованием СВДЭ

Другой способ повышения звукоизоляции ограждений – применение двойных конструкций, которые состоят из двух элементов (кирпич, бетон, гипс, ГВЛ, ГКЛ и другие) и между которыми имеется воздушный промежуток (рис. 1 *в*).

Звукоизоляция двойных ограждений из слоистых элементов с вибродемп-

фированием по сравнению с однослойными ограждениями или листами, соединенными насухо, повышается за счет склеивания листов вибродемпфирующим материалом и повышения коэффициента потерь СВДЭ [12]. Индекс изоляции воздушного шума данных слоистых элементов выше, чем у листов, соединенных «насухо», на 3–5 дБ.

При исследовании использовались слоистые элементы из гипсокартонных листов толщиной 12,5 мм, склеенных вибропоглощающей мастикой (ВПМ) толщиной 1 мм, с зазором между ними, заполненным звукопоглощающим материалом (ЗПМ). В качестве звукопоглощающего материала использовалась минераловатная плита «Роквул акустик баттс» с плотностью 45 кг/м^3 и толщиной 25, 50, 75 и 100 мм.

На рис. 8 приведены частотные характеристики звукоизоляции двойных ограждений при различной толщине звукопоглощающего материала между слоистыми элементами с вибропоглощением.

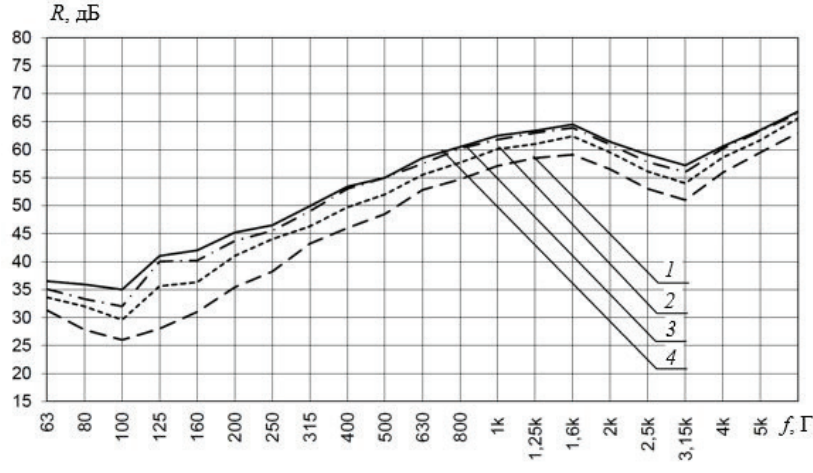


Рис. 8. Частотные характеристики звукоизоляции двойного ограждения из ГКЛ, склеенных ВПМ Акцент 117 при толщине: *1* – ЗПМ 25 мм, R_w = 49 дБ; *2* – ЗПМ 50 мм, R_w = 53дБ; *3* – ЗПМ 75 мм, R_w = 56 дБ; *4* – ЗПМ 100 мм, R_w = 57 дБ

В результате исследований слоистых элементов с вибродемпфированием на звукоизоляцию двойного ограждения установлено, что наибольшая эффективность вибродемпфирования наблюдается при толщине звукопоглощающего материала до 75 мм, при дальнейшем увеличении его толщины вибродемпфирование оказывает незначительное влияние на звукоизоляцию конструкции.

Звукоизоляция двойных ограждений растет при увеличении толщины воздушного промежутка (до определенного предела) и его заполнении звукопоглощающим материалом [10–12, 14, 15].

Необходимо стремиться к снижению жестких связей между элементами и использовать различные способы снижения акустических связей между ними.

Создание звукоизолирующих конструкций, обладающих высокой акустической и технико-экономической эффективностью, возможно на основе легких ограждающих конструкций, состоящих из элементов с вибродемпфирующими слоями, конструктивные решения которых теоретически и экспериментально обоснованы авторами данной статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Способы повышения звукоизоляции бескаркасных сэндвич-панелей / В. Н. Бобылев, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич, П. А. Гребнев, Д. С. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 2 (58). – С. 32–45.

2. Звукоизоляция однослойных легких перегородок с антирезонансными панелями / В. Н. Бобылев, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич, П. А. Гребнев, Д. С. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3 (59). – С. 46–55.

3. Бобылев, В. Н. Расчет звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с одинарным каркасом : учебное пособие / В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко, Д. В. Монич. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2020. – 67 с. – ISBN 978-5-528-00375-7. – Текст : непосредственный.

4. Звукоизоляция сэндвич-панелей с присоединенными облицовками / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич, Л. А. Тихомиров, Д. С. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2020. – № 7. – С. 8–13.

5. Ерофеев, В. И. Резервы повышения звукоизоляции однослойных и многослойных ограждающих конструкций зданий / В. И. Ерофеев, Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – Т. 22, № 5. – С. 98–110.

6. Звукоизоляция бескаркасных сэндвич-панелей с пазогребневым соединением среднего слоя / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, В. И. Ерофеев, Д. С. Кузьмин, Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – № 3 (55). – С. 9–18.

7. Анализ влияния типа стоечного профиля на звукоизоляцию каркасно-обшивной перегородки с одинарным каркасом путем конечно-элементного моделирования / В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич, П. А. Хазов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 4 (52). – С. 18–22.

8. Овсянников, С. Н. Расчет звукоизоляции однослойных конструкций с учетом структурной звукопередачи / С. Н. Овсянников, О. В. Лелюга, М. Д. Жулина. – Текст : непосредственный // Инвестиции, строительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Материалы X Международной научно-практической конференции. – Томск, 2020. – С. 372–380.

9. Овсянников, С. Н. Теоретические и экспериментальные исследования виброакустических систем с малым количеством элементов / С. Н. Овсянников, О. В. Лелюга. – Текст : непосредственный // Инвестиции, строительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения : материалы IX Международной научно-практической конференции. – Томск, 2019. – С. 29–39.

10. Киряткова, А. В. Экспериментальные исследования звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов / А. В. Киряткова, А. А. Кочкин, И. Л. Шубин, Л. Э. Шашкова. – Текст : непосредственный // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2020. – № 4 (32). – С. 73–79.

11. Иванова, А. В. Практическое использование слоистых элементов с вибропоглощением для повышения звукоизоляции двойных ограждающих конструкций / А. В. Иванова, А. А. Кочкин, И. В. Матвеева. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы развития строительной отрасли : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Вологда, 2020. – С. 11–14.

12. Иванова, А. В. Исследование звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов / А. В. Иванова, А. А. Кочкин. – Текст : непосредственный // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы VII Международной научно-практической конференции. – Тамбов, 2020. – С. 202–205.

13. Шашкова, Л. Э. Повышение звукоизоляции ограждающих конструкций с применением вибродемпфированных элементов / Л. Э. Шашкова, А. А. Кочкин, И. Л. Шубин. –

Текст : непосредственный // Бюллетень строительной техники. – 2018. – № 6 (1006). – С. 26–27.

14. Патент № 189876 Российская Федерация, МПК E04B 1/82. Двойная звукоизолирующая конструкция с обшивками из слоистых вибропоглощающих элементов со звукопоглощающим материалом : № 2019104122 : заявл. 14.02.2019 : опубл. 07.06.2019 / Кочкин А. А., Матвеева И. В., Киряткова А. В., Кочкин Н. А.; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный университет. – Бюл. № 16. – 7 с. – Текст : непосредственный.

15. Кочкин, А. А. Исследование изоляции воздушного шума двойными ограждающими конструкциями / А. А. Кочкин, А. В. Киряткова, И. Л. Шубин. – Текст : непосредственный // Бюллетень строительной техники. – 2018. – № 6 (1006). – С. 20–21.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660715. Расчет звукоизоляции ограждающих конструкций с использованием гибких плит на относе из слоистых элементов : № 2020664868 : дата поступления 24.11.2020 : зарегистрирована 02.12.2020 / Н. А. Кочкин, А. А. Кочкин, И. Л. Шубин. – Текст : непосредственный.

17. Кочкин, А. А. Влияние конструкции гибкой плиты на относе на повышение звукоизоляции существующих ограждений / А. А. Кочкин, И. Л. Шубин, Н. А. Кочкин. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2020. – № 7. – С. 14–18.

18. Патент № 186418 Российская Федерация, МПК E04C 1/40. Звукоизолирующая конструкция со слоистым вибропоглощающим элементом на относе : № 2018121362 : заявл. 08.06.2018 : опубл. 21.01.2019 / Кочкин А. А., Матвеева И. В., Кочкин Н. А., Киряткова А. В.; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный университет. – Бюл. № 3. – 6 с. – Текст : непосредственный.

KOCHKIN Aleksandr Aleksandrovich, doctor of technical sciences, associate professor, holder of the chair of industrial and civil construction; SHASHKOVA Lola Eduardovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of industrial and civil construction; KOCHKIN Nikita Aleksandrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of industrial and civil construction; IVANOVA Anastasiya Vladimirovna, senior teacher of the chair of industrial and civil construction

WAYS TO INCREASE SOUND INSULATION OF ENCLOSURES OF BUILDINGS

Vologda State University
15, Lenin St., Vologda, 160000, Russia. Tel.: +7 (817) 251-83-96;
e-mail: kochkinaa@vogu35.ru
Key words: sound insulation, single-layer enclosures, layered vibration-damped elements, change in flexural stiffness, flexible slabs on offset, double enclosures.

The article presents methods for increasing sound insulation of various types of building enclosures when compared with single-layer enclosures of equal surface density. It is shown that it is possible to bring the frequency response of the soundproofing of a structure closer to the "law of mass" by using layered vibration-damped elements and by changing the bending stiffness and increasing the loss factor of the enclosure. The use of these enclosures, in comparison with "dry"-connected sheets, allows to increase the sound insulation of double enclosing structures.

REFERENCES

1. Bobylyov V. N., Erofeev V. I., Monich D. V., Grebnev P. A., Kuzmin D. S. Sposoby povysheniya zvukoizolyatsii beskarkasnykh sendvich-paneley [Ways to increase sound insulation of frameless sandwich panels]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal].

Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. – 2021. – № 2 (58). – P. 32–45.

2. Bobylyov, V. N., Erofeev V. I., Monich D. V., Grebnev P. A., Kuzmin D. S. Zvukoizolyatsiya odnosloynykh lyogkikh peregorodok s antirezonansnymi panelyami [Sound insulation of single-layer lightweight partitions with anti-resonant panels]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky scientific journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. – 2021. – № 3 (59). – P. 46–55.

3. Bobylyov V. N., Dymchenko V. V., Monich D. V. Raschyot zvukoizolyatsii karkasno-obshivnykh peregorodok s odinarnym karkasom [Calculation of sound insulation of frame-sheathed partitions with a single frame]. Uchebnoe posobie. – Nizhny Novgorod, NNGASU, 2020. – 67 p. – ISBN 978-5-528-00375-7.

4. Bobylyov V. N., Grebnev P. A., Erofeev V. I., Monich D. V., Tikhomirov L. A., Kuzmin D. S. Zvukoizolyatsiya sendvich-paneley s prisoedinyonnymi oblitsovkami [Sound insulation of sandwich panels with attached claddings]. Zhilischnoe stroitelstvo [Housing construction]. – 2020. – № 7. – P. 8–13.

5. Erofeev V. I., Monich D. V. Rezervy povysheniya zvukoizolyatsii odnosloynykh i mnogosloynykh ograzhdayuschikh konstruktsiy zdaniy [Reserves for increasing the sound insulation of single-layer and multi-layer building envelopes]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]. – 2020. T. 22. – № 5. – P. 98–110.

6. Bobylyov V. N., Grebnev P. A., Erofeev V. I., Kuzmin D. S., Monich D. V. Zvukoizolyatsiya beskarkasnykh sendvich-paneley s pazogrebnevym soedineniem srednego sloya [Sound insulation of frameless sandwich panels with groove-type connection of the middle layer]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. – 2020. – № 3 (55). – P. 9–18.

7. Bobylyov V. N., Dymchenko V. V., Erofeev V. I., Monich D. V., Khazov P. A. Analiz vliyaniya tipa stoechnogo profilya na zvukoizolyatsiyu karkasno-obshivnoy peregorodki s odinarnym karkasom putyom konechno-elementnogo modelirovaniya [Analysis of the influence of a rack profile type on the sound insulation of a single frame partition by finite element modeling]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. – 2019. – № 4 (52). – P. 18–22.

8. Ovsyannikov S. N., Lelyuga O. V., Zhulina M. D. Raschyot zvukoizolyatsii odnosloynykh konstruktsiy s uchyotom strukturnoy zvukoperedachi [Calculation of sound insulation of single-layer structures, taking into account structural sound transmission]. Investitsii, stroitelstvo, nedvizhimost kak drayvery sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya territorii i povysheniya kachestva zhizni naseleniya [Investments, construction, real estate as drivers of the socio-economic development of the territory and improving the quality of life of the population]. Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Tomsk, 2020. – P. 372–380.

9. Ovsyannikov S. N., Lelyuga O. V. Teoreticheskie i eksperimentalnye issledovaniya vibroakusticheskikh sistem s malym kolichestvom elementov [Theoretical and experimental studies of vibroacoustic systems with a small number of elements]. Investitsii, stroitelstvo, nedvizhimost kak drayvery sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya territorii i povysheniya kachestva zhizni naseleniya [Investments, construction, real estate as drivers of the socio-economic development of the territory and improving the quality of life of the population]. Materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Tomsk, 2019. – P. 29–39.

10. Kiryatkova A. V., Kochkin A. A., Shubin I. L., Shashkova L. E. Eksperimentalnye issledovaniya zvukoizolyatsii dvoynykh ograzhdayuschikh konstruktsiy iz sloistykh ele-mentov [Experimental studies of sound insulation of double enclosing structures made of layered elements]. Biosfernaya sovmestimost: chelovek, region, tekhnologii [Biospheric compatibility: man, region, technology]. 2020. № 4 (32). P. 73–79.

11. Ivanova A. V., Kochkin A. A., Matveeva I. V. Prakticheskoe ispolzovanie sloistykh elementov s vibropogloscheniem dlya povysheniya zvukoizolyatsii dvoynykh ograzhdayuschikh konstruktsiy [Practical use of layered elements with vibration absorption to increase the sound insulation of double building envelopes]. Aktualnye voprosy razvitiya stroitelnoy otrasli [Topical issues of development of the construction industry]. Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Vologda, 2020. P. 11–14.

12. Ivanova A. V., Kochkin A. A. Issledovanie zvukoizolyatsii dvoynykh ograzhdayuschikh konstruktsiy iz sloistykh elementov [Investigation of sound insulation of double enclosing structures made of layered elements]. Ustoychivoe razvitie regiona: Arkhitektura, stroitelstvo, transport [Sustainable development of the region: Architecture, construction, transport]. Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Tambov, 2020. P. 202–205.

13. Shashkova L. E., Kochkin A. A., Shubin I. L. Povyshenie zvukoizolyatsii ograzhdayuschikh konstruktsiy s primeneniem vibrodempfirovannykh elementov [Improving the sound insulation of enclosing structures using vibration damping elements]. Byulleten stroitelnoy tekhniki [Building Machinery Bulletin]. 2018. № 6 (1006). P. 26–27.

14. Patent № 189876 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04V 1/82. Dvoynaya zvukoizoliruyuschaya konstruktsiya s obshivkami iz sloistykh vibropogloschayuschikh elementov so zvukopogloschayuschim materialom [Double soundproofing structure with sheathing of layered vibration-absorbing elements with sound-absorbing material] : № 2019104122 : zayavl. 14.02.2019; opubl. 07.06.2019] / Kochkin A. A., Matveeva I. V., Kiryatkova A. V., Kochkin N. A.; zayavit. i patentoobl. Vologod. gos. un-t. Byul. № 16. – 7 p.

15. Kochkin A. A., Kiryatkova A. V., Shubin I. L. Issledovanie izolyatsii vozdushnogo shuma dvoynymi ograzhdayuschimi konstruktsiyami [Investigation of Airborne Noise Insulation by Double Enclosing Structures]. Byulleten stroitelnoy tekhniki [Building Machinery Bulletin]. 2018. № 6 (1006). P. 20–21.

16. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM №2021660715 [Certificate of state registration of the computer program №2021660715]. Raschyot zvukoizolyatsii ograzhdayuschikh konstruktsiy s ispolzovaniem gibkikh plit na otnose iz sloistykh elementov [Calculation of sound insulation of enclosing structures using offset flexible slabs of layered elements]: № 2020664868; data postupleniya 24.11.2020; zaregistrirovana 02.12.2020 / N. A. Kochkin, A. A. Kochkin, I. L. Shubin.

17. Kochkin A. A., Shubin I. L., Kochkin N. A. Vliyanie konstruktsii gibkoy plity na otnose na povyshenie zvukoizolyatsii suschestvuyuschikh ograzhdeniy [Influence of the design of an offset flexible slab to increase the sound insulation of existing enclosures]. Zhilischnoe stroitelstvo [Housing construction]. – 2020. – № 7. – P. 14–18.

18. Patent № 186418 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E04S 1/40. Zvukoizoliruyuschaya konstruktsiya so sloistym vibropogloschayuschim elementom na otnose [Soundproofing structure with an offset layered vibration-absorbing element] : № 2018121362; zayavl. 08.06.2018; opubl. 21.01.2019 / Kochkin A. A., Matveeva I. V., Kochkin N. A., Kiryatkova A. V.; zayavitel i patentoobladatel Vologod. gos. un-t. Byul. № 3. – 6 p.

© А. А. Кочкин, Л. Э. Шашкова, Н. А. Кочкин, А. В. Иванова, 2022

Получено: 01.02.2022 г.

УДК 699.844

Д. В. МОНИЧ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры

МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ И РАЗРАБОТКИ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЛЕГКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-46; эл. почта: dmitriy.monich@mail.ru
Ключевые слова: звукоизоляция, легкие ограждающие конструкции, рациональное конструктивное решение, самосогласование волновых полей, граничная частота, диффузное волновое поле.

Получена методология расчета звукоизоляции и разработки рациональных конструктивных решений легких ограждающих конструкций. Предназначена для применения при проектировании звукоизолирующих ограждающих конструкций между помещениями гражданских и промышленных зданий. Методология включает в себя четыре метода расчета звукоизоляции различных типов легких ограждающих конструкций и методику оценки эффективности ограждений по сравнению с ограждениями-аналогами. Применение методологии позволяет обеспечивать выполнение нормативных требований по звукоизоляции легких перегородок без значительного увеличения поверхностной плотности и толщины.

Введение

В строительной отрасли в последние 20–30 лет получили широкое распространение новые материалы и новые типы легких ограждающих конструкций, которые не имеют достаточного обоснования по звукоизолирующим свойствам. В качестве примера для однослойных ограждений можно привести легкие перегородки, выполненные из пазогребневых гипсовых плит (ПГП) толщиной 80 мм, из газобетонных и газосиликатных блоков толщиной 100 мм и др. В качестве примера для многослойных ограждений можно привести различные виды сэндвич-панелей (СИП-панели), широко применяемые в малоэтажном строительстве. Многочисленные натурные измерения показывают, что данные ограждения не соответствуют нормативным требованиям по изоляции воздушного шума, установленным СП 51.13330 «Защита от шума». Особенно остро это проявляется в жилых домах новой постройки, имеющих несущий железобетонный каркас, легкие стены и перегородки из газобетонных или газосиликатных блоков. Для решения данного вопроса в практике строительства в настоящее время используются нерациональные способы: 1) увеличение поверхностной плотности ограждений; 2) увеличение толщины ограждений. Таким образом, актуальным вопросом для строительной акустики является получение методологии, которая позволит разрабатывать рациональные конструктивные решения легких ограждающих конструкций и выполнять расчет их звукоизоляции в нормируемом диапазоне частот.

Основные положения методологии

Рациональные конструктивные решения могут быть получены на основании анализа параметров прохождения звука через легкие ограждения. Для этого применена теория самосогласования волновых полей, разработанная научной школой М. С. Седова [1]. Теория позволяет проводить расчет собственной звукоизоляции однослойных и многослойных ограждений (R, дБ) с учетом резонансного прохож-

дения (τ_r) и инерционного прохождения звука (τ_i). Важной особенностью теории является возможность расчета предельной звукоизоляции ограждений (R_{max}, дБ), определяемой только инерционным прохождением, при отсутствии резонансного прохождения звука (τ_r = 0). Данный подход дает возможность определения внутренних резервов повышения звукоизоляции ограждающих конструкций [2]:

$$\Delta r = R_{max} - R, \quad (1)$$

где R_{max} – предельная звукоизоляция ограждения, дБ; R – собственная звукоизоляция ограждения, дБ.

На рис. 1 представлены обобщенные частотные характеристики собственной и предельной звукоизоляции легкой каркасно-обшивной перегородки, построенные по методу [3], с учетом разделения нормируемого диапазона частот на область простых пространственных резонансов (ПрПР), неполных пространственных резонансов (НПР), полных пространственных резонансов (ППР). Заштрихованная область соответствует внутренним резервам повышения звукоизоляции ограждения. Анализируя представленные результаты, можно видеть, что наибольшие резервы повышения звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок находятся вблизи граничной частоты области ППР для листовых обшивок (f_{bmn}), граничной частоты области НПР для ячейки каркаса ($f_{bmn0(fc)}$), а также вблизи резонансной частоты системы «масса-упругость-масса» (f_{msm}).

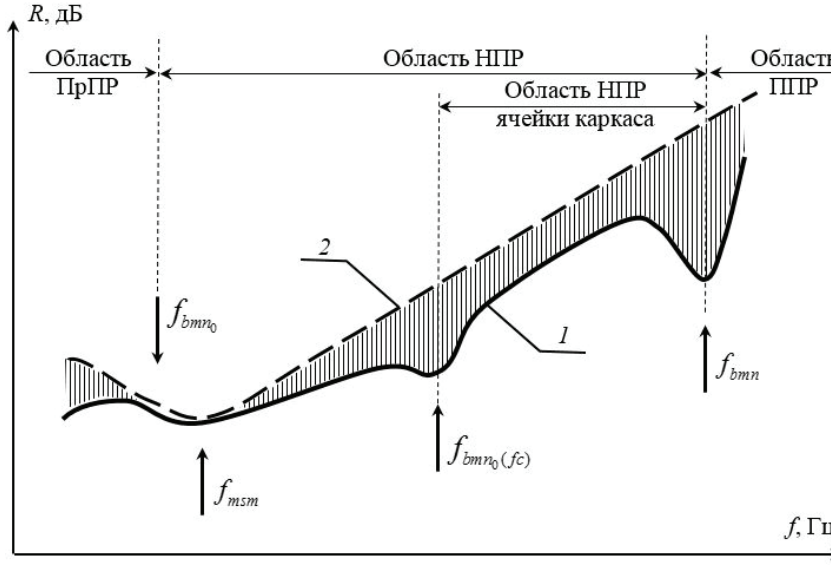


Рис. 1. Обобщенные частотные характеристики звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок конечных геометрических размеров: *1* – собственная звукоизоляция (R); *2* – предельная звукоизоляция (R_{max}); f_{bmn0} – граничная частота области НПР; $f_{bmn0(fc)}$ – граничная частота области НПР для ячейки каркаса; f_{bmn} – граничная частота области ППР для листовых обшивок; f_{msm} – резонансная частота системы «масса-упругость-масса» («листовая обшивка-воздушный промежуток-листовая обшивка»)

Расчет внутренних резервов повышения звукоизоляции дает возможность определения эффективных способов снижения резонансного прохождения звука (τ_r) через легкие ограждения. С использованием данного подхода на кафедре архитектуры ННГАСУ были разработаны новые типы легких ограждающих кон-

струкций, а также методы расчета их звукоизоляции: 1) легкие перегородки с антирезонансными панелями [4], [5]; 2) легкие перегородки из сэндвич-панелей с пазогребневым соединением среднего слоя [6], [7]; 3) легкие каркасно-обшивные перегородки с антирезонансными панелями [8].

Вышеуказанные методы расчета звукоизоляции ограждений могут применяться при условии диффузного звукового поля в помещении высокого уровня (ПВУ), в диапазоне выше граничной частоты ($f > f_b$). Для диапазона частот ниже граничной частоты ($f < f_b$) разработан отдельный метод расчет звукоизоляции, также включенный в методологию. Таким образом, частотная характеристика звукоизоляции легких ограждений разделяется на два диапазона (см. рис. 2).

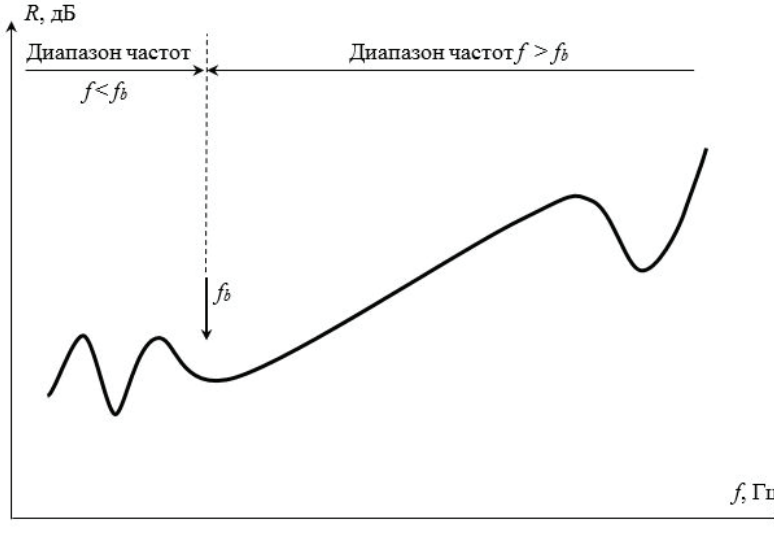


Рис. 2. Обобщенная частотная характеристика звукоизоляции легкой ограждающей конструкции с разделением на два диапазона частот ниже и выше граничной частоты (f_b)

Метод расчета звукоизоляции легких ограждающих конструкций в диапазоне частот ниже граничной частоты

Граничная частота определяется из условия неполного пространственного резонанса, при котором вдоль наименьшей стороны ограждающей конструкции может располагаться не менее 1 полуволны звукового поля в ПВУ:

$$f_b > f\,(n_0 > 1), \qquad (2)$$

где n_0 – число длин проекций полуволн звукового поля в ПВУ по наименьшей стороне ограждения.

На рис. 3 представлены частотные характеристики чисел длин проекций полуволн звукового поля в ПВУ по наименьшей стороне ограждения для трех легких перегородок с различными геометрическими размерами.

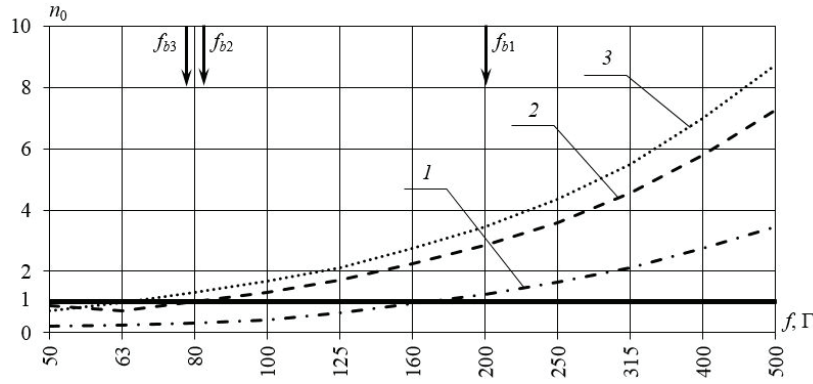


Рис. 3. Частотные характеристики чисел длин проекций полуволн звукового поля в ПВУ по наименьшей стороне ограждения для трех легких каркасно-обшивных перегородок с антирезонансными панелями: *1* – геометрические размеры перегородки $a \times b = 2{,}0 \times 1{,}2$ м; *2* – геометрические размеры перегородки $a \times b = 4{,}2 \times 2{,}5$ м; *3* – геометрические размеры перегородки $a \times b = 6{,}0 \times 3{,}0$ м

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований в лабораторных и натурных условиях можно сделать следующие выводы:

1) граничная частота самосогласования волновых полей в ПВУ и в ограждении (f_b) является граничной частотой диффузности звукового поля в плоскости ограждающей конструкции;

2) в диапазоне частот ниже граничной частоты диффузности звукового поля в плоскости ограждающей конструкции ($f < f_b$) колебания ограждения близки к поршнеобразным движениям, а прохождение звука происходит только в инерционном режиме (резонансное прохождение звука отсутствует, $\tau_r = 0$).

Разработан метод расчета звукоизоляции легких ограждающих конструкций в диапазоне частот ниже граничной частоты диффузности звукового поля в плоскости ограждающей конструкции ($f < f_b$). Данный метод расчета включает в себя четыре этапа:

– этап № 1. Определение исходных данных для расчета;

– этап № 2. Расчет граничной частоты диффузности звукового поля в плоскости ограждающей конструкции (f_b);

– этап № 3. Расчет параметров инерционного прохождения звука через ограждение в диапазоне частот $f < f_b$;

– этап № 4. Расчет звукоизоляции ограждения в диапазоне частот $f < f_b$.

На рис. 4, 5 представлены теоретические частотные характеристики звукоизоляции двух типов легких перегородок, рассчитанные в диапазонах частот выше и ниже граничной частоты.

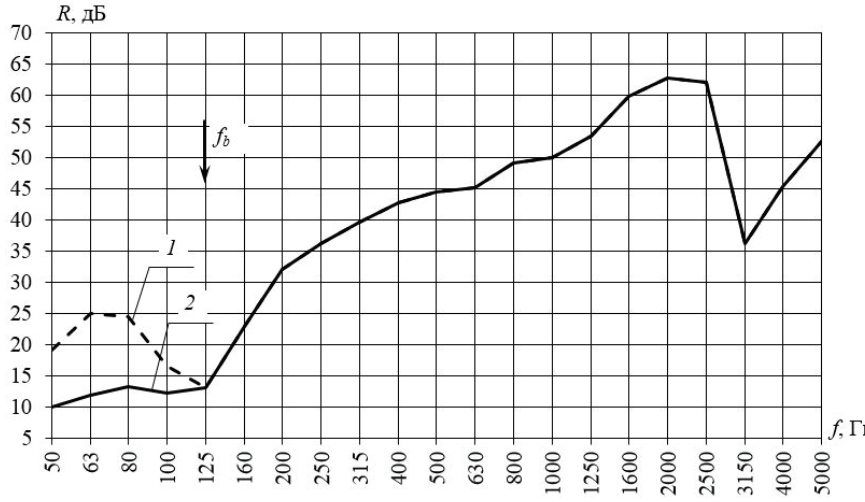


Рис. 4. Теоретические частотные характеристики звукоизоляции легкой перегородки из бескаркасных сэндвич-панелей с пазогребневым соединением среднего слоя (геометрические размеры перегородки $a \times b$ = 2,2 × 2,65 м; облицовки из ГВЛ толщиной h_1 = 12,5 мм; средний слой из жесткой минеральной ваты толщиной h_2 = 50 мм; общая толщина перегородки h_{sp} = 75 мм): *1* – по методу расчета звукоизоляции, предполагающим диффузное звуковое поле в плоскости ограждения во всем рассматриваемом диапазоне частот; *2* – по методу расчета звукоизоляции ниже граничной частоты

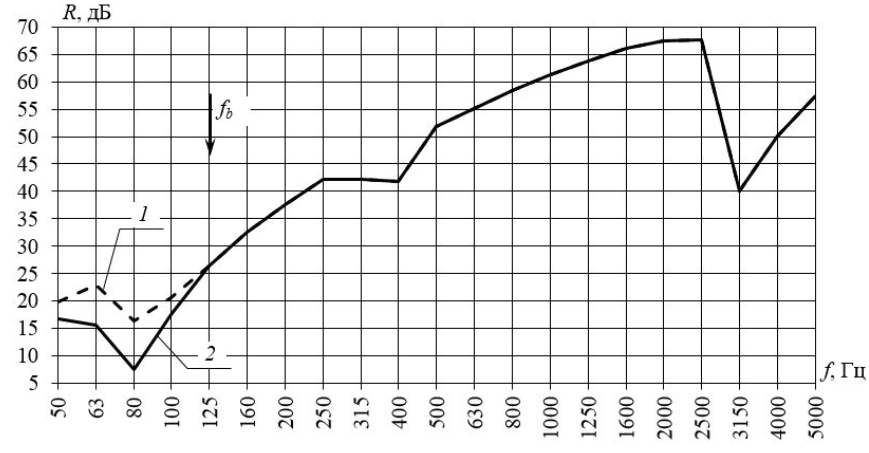
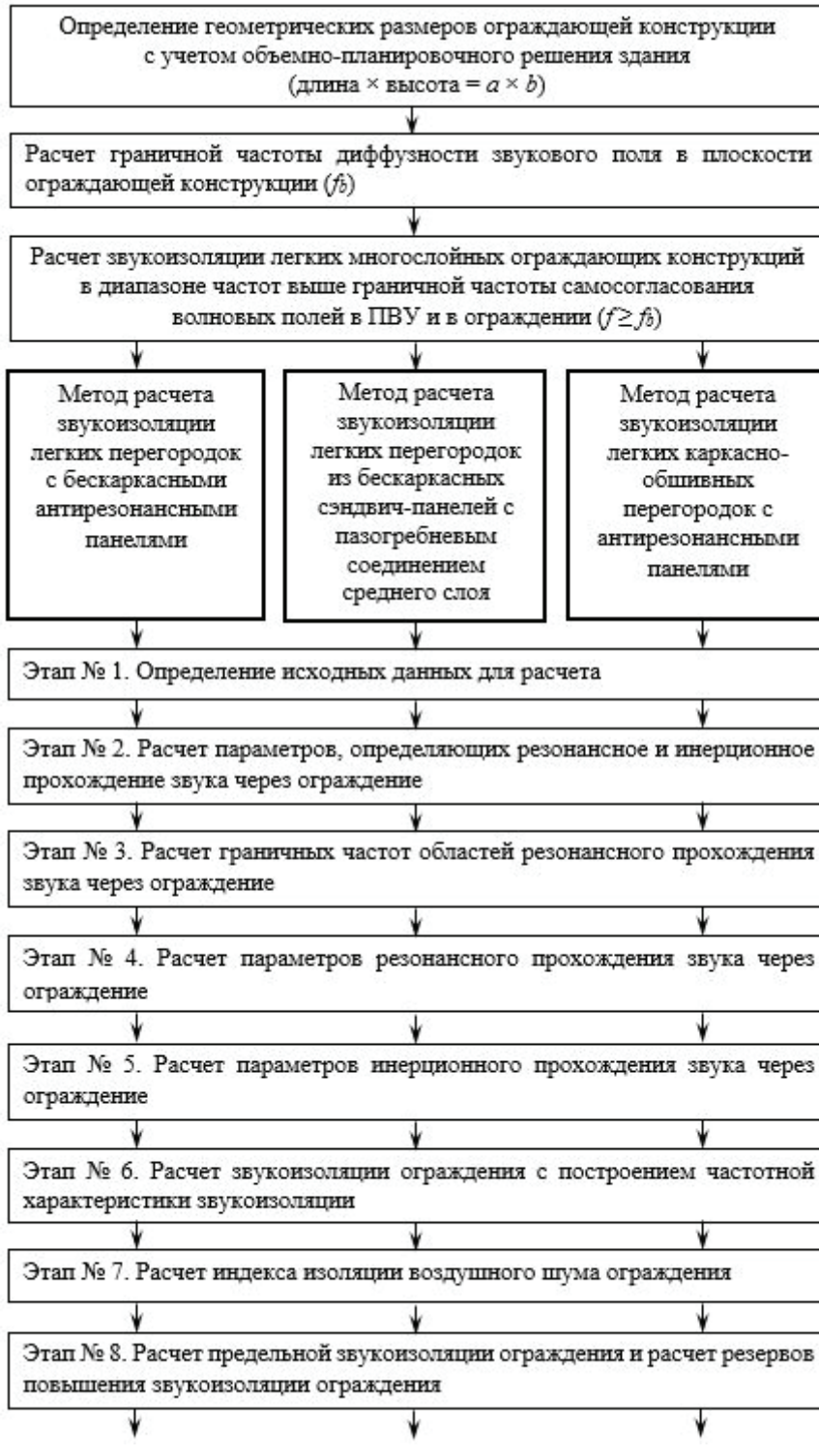


Рис. 5. Теоретические частотные характеристики звукоизоляции легкой каркасно-обшивной перегородки с антирезонансными панелями, с двойным каркасом (геометрические размеры перегородки $a \times b$ = 2,2 × 2,65 м; обшивки из ГВЛ толщиной h_1 = 12,5 мм; общая толщина перегородки h_{en} = 130 мм): *1* – по методу расчета, предполагающим диффузное звуковое поле в плоскости ограждения во всем рассматриваемом диапазоне частот; *2* – по методу расчета звукоизоляции ниже граничной частоты

Блок-схема применения методологии

Полученная методология включает в себя четыре метода расчета звукоизоляции различных типов легких ограждающих конструкций и методику оценки эффективности ограждений по сравнению с ограждениями-аналогами [9]. Блок-схема применения методологии представлена на рис. 6.

Блок-схема


Определение геометрических размеров ограждающей конструкции с учетом объемно-планировочного решения здания (длина × высота = $a \times b$)
Расчет граничной частоты диффузности звукового поля в плоскости ограждающей конструкции (f_b)
Расчет звукоизоляции легких многослойных ограждающих конструкций в диапазоне частот выше граничной частоты самосогласования волновых полей в ПВУ и в ограждении ($f \geq f_b$)
Метод расчета звукоизоляции легких перегородок с бескаркасными антирезонансными панелями
Метод расчета звукоизоляции легких перегородок из бескаркасных сэндвич-панелей с пазогребневым соединением среднего слоя
Метод расчета звукоизоляции легких каркасно-обшивных перегородок с антирезонансными панелями
Этап № 1. Определение исходных данных для расчета
Этап № 2. Расчет параметров, определяющих резонансное и инерционное прохождение звука через ограждение
Этап № 3. Расчет граничных частот областей резонансного прохождения звука через ограждение
Этап № 4. Расчет параметров резонансного прохождения звука через ограждение
Этап № 5. Расчет параметров инерционного прохождения звука через ограждение
Этап № 6. Расчет звукоизоляции ограждения с построением частотной характеристики звукоизоляции
Этап № 7. Расчет индекса изоляции воздушного шума ограждения
Этап № 8. Расчет предельной звукоизоляции ограждения и расчет резервов повышения звукоизоляции ограждения

Продолжение

Окончание

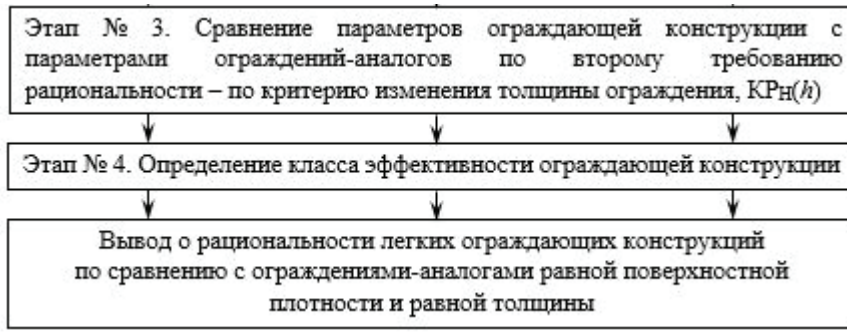


Рис. 6. Блок-схема методологии расчета звукоизоляции и разработки рациональных конструктивных решений легких многослойных ограждающих конструкций

Применение полученной методологии позволяет проводить расчеты звукоизоляции легких многослойных ограждений и разрабатывать на этой основе рациональные конструктивные решения с учетом внутренних резервов. Это позволяет обеспечивать выполнение нормативных требований по звукоизоляции легких перегородок без значительного увеличения поверхностной плотности и толщины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Седов, М. С. Звукоизоляция / М. С. Седов. – Текст : непосредственный // Техническая акустика транспортных машин : справочник / Л. Г. Балишанская [и др.] ; под редакцией Н. И. Иванова. – Санкт-Петербург, 1992. – Гл. 4. – С. 68–105. – ISBN 5-7325-0090-1.

2. Резервы повышения звукоизоляции однослойных ограждающих конструкций : монография / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, В. А. Тишков, Д. В. Монич ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2014. – 118 с. – ISBN 978-5-87941-998-6. – Текст : непосредственный.

3. Монич, Д. В. Метод расчета звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок / Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 30–39.

4. Бобылев, В. Н. Звукоизоляция однослойных легких перегородок с антирезонансными панелями / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич, Д. С. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 46–55.

5. Монич, Д. В. Метод расчета звукоизоляции легких перегородок с бескаркасными антирезонансными панелями / Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2021. – №12. – С. 27–33.

6. Erofeev, V. I. Sound insulation properties of sandwich panels / V. I. Erofeev, D. V. Monich // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Volume 896, Issue 1, 12 August. – № 012005 DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012005.

7. Способы повышения звукоизоляции бескаркасных сэндвич-панелей / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич, Д. С. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 2. – С. 32–45.

8. Монич, Д. В. Метод расчета звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок / Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 30–39

9. Монич, Д. В. Метод оценки эффективности звукоизолирующих легких ограждающих конструкций / Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 17–29.

MONICH Dmitry Viktorovich, candidate of technical science, professor of the chair of architecture

METHODOLOGY FOR CALCULATING SOUND INSULATION AND DEVELOPMENT OF RATIONAL DESIGN SOLUTIONS OF LIGHTWEIGHT ENCLOSURES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-46;
e-mail: dmitriy.monich@mail.ru
Key words: sound insulation, lightweight enclosing structures, rational design solution, self-coincidence of wave fields, cutoff frequency, diffuse wave field.

The methodology for calculating sound insulation and developing rational design solutions for light enclosing structures has been obtained. It is intended for use in the design of sound insulating enclosing structures between the rooms of civil and industrial buildings. The methodology includes four methods for calculating sound insulation of various types of lightweight enclosing structures and a methodology for assessing the effectiveness of enclosures in comparison with enclosures-analogous. The application of the methodology makes it possible to meet the regulatory requirements of sound insulation of lightweight partitions without a significant increase of surface density and thickness.

REFERENCES

1. Sedov M. S. Zvukoizolyatsiya [Sound insulation]. Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin [Technical acoustics of transport vehicles]: spravochnik, pod red. N. I. Ivanova. Saint Petersburg: 1992. Ch. 4. P. 68–105. – ISBN 5-7325-0090-1.

2. Bobylyov V. N., Tishkov V. A., Monich D. V., Grebnev P. A. Rezervy povysheniya zvukoizolyatsii odnosloynykh ograzhdayuschikh konstruktsiy [Reserves for improving sound insulation of single-layer enclosing structures]. Monografiya, Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2014. – 118 p. – ISBN 978-5-87941-998-6.

3. Monich D. V. Metod raschyota zvukoizolyatsii karkasno-obshivnykh peregorodok [Calculation method of sound insulation of frame-sheathing partitions] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021, № 4. – P. 30–39.

4. Bobylyov V. N. Grebnev P. A., Erofeev V. I., Monich D. V., Kuzmin D. S. Zvukoizolyatsiya odnosloynykh lyogkikh peregorodok s antirezonansnymi panelyami [Sound insulation of single-layer lightweight partitions with anti-resonant panels] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021, № 3. – P. 46–55.

5. Monich D. V. Metod raschyota zvukoizolyatsii lyogkikh peregorodok s beskarkasnymi antirezonansnymi panelyami [Method for calculating sound insulation of light partitions with frameless anti-resonant panels] // Zhilischnoe stroitelstvo [Housing construction]. 2021. № 12. – P. 27–33.

6. Erofeev V. I., Monich D. V. Sound insulation properties of sandwich panels // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Volume 896, Issue 1, 12 August 2020, № 012005 DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012005.

7. Bobylyov V. N., Grebnev P. A., Erofeev V. I., Monich D. V., Kuzmin D. S. Sposoby povysheniya zvukoizolyatsii beskarkasnykh sendvich-paneley [Ways to improve sound insulation of frameless sandwich panels] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021, № 2. – P. 32–45.

8. Monich D. V. Metod raschyota zvukoizolyatsii karkasno-obshivnykh peregorodok [Calculation method of sound insulation of frame-sheathing partitions] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021, № 4. – P. 30–39.

9. Monich D. V. Metod otsenki effektivnosti zvukoizoliruyuschikh lyogkikh ograzhdayuschikh konstruktsiy [Method for assessing effectiveness of soundproof lightweight enclosing structures] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. № 4. – P. 17–29.

© Д. В. Монич, 2022
Получено: 27.12.2021 г.

УДК 699.844

Д. В. МОНИЧ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры

МЕТОД РАСЧЕТА ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ КАРКАСНО-ОБШИВНЫХ ПЕРЕГОРОДОК С АНТИРЕЗОНАНСНЫМИ ПАНЕЛЯМИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-46; эл. почта: dmitriy.monich@mail.ru
Ключевые слова: звукоизоляция, резонансное прохождение звука, инерционное прохождение звука, самосогласование волновых полей, каркасно-обшивная перегородка, антирезонансные панели.

Представлен теоретический метод расчета звукоизоляции нового типа звукоизолирующего ограждения – каркасно-обшивных перегородок с антирезонансными панелями. Метод разработан на базе теории самосогласования волновых полей. Предназначен для применения при проектировании звукоизолирующих ограждающих конструкций между помещениями гражданских и промышленных зданий. Приведено сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных измерений в лабораторных условиях.

Каркасно-обшивные перегородки являются распространенным типом многослойных ограждающих конструкций, широко применяемым в гражданском и промышленном строительстве.

Исследованиями звукоизоляции данного типа ограждений занимаются зарубежные и российские ученые. В работах [1], [2] исследовано прохождение звука через различные типы каркасно-обшивных перегородок, в том числе с применением методов компьютерного моделирования. Влияние жесткости стоечных профилей каркаса на звукоизоляцию перегородок исследовано в работе [3]. Звукоизоляция каркасно-обшивных перегородок с обшивками из слоистых элементов исследована в работе [4].

В Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете (ранее – ГИСИ им. В. П. Чкалова) научной школой М. С. Седова проводятся

теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляции ограждающих конструкций на базе теории самосогласования волновых полей [5]. В статье [6] представлен метод расчета звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок конечных геометрических размеров, с каркасом из тонкостенных стальных профилей, с учетом резонансного и инерционного прохождения звука.

В данной статье представлен метод расчета звукоизоляции нового типа звукоизолирующего ограждения – каркасно-обшивных перегородок с антирезонансными панелями. Данный тип звукоизолирующего ограждения разработан на кафедре архитектуры ННГАСУ и запатентован [7]. На рис. 1 приведена схема конструктивного решения рассматриваемого ограждения.

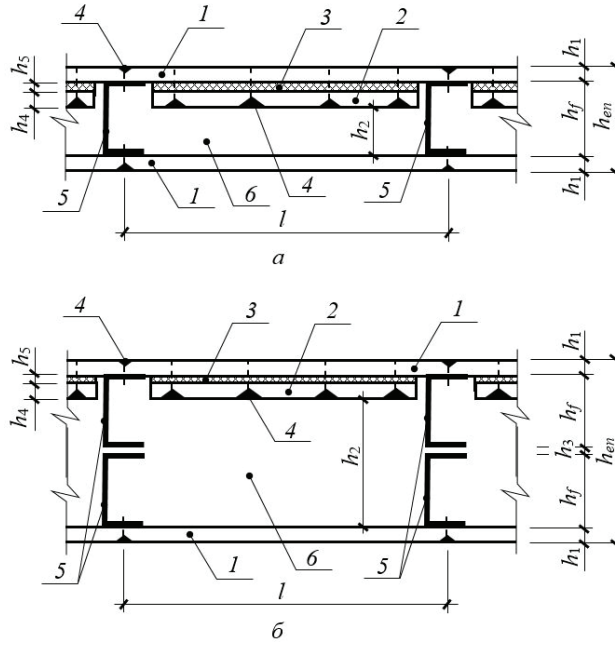


Рис. 1. Схема конструктивного решения каркасно-обшивной перегородки с антирезонансными панелями (общая толщина ограждения h_{en}): *а* – с одинарным каркасом; *б* – с двойным каркасом: *1* – листовая обшивка толщиной h_1; *2* – антирезонансная панель толщиной $h_4 = h_1$; *3* – сплошной слой упругого материала толщиной h_5; *4* – элементы крепления (стальные саморезы); *5* – стоечные профили каркаса; *6* – воздушный промежуток между листовыми обшивками толщиной h_2

Можно видеть, что разработанное конструктивное решение обеспечивает следующие преимущества перед ограждениями-аналогами: 1) расположение антирезонансных панелей внутри воздушного промежутка между листовыми обшивками не приводит к увеличению толщины перегородки; 2) в воздушном промежутке между листовыми обшивками не требуется размещение звукопоглощающего материала.

Метод расчета включает в себя шесть этапов: определение граничных частот областей резонансного прохождения звука через перегородку, расчет коэффициентов резонансного прохождения звука через перегородку, расчет коэффициентов инерционного прохождения звука через перегородку, расчет звукоизоляции перегородки, расчет индекса изоляции воздушного шума перегородки и его сравнение с нормативными требованиями, оценку рациональности конструктивного реше-

ния звукоизолирующего ограждения по сравнению с аналогами.

Рассмотрим плоскую прямоугольную каркасно-обшивную перегородку конечных геометрических размеров (длина × высота = $a \times b$), с шарнирным опиранием по контуру. Перегородка расположена между двумя помещениями: помещением высокого уровня (ПВУ) с источником шума и помещением низкого уровня (ПНУ), защищаемым от шума. Со стороны ПВУ на перегородку действует диффузное звуковое поле. Звукоизоляция ограждающих конструкций определяется с учетом резонансного прохождения звука в режиме собственных колебаний и инерционного прохождения звука в режиме вынужденных колебаний [5]:

$$R = 10\lg\left(\frac{1}{\tau_r + \tau_i}\right), \quad (1)$$

где τ_r – коэффициент резонансного прохождения звука через перегородку; τ_i – коэффициент инерционного прохождения звука через перегородку.

Коэффициенты резонансного и инерционного прохождения звука для двойных ограждений с воздушным промежутком определяются по формулам [5]:

$$\tau_r = \tau_{sr} + \tau_{1r}\tau_{2r}, \quad (2)$$

где τ_{sr} – коэффициент резонансного прохождения звука через обе обшивки с упругой связью между ними; τ_{1r} – коэффициент резонансного прохождения звука через обшивку со стороны ПВУ; τ_{2r} – коэффициент резонансного прохождения звука через обшивку со стороны ПНУ

$$\tau_i = \tau_{si} + \tau_{1i}\tau_{2i}, \quad (3)$$

где τ_{si} – коэффициент инерционного прохождения звука через обе обшивки с упругой связью между ними; τ_{1i} – коэффициент инерционного прохождения звука через обшивку со стороны ПВУ; τ_{2i} – коэффициент инерционного прохождения звука через обшивку со стороны ПНУ.

Расчет проводится в третьоктавных полосах частот. В исследовательских целях принят следующий расчетный диапазон: f = 50–5 000 Гц, что шире нормируемого диапазона частот (f = 100–3 150 Гц). Метод расчета состоит из шести этапов.

Этап № 1. Определение граничных частот областей резонансного прохождения звука через перегородку

1) Граничная частота области неполных пространственных резонансов (НПР) для каркасно-обшивной перегородки определяется по формуле [5]:

$$f_{bmn0} = \frac{c_0\sqrt{a^2 + 4b^2}}{4ab} + \Delta f_{bmn0}, \quad (4)$$

где c_0 – скорость звука в воздухе, м/с; a, b – длина и высота ограждения, соответственно, м; Δf_{bmn0} – положительная по знаку поправка до ближайшей большей частоты собственных колебаний листовой обшивки, Гц.

2) Стоечные профили каркаса формируют по длине перегородки отдельные прямоугольные ячейки. Это приводит к появлению дополнительных условий самосогласования волновых полей в пределах данных ячеек. Длина ячейки каркаса принимается равной шагу стоечных профилей каркаса перегородки ($a_1 = l$). Граничная частота области НПР для ячейки каркаса вычисляется по формуле:

$$f_{bmn0(fc)} = \frac{c_0\sqrt{a_1^2 + 4b^2}}{4a_1 b} + \Delta f_{bmn0}, \quad (4а)$$

где c_0 – скорость звука в воздухе, м/с; a_1, b – длина и высота ячейки каркаса, со-

ответственно; Δf_{bmn0} – положительная по знаку поправка до ближайшей большей частоты собственных колебаний листовой обшивки.

3) Граничная частота области полных пространственных резонансов (ППР) для каркасно-обшивной перегородки определяются по формуле [5]:

$$f_{bmn} = \frac{c_0^2}{2\pi}\sqrt{\frac{\mu}{D}}, \quad (5)$$

где c_0 – скорость звука в воздухе, м/с; μ – поверхностная плотность листовой обшивки, кг/м^2; D – цилиндрическая жесткость листовой обшивки, Па·м^3.

4) Резонансная частота системы «масса-упругость-масса» («листовая обшивка-воздушный промежуток-листовая обшивка») определяется по известной формуле, которая для случая одинаковых листовых обшивок записывается в следующем виде:

$$f_{msm} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2E_0}{h_2\mu_1}}, \quad (6)$$

где E_0 – динамический модуль упругости материала воздуха, Па; μ_1 – поверхностная плотность листовых обшивок перегородки, кг/м^2; h_2 – толщина воздушного промежутка между листовыми обшивками, м.

5) Резонансная частота системы «масса-упругость-масса» для антирезонансной панели («листовая обшивка-упругий слой-антирезонансная панель») определяется по известной формуле, которая в случае одинаковых материалов для листовых обшивок и антирезонансных панелей записывается в следующем виде:

$$f_{msm(\text{АРП})} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2E_2}{h_5\mu_1}}, \quad (7)$$

где E_2 – динамический модуль упругости материала упругого слоя, расположенного между листовой обшивкой и антирезонансными панелями, Па; μ_1 – поверхностная плотность листовых обшивок перегородки, кг/м^2; h_5 – толщина упругого слоя, расположенного между листовой обшивкой и антирезонансными панелями, м.

Этап № 2. Расчет коэффициента резонансного прохождения звука через перегородку

Расчет проводится в областях резонансного прохождения звука с различными условиями самосогласования волновых полей в ПВУ и ПНУ с волновым полем собственных колебаний перегородки: в области простых пространственных резонансов (ПрПР), неполных пространственных резонансов (НПР), полных пространственных резонансов (ППР). С учетом изменения условий дополнительного самосогласования волновых полей в ячейках каркаса ($a_1 \times b$) за счет колебаний антирезонансной панели формула (2) для расчета коэффициента резонансного прохождения звука перепишется в следующем виде:

1) в диапазоне частот ниже резонансной частоты системы «масса-упругость-масса» для антирезонансной панели ($f < f_{msm(\text{АРП})}$):

$$\tau_r = \tau_{sr} + \tau_{1r}\tau_{2r(f<\text{АРП})}, \quad (8)$$

где τ_{sr} – коэффициент резонансного прохождения звука через обе обшивки с упругой связью между ними; τ_{1r} – коэффициент резонансного прохождения звука через обшивку со стороны ПВУ; $\tau_{2r(f<\text{АРП})}$ – коэффициент резонансного прохождения звука через обшивку со стороны ПНУ, рассчитанный для ячейки каркаса ($a_1 \times b$) с учетом антирезонансной панели;

2) в диапазоне частот выше резонансной частоты системы «масса-упругость-масса» для антирезонансной панели ($f \geq f_{msm(\text{АРП})}$) справедлива формула (2).

Коэффициент прохождения звука через обе листовые обшивки с упругой связью между ними определяется по формуле [5]:

$$\tau_{sr} = \frac{1}{\frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2}\frac{\mu^2 f^2}{A^2}\left(\frac{f^2}{f_{msm}^2}-1\right)^2+1}, \quad (9)$$

где $\rho_0 c_0$ – характеристический импеданс воздуха; μ – поверхностная плотность перегородки, кг/м^2; f – текущая частота звука, Гц; A – характеристика самосогласования собственного волнового поля обшивок со звуковыми полями в ПВУ и ПНУ; f_{msm} – резонансная частота системы «масса-упругость-масса» («листовая обшивка-воздушный промежуток-листовая обшивка»), Гц.

Коэффициенты резонансного прохождения звука через первую и вторую обшивки перегородки определяются по формулам [14]:

1) в областях ПрПР и НПР ($f_{bm0n0} < f < f_{bmn}$):

$$\tau_{1r} = \frac{1}{\frac{1{,}15\pi^3}{8\rho_0^2 c_0^2 A^4}\mu_1^2 f^2 \eta_1 \cos^2\theta_m + 1}, \quad (10)$$

$$\tau_{2r} = \frac{1}{\frac{1{,}15\pi^3}{8\rho_0^2 c_0^2 A^4}\mu_1^2 f^2 \eta_1 \cos^2\theta_2 + 1}, \quad (11)$$

где $\rho_0 c_0$ – характеристический импеданс воздуха; A – характеристика самосогласования собственного волнового поля обшивок со звуковыми полями в ПВУ и ПНУ; μ_1 – поверхностная плотность обшивки, кг/м^2; f – текущая частота звука, Гц; η_1 – коэффициент потерь материала обшивки; θ_m = 51,76°– средний угол падения волн диффузного звукового поля на перегородку со стороны ПВУ; θ_2 – угол падения звуковых волн из объема воздушного промежутка на обшивку со стороны ПНУ, градус.

2) в области ППР ($f > f_{bmn}$):

$$\tau_{1r} = \frac{1}{\frac{8\pi}{\rho_0^2 c_0^2}\mu_1^2 \frac{f^3}{f_{bmn}}\eta_1 \cos\theta_m \sqrt{1-\frac{f_{bmn}}{f}}+1}, \quad (12)$$

$$\tau_{2r} = \frac{1}{\frac{8\pi}{\rho_0^2 c_0^2}\mu_1^2 \frac{f^3}{f_{bmn}}\eta_1 \cos\theta_2 \sqrt{1-\frac{f_{bmn}}{f}}+1}, \quad (13)$$

где $\rho_0 c_0$; μ_1, η_1, θ_m; f – то же, что в формуле (11); f_{bmn} – граничная частота области ППР для листовой обшивки, Гц.

Этап № 3. Расчет коэффициента инерционного прохождения звука через перегородку

Расчет проводится по формуле (3), при этом коэффициент инерционного прохождения звука через обе обшивки с упругой связью между ними определяется по формуле [5]:

$$\tau_{si} = \frac{1}{\frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2}\frac{\mu^2 f^2}{F_{1i}^2}\left(\frac{f^2}{f_{msm}^2}-1\right)^2+1}, \quad (14)$$

где $\rho_0 c_0$ – характеристический импеданс воздуха; μ – поверхностная плотность перегородки, кг/м^2; f – текущая частота звука, Гц; F_{1i} – функция отклика обшивки со стороны ПВУ; f_{msm} – резонансная частота системы «масса-упругость-масса» («листовая обшивка-воздушный промежуток-листовая обшивка»), Гц.

Коэффициенты инерционного прохождения звука через первую и вторую обшивки перегородки определяются по формулам [5]:

$$\tau_{1i} = \frac{1}{\frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2}\frac{\mu_1^2 f^2 \cos^2\theta_m}{F_{1i}^2}+1}, \qquad (15)$$

$$\tau_{2i} = \frac{1}{\frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2}\frac{\mu_1^2 f^2 \cos^2\theta_2}{F_{2i}^2}+1},$$

где $\rho_0 c_0$ – характеристический импеданс воздуха; μ_1 – поверхностная плотность обшивки, кг/м^2; f – текущая частота звука, Гц; θ_m = 51,76° – средний угол падения волн диффузного звукового поля на перегородку со стороны ПВУ; θ_2 – угол падения звуковых волн из объема воздушного промежутка на обшивку со стороны ПНУ, градус; F_{1i}, F_{2i} – функции отклика обшивок перегородки в режиме инерционных колебаний.

На рис. 2 представлены частотные характеристики коэффициентов прохождения звука через каркасно-обшивную перегородку с антирезонансными панелями, с двойным каркасом, рассчитанные по вышеприведенным формулам.

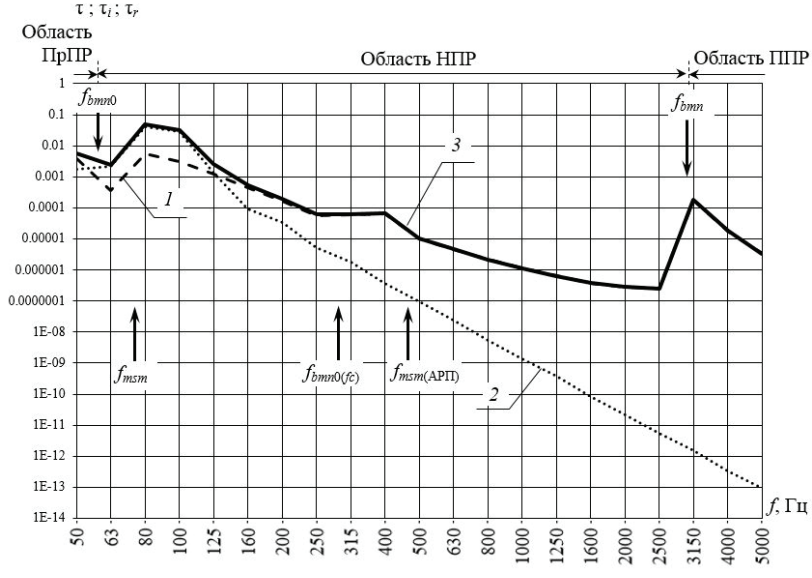


Рис. 2. Теоретические частотные характеристики коэффициентов прохождения звука через каркасно-обшивную перегородку с антирезонансными панелями, с двойным каркасом ($a \times b$ = 4,2×2,5 м; толщина воздушного промежутка между листовыми обшивками h_2 = 89 мм; облицовки из ГВЛ, h_1 = 12,5 мм; шаг стоечных профилей каркаса a_1 = 0,6 м, h_f = 50 мм, h_3 = 5 мм; антирезонансные панели из ГВЛ, h_4 = 12,5 мм; упругий слой из матов полиэфирного волокна, h_5 = 12,5 мм; общая толщина перегородки h_{en} = 130 мм): *1* – коэффициент резонансного прохождения звука через перегородку (τ_r); *2* – коэффициент инерционного прохождения звука через перегородку (τ_i); *3* – суммарный коэффициент прохождения звука через перегородку (τ)

Этап № 4. Расчет звукоизоляции перегородки

Расчет проводится по формуле (1), с учетом рассчитанных на предыдущих этапах значений коэффициента резонансного прохождения звука (τ_r) и коэффициента резонансного прохождения звука (τ_i). По результатам проведенного расчета строится частотная характеристика звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки с антирезонансными панелями. На рис. 3 приведено сравнение теоретических и экспериментальных значений звукоизоляции исследуемой перегородки с двойным каркасом.

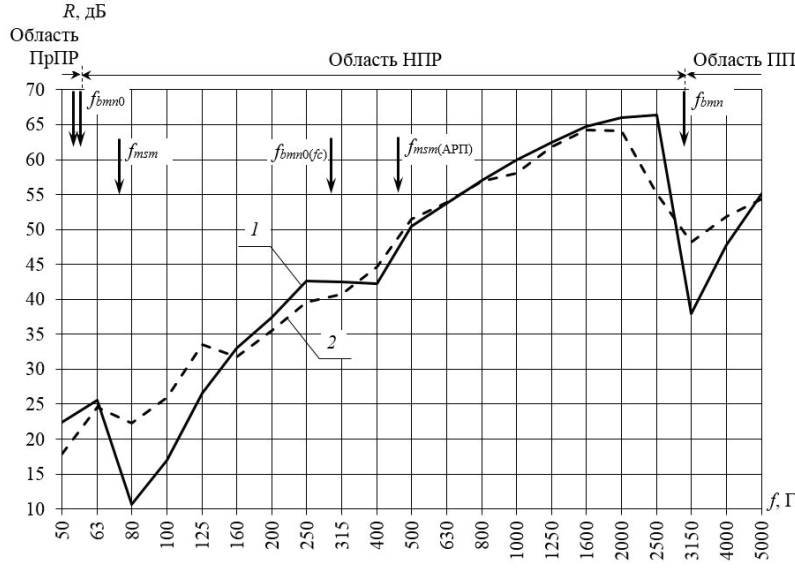


Рис. 3. Частотные характеристики звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки с антирезонансными панелями, с двойным каркасом ($a \times b$ = 4,2×2,5 м; толщина воздушного промежутка между листовыми обшивками h_2 = 89 мм; облицовки из ГВЛ, h_1 = 12,5 мм; шаг стоечных профилей каркаса a_1 = 0,6 м, h_f= 50 мм, h_3 = 5 мм; антирезонансные панели из ГВЛ, h_4 = 12,5 мм; упругий слой из матов полиэфирного волокна, h_5 = 12,5 мм; общая толщина перегородки h_{en} = 130 мм): *1* – результаты теоретического расчета по разработанному методу; *2* – результаты экспериментальных лабораторных измерений

Экспериментальные измерения проведены в лабораторных условиях, в Больших акустических камерах ННГАСУ ($V_{КВУ}$ = 259 м^3, $V_{КНУ}$ = 211 м^3). На частотные характеристики нанесены граничные частоты областей резонансного прохождения звука: для области НПР (f_{bmn0}), для области НПР ячейки каркаса ($f_{bmn0(fc)}$), для области ППР (f_{bmn}), а также резонансная частота системы «масса-упругость-масса» («листовая обшивка-воздушный промежуток-листовая обшивка»), f_{msm} и резонансная частота системы «масса-упругость-масса» («листовая обшивка-упругий слой-антирезонансная панель»), f_{msm}(АРП), определенные на этапе № 1 расчета.

На рис. 4 приведены результаты сравнения экспериментальных частотных характеристик звукоизоляции каркасно-обшивной перегородки с антирезонансными панелями с двумя ограждениями-аналогами: 1) каркасно-обшивная перегородка равной поверхностной плотности; 2) каркасно-обшивная перегородка равной толщины.

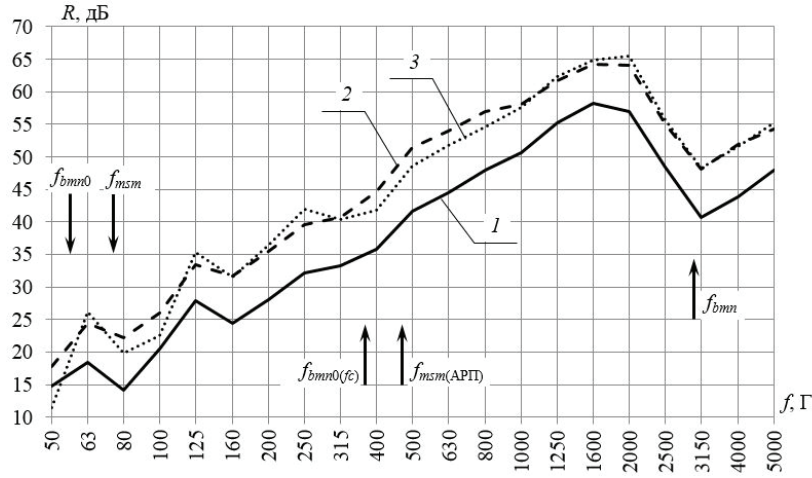


Рис. 4. Экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с двойным каркасом: *1* – ограждение-аналог равной толщины (перегородка без антирезонансных панелей: толщина воздушного промежутка между листовыми обшивками h_2 = 105 мм; общая толщина перегородки h_{en} = 130 мм); *2* – исследуемая перегородка с антирезонансными панелями (толщина воздушного промежутка между листовыми обшивками h_2 = 89 мм; общая толщина перегородки h_{en} = 130 мм); *3* – ограждение-аналог равной поверхностной плотности (перегородка без антирезонансных панелей, с одной стороны выполнены двойные обшивки из ГВЛ: толщина воздушного промежутка между листовыми обшивками h_2 = 105 мм; общая толщина перегородки h_{en} = 143 мм)

Анализируя результаты, представленные на рис. 4, можно сделать следующие выводы:

1) перегородка с антирезонансными панелями (кривая 2) во всем рассматриваемом диапазоне частот имеет сравнимую или более высокую звукоизоляцию (на 1–3 дБ в диапазоне 400–800 Гц) по сравнению с перегородкой равной поверхностной плотности (кривая 3);

2) звукоизоляция перегородки с антирезонансными панелями (кривая 2) во всем рассматриваемом диапазоне частот превышает звукоизоляцию (на 3–10 дБ) перегородки равной толщины (кривая 1).

Высокая эффективность антирезонансных панелей обеспечивается за счет явления волноводной изоляции изгибных волн [9]–[11] в листовых обшивках перегородки. Ранее данное явление было успешно применено для разработки легкой перегородки с антирезонансными панелями [12].

Этап № 5. Расчет индекса изоляции воздушного шума перегородки и его сравнение с нормативными требованиями

Расчет индекса изоляции воздушного шума (R_w, дБ) и его сравнение с нормативными требованиями проводится в соответствии с требованиями СП 51.13330 «Защита от шума», с учетом изм. № 1.

Этап № 6. Оценка рациональности конструктивного решения звукоизолирующего ограждения по сравнению с аналогами

Оценка проводится по методу, представленному в работе [8] – по критерию функциональности и двум критериям рациональности звукоизолирующих ограждающих конструкций.

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработан новый тип звукоизолирующего ограждения – легкая каркасно-обшивная перегородка с антирезонансными панелями. Перегородка обладает преимуществами по сравнению с ограждениями-аналогами равной поверхностной плотности и равной толщины.

2. На базе теории самосогласования волновых полей разработан метод расчета звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с антирезонансными панелями, с учетом резонансного и инерционного прохождения звука.

3. На примере перегородки с двойным каркасом проведено сравнение результатов теоретического расчета по разработанному методу с результатами лабораторных экспериментальных измерений:

– разработанный метод расчета обеспечивает хорошее соответствие (отклонения в пределах ± 2 дБ) и удовлетворительное соответствие (отклонения в пределах ± 5 дБ) с экспериментальными лабораторными результатами для большинства третьоктавных частот нормируемого диапазона (100–3150 Гц);

– разработанный метод расчета звукоизоляции не обеспечивает соответствие теоретических и экспериментальных результатов в следующих частотных диапазонах:

– в диапазоне низких частот (80–125 Гц). Данный результат можно объяснить снижением диффузности звукового поля в диапазоне частот ниже граничной частоты диффузности реверберационной камеры высокого уровня ($V_{КВУ}$ = 259 м^3; f_{diff} = 111 Гц), т. к. теоретический метод расчета основан на предположении о диффузном звуковом поле в помещении с источником шума;

– в диапазонах высоких частот (2500–4000 Гц). Данный результат можно объяснить несовершенством метода расчета, который не обеспечивает необходимую точность в области ППР из-за неполных исходных данных по частотной зависимости коэффициента потерь материала листовых обшивок (η_1).

В дальнейшем планируется продолжение исследований звукоизолирующих свойств каркасно-обшивных перегородок с антирезонансными панелями с целью повышения точности метода расчета звукоизоляции в диапазонах низких и высоких частот.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sound transmission through lightweight double-leaf partitions: theoretical modelling / J. Wang,T. J. Lu, J. Woodhouse, R. S. Langley, J. Evans // Journal of Sound and Vibration. – 2005. – № 286. – P. 817–847.

2. Wyngaert, J.C.E. Predicting the sound insulation of finite double-leaf walls with a flexible frame / J. C. E. Wyngaert, M. Schevenels, P. B. Reynders Edwin // Applied Acoustics. – 2018. – № 141. – P. 93–105.

3. Дымченко, В. В. Метод расчета звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок с одинарным каркасом / В. В. Дымченко. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород. – 2018. – № 4. – С. 29–34.

4. Кочкин, А. А. Снижение шума в помещениях при эксплуатации и реконструкции зданий / А. А. Кочкин, А. В. Иванова. – Текст : непосредственный // Вестник Вологодского государственного университета. Серия «Технические науки». – 2021. – № 2. – С. 67–69.

5. Седов, М. С. Звукоизоляция / М. С. Седов. – Текст : непосредственный // Техническая акустика транспортных машин : справочник / Л. Г. Балишанская, Л. Ф. Дроздова,

Н. И. Иванов [и др.] ; под редакцией Н. И. Иванова. – Санкт-Петербург, 1992. – Глава 4. – С. 68–105. – ISBN 5-7325-0090-1.

6. Монич, Д. В. Метод расчета звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок / Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 30–39.

7. Патент Российская Федерация. Звукоизолирующие ограждение : № 2021129960 : заявл. 12.10.2021 / В. Н. Бобылев, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич, П. А. Гребнев, Д. С. Кузьмин ; правообладатель Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Текст : непосредственный.

8. Монич, Д. В. Метод оценки эффективности звукоизолирующих легких ограждающих конструкций / Д. В. Монич. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 17–29.

9. Ковинская, С. И. О волноводной изоляции изгибных волн / С. И. Ковинская, А. С. Никифоров. – Текст : непосредственный // Акустический журнал. – 1982. – Том XXVIII, Выпуск 6. – С. 792–798.

10. Исакович, М. А. Экспериментальные исследования виброизоляции изгибных волн, создаваемой импедансными системами / М. А. Исакович, В. И. Кашина, В. В. Тютекин. – Текст : непосредственный // Акустический журнал. – 1977. – Том XXIII, № 3. – С. 384–389.

11. Клюкин, И. И. Об ослаблении волн изгиба в стержнях и пластинах при помощи резонансных колебательных систем / И. И. Клюкин. – Текст : непосредственный // Акустический журнал. – 1960. – Том VI, Выпуск 2. – С. 213–219.

12. Бобылев, В. Н. Звукоизоляция однослойных легких перегородок с антирезонансными панелями / В. Н. Бобылев, П. А. Гребнев, В. И. Ерофеев, Д. В. Монич, Д. С. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 46–55.

MONICH Dmitry Viktorovich, candidate of technical science, professor of the chair of architecture

CALCULATION METHOD OF SOUND INSULATION OF FRAME-SHEATHING PARTITIONS WITH ANTI-RESONANT PANELS

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

Key words: sound insulation, resonant sound transmission, inertial sound transmission, self-coincidence of wave fields, frame-sheathing partition, anti-resonant panels.

A theoretical method for calculating sound insulation of a new type of soundproof enclosure, i.e. frame-sheathing partitions with anti-resonant panels is presented. The method is developed on the basis of the theory of self-coincidence of wave fields. It is intended for use in the design of soundproof enclosing structures between rooms of civil and industrial buildings. A comparison of the results of theoretical calculations and experimental measurements in laboratory conditions is presented.

REFERENCES

1. Wang J., Lu T. J., Woodhouse J., Langley R. S., Evans J. Sound transmission through lightweight double-leaf partitions: theoretical modelling // Journal of Sound and Vibration, 286, 2005. – P. 817–847.

2. Wyngaert J. C. E., Schevenels M., Reynders Edwin P. B. Predicting the sound insulation of finite double-leaf walls with a flexible frame // Applied Acoustics, 141, 2018. – P. 93–105.

3. Dymchenko V. V. Metod raschyota zvukoizolyatsii karkasno-obshivnykh peregorodok s odinarnym karkasom [Method for calculating sound insulation of frame-sheathing partitions with a single frame] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2018. № 4. – P. 29–34.

4. Kochkin A. A., Ivanova A. V. Snizhenie shuma v pomescheniyakh pri ekspluatatsii i rekonstruktsii zdaniy [Noise control in rooms during the operation and reconstruction of buildings] // Vestnik Vologodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki [Bulletin of the Vologoda State University. Series: Engineering]. 2021. № 2. – P. 67–69.

5. Sedov M. S. Zvukoizolyatsiya [Sound insulation]. Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin [Technical acoustic of transport vehicles]: spravochnik, L.G. Balishanskaya, L. F. Drozdova, N. I. Ivanov, et al.; pod red. N. I. Ivanova. Saint-Petersburg, 1992. Ch. 4. P. 68–105. – ISBN 5-7325-0090-1.

6. Monich D. V. Metod raschyota zvukoizolyatsii karkasno-obshivnykh peregorodok [Calculation method of sound insulation of frame-sheathing partitions] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021. № 4. – P. 30–39.

7. Patent RF. Zvukoizoliruyuschie ograzhdeniya [Soundproof enclosures]: № 2021129960: zayavl. 12.10.2021 / V. N. Bobylyov, V. I. Erofeev, D. V. Monich, P. A. Grebnev, D. S. Kuzmin. Pravoobladatel Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t.

8. Monich D. V. Metod otsenki effektivnosti zvukoizoliruyuschikh lyogkikh ograzhdayuschikh konstruktsiy [Method for assessing the effectiveness of sound insulating lightweight buildibg enclosues] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021. № 4. – P. 17–29.

9. Kovinskaya S. I., Nikiforov A. S. O volnovodnoy izolyatsii izgibnykh voln [About waveguide insulation of flexural waves] // Akusticheskiy zhurnal [Acoustic journal]. 1982. Vol. XXVIII, Issue 6. – P. 792–798.

10. Isakovich M. A., Kashina V. I., Tyutekin V. V. Eksperimentalnye issledovaniya vibroizolyatsii izgibnykh voln, sozdavaemoy impedansnymi sistemami [Experimental studies of vibration isolation of flexural waves created by impedance systems] // Akusticheskii zhurnal [Acoustic journal]. 1977. Vol. XXIII, № 3. – P. 384–389.

11. Klyukin I. I. Ob oslablenii voln izgiba v sterzhnyakh i plastinakh pri pomoschi rezonansnykh kolebatelnykh sistem [On the attenuation of bending waves in rods and plates using resonant vibrational systems] // Akusticheskiy zhurnal [Acoustic journal]. 1960. Vol. VI, Issue 2. – P. 213–219.

12. Bobylyov V. N. Grebnev P. A., Erofeev V. I., Monich D. V., Kuzmin D. S. Zvukoizolyatsiya odnosloynykh lyogkikh peregorodok s antirezonansnymi panelyami [Sound insulation of single-layer lightweight partitions with anti-resonant panels] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021. № 3. – P. 46–55.

© Д. В. Монич, 2022

Получено: 27.12.2021 г.

УДК 699.841

П. А. ХАЗОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики; Л. Ю. ТЯГУНОВА, ст. преп. кафедры оснований, фундаментов и инженерной геологии; А. М. ГОРДЕЕВЦЕВА, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; Н. М. ДЕУЛИНА, магистрант кафедры теории сооружений и технической механики

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕОБЛАДАЮЩИХ ЧАСТОТ И АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru, tyagunovaly@yandex.ru
Ключевые слова: землетрясения, сейсмические колебания, собственная частота, амплитуда ускорений, сейсмическая нагрузка, магнитуда землетрясения.

Приводится обзор самых сильных землетрясений XXI века, сравнительный анализ характеристик землетрясений на основании реальных акселерограмм. Вычислены максимальные и минимальные амплитуды ускорений и соответствующие им частоты колебаний. Рассмотрен пример землетрясения, превышающего значения, установленные картами ОСР-2015-А. Сделан вывод о соответствии карт ОСР и реальной сейсмической активности на территории России.

Изучению землетрясений и теориям их расчета за последнее время посвящено множество различных научных работ [1–4]. Большая часть территорий Российской Федерации подвержена сейсмическим воздействиям. По статистике, ежедневно хотя бы в одном из сейсмически опасных районов России происходит землетрясение [5].

В табл. 1 приведены самые сильные землетрясения, произошедшие на территории России в XXI веке.

Таблица 1

Обзор землетрясений XXI века

Дата	Общая информация о землетрясении/ [Источник]	Магнитуда/ балл
27 сентября 2003 г.	*Чуйское землетрясение. Алтай* Вызвало повреждения высотных сооружений в Алтайском крае Затронуло Казахстан и Китай Практически полностью был разрушен поселок Бельтир Вызвало после себя порядка 140 афтершоков в последующие три дня / [6, 7]	7,3/ 10
21 апреля 2006 г.	*Олюторское землетрясение. Корякский автономный округ* Превышена предполагаемая норма баллов по землетрясениям в этом районе Разрушен поселок Тилички До октября 2006 произошло 193 афтершока, вызванных землетрясением / [7, 8]	7,6/ 9

Продолжение табл. 1

Дата	Общая информация о землетрясении/ [Источник]	Магнитуда/ балл
15 ноября 2006 г.	*Первое Симуширское землетрясение.* Курильские острова Землетрясение вызвало цунами высотой 20 м / [7, 8]	8,3/ 11
13 января 2007 г.	*Второе Симуширское землетрясение* Центральная часть Курильской гряды Эпицентр находился в 100 км от Симуширского землетрясения / [7, 8]	8,2/ 11
2 августа 2007 г.	*Западное побережье острова Сахалин* Эпицентр землетрясения находился в акватории Татарского пролива Основной удар землетрясения пришелся на город Невельск и южную часть острова Сахалин / [7, 8]	6,2/ 7
27 августа 2008 г.	*Култукское землетрясение* Эпицентр толчков располагался на дне озера Байкала на глубине 16 км в 30 км от Байкальска, в 65 км к югу от Иркутска Подземные толчки ощущались по всей Восточной Сибири / [7, 8]	6,2/ 8
11 октября 2008 г.	*Чеченская республика* Толчки ощущались на Северном Кавказе и в Закавказье / [6, 7]	5,6/ 6
10 февраля 2011 г.	*Республика Хакасия* Сильные толчки ощущались по всему югу Сибири и в Монголии / [7]	6,7/ 8
27 декабря 2011 г.	*Тувинское землетрясение* Эпицентр находился примерно в 100 километрах к востоку от Кызыла на глубине 10–15 км Толчки ощущались в Хакасии, Красноярском крае, Иркутской, Новосибирской областях, Республике Алтай, Алтайском крае и т. д. / [7]	6,7/ 8
26 февраля 2012 г.	Эпицентр землетрясения находился в 101 километре восточнее Кызыла. В зону землетрясения попали свыше 1000 населенных пунктов Считается завершением развития сейсмической активности в районе Кызыла, которое началось 27 декабря 2011 года / [7]	6,9/ 8,5
18 июня 2013 г.	*Кемеровская область* Ощущалось в Новосибирской области, Томской области, Алтайском крае Зафиксировано 25 афтершоков после землетрясения / [7, 8]	5,2/ 7

Окончание табл. 1

Дата	Общая информация о землетрясении/ [Источник]	Магнитуда/ балл
24 мая 2013 г.	*Охотоморское землетрясение* Эпицентр располагался в акватории Охотского моря у западного побережья полуострова Камчатка Толчки ощущались по всей территории Камчатки около 5 минут. Отголоски землетрясения ощущались в Нижнем Новгороде и Москве. Ощутимые колебания были зафиксированы в ННГАСУ в 5-м и 6-м корпусах, землетрясение соответствовало 5–6 баллам / [7, 8, 9]	8,3/ 11
22 сентября 2020 г.	*Иркутская область* Эпицентр на расстоянии 21 километра к северо-западу от поселка Култук на глубине 10 километров / [7, 10]	5,5/ 8
10 декабря 2020 г.	Эпицентр располагался на расстоянии 41 километра севернее села Кабанск *Республики Бурятия* / [7, 10]	5,4/ 7,6

Примечания:
1) магнитуда указана по 9-балльной шкале Рихтера, измеряется в условных единицах;
2) баллы указаны по 12-балльной шкале интенсивности землетрясений MSK-64.

За 2021 год на территории России произошло порядка 550 землетрясений, однако они не были достаточно сильными, чтобы можно было сравнить их по интенсивности хотя бы с одним из вышеперечисленных. Два наиболее сильных землетрясения 2021 года произошли в Усть-Камчатске (16 марта) и в Северо-Курильске (24 августа) с магнитудами 6,6 и 6 единиц соответственно. Оба эти землетрясения в ближайших населенных пунктах по шкале Рихтера достигли лишь 3 баллов и не принесли больших разрушений вблизи их распространения [10].

На рис. 1 и 2 цв. вклейки показано, что наиболее часто землетрясения на территории РФ за последнее время возникали вблизи Охотского моря. Землетрясения с менее высокой магнитудой также происходили в районах Чеченской и Дагестанской республик, однако, в этих областях магнитуда редко превышала значения 4 единиц [10].

Данные показатели соответствуют информации, которую диктует свод правил [11]. В [11] приводятся карты сейсмического районирования России, на основании которых проектируют здания и сооружения в сейсмоопасных районах строительства.

Карты сейсмического районирования (рис. 3 цв. вклейки) указывают на наибольшую сейсмическую активность на Дальнем Востоке вблизи Охотского моря. Большая часть сильных землетрясений XXI века произошла именно в этой области (табл. 1). Кроме того, общее количество землетрясений в этом районе за последние годы превышает количество землетрясений в других частях России.

Однако интенсивность Олюторского землетрясения превысила значение, предполагаемое картой ОСР-2015-А, которую чаще всего используют при проектировании зданий и сооружений нормального и пониженного уровня ответ-

К СТАТЬЕ П. А. ХАЗОВА, Л. Ю. ТЯГУНОВОЙ, А. М. ГОРДЕЕВЦЕВОЙ, Н. М. ДЕУЛИНОЙ «РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕОБЛАДАЮЩИХ ЧАСТОТ И АНАИЗ РАСЧЕТНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ»

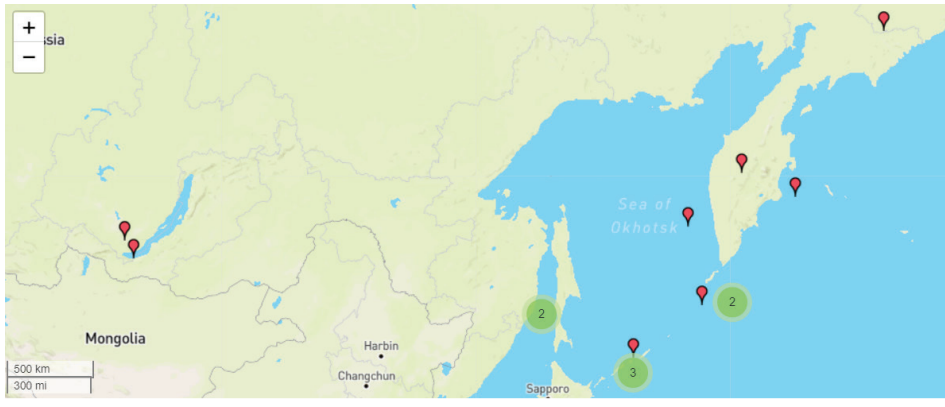
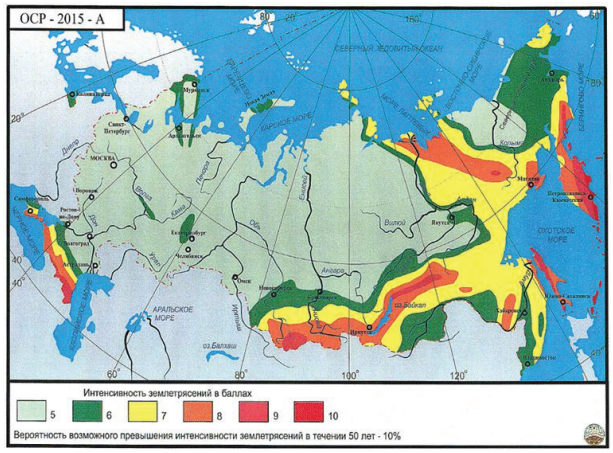
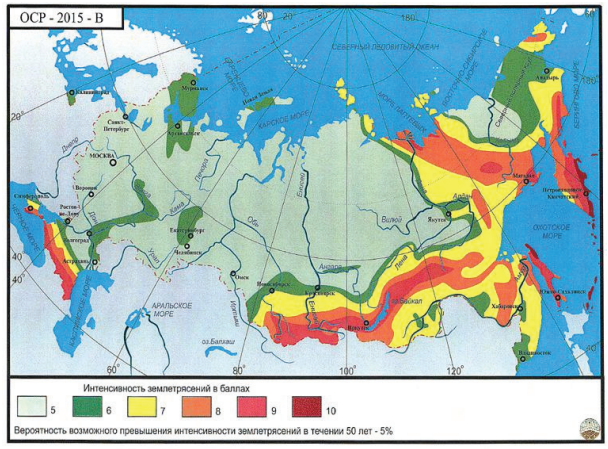


Рис. 1. Карта расположения землетрясений, произошедших на территории РФ за 2020–2021 годы с магнитудой свыше 6,0 [5]

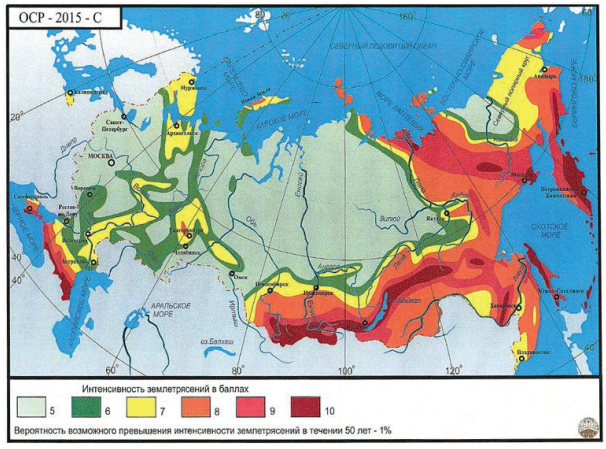
Рис. 2. Карта расположения землетрясений, произошедших на территории РФ за 2020–2021 годы с магнитудой свыше 5,0 [5]



а



б



в

Рис. 3. Карта сейсмического районирования России: *а* – ОСР-2015-А; *б* – ОСР-2015-В; *в* – ОСР-2015-С [11]

ственности [7, 11]. Интенсивность данного землетрясения соответствует картам ОСР-2015-В и ОСР-2015-С, которые обычно используются при проектировании сооружений повышенной ответственности.

Известно, что интенсивность землетрясения зависит от его магнитуды и глубины расположения очага землетрясения. Чем меньше магнитуда и глубже расположен очаг землетрясения, тем, соответственно, ниже его интенсивность. Значения магнитуд и интенсивностей землетрясений приведены в табл. 1. Поскольку магнитуда оценивается по 9-балльной шкале, а интенсивность по 12-балльной, обычно значения интенсивности в эпицентре выше, чем значение магнитуды.

В табл. 2 приводится сравнительный анализ характеристик некоторых землетрясений. Основные характеристики землетрясений приведены в табл. 2, акселерограммы – на рис. 1–6.

Таблица 2

Основные характеристики землетрясений

Дата, землетрясение	Интенсивность, балл	Длительность землетрясения, мин	Амплитуда ускорений, м/с^2 max/min	Частота, Гц	Акселерограмма
1	2	3	4	5	6
21 апреля 2006 г. Олюторское землетрясение	9	26	3,16/0,505	0,046/0,051	рис. 1
13 января 2007 г. Второе Симуширское землетрясение	8	22	1,47/0,212	0,048/0,037	рис. 2
2 августа 2007 г. Землетрясение на западном побережье острова Сахалин	7	25	0,68/0,097	0,059/0,070	рис. 3
27 августа 2008 г. Култукское землетрясение	8	16	1,47/0,268	0,086/0,085	рис. 4
11 октября 2008 г. Землетрясение в Чеченской республике	6	7	0,32/0,046	0,144/0,085	рис. 5
24 мая 2013 г. Охотоморское землетрясение	5	6	0,15/0,026	0,040/0,055	рис. 6

Примечания:
1) значение частот в столбце 5 указаны соответствующие значениям амплитуд из 4 столбца;
2) над чертой указаны частоты, соответствующие максимальным значениям амплитуд ускорений, под чертой – минимальным значениям.

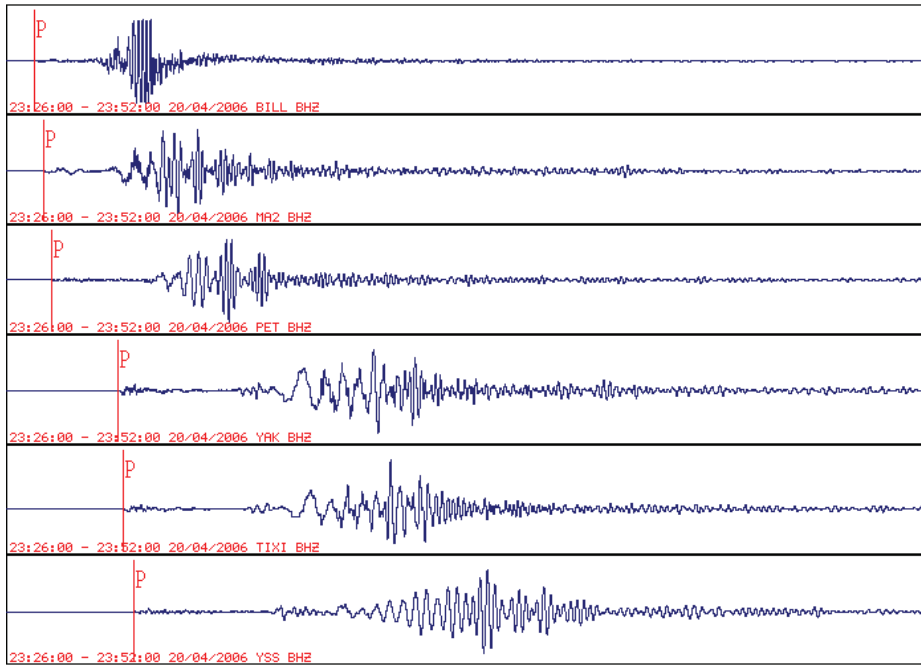


Рис. 1. Акселерограмма Олюторского землетрясения, 21 апреля 2006 г. [8]

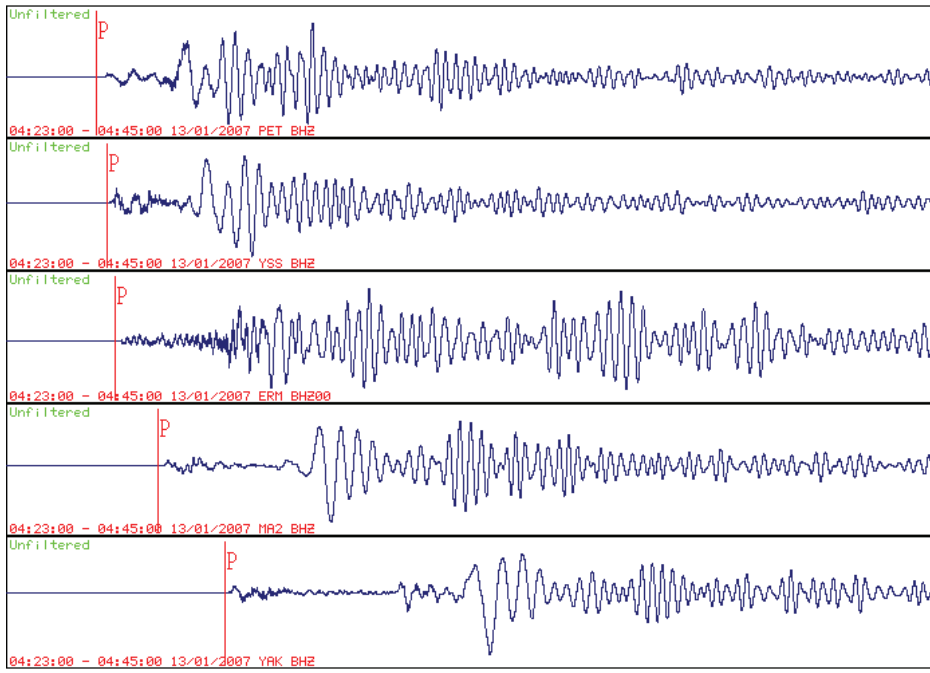


Рис. 2. Акселерограмма второго Симуширского землетрясения, 13 января 2007 г. [8]

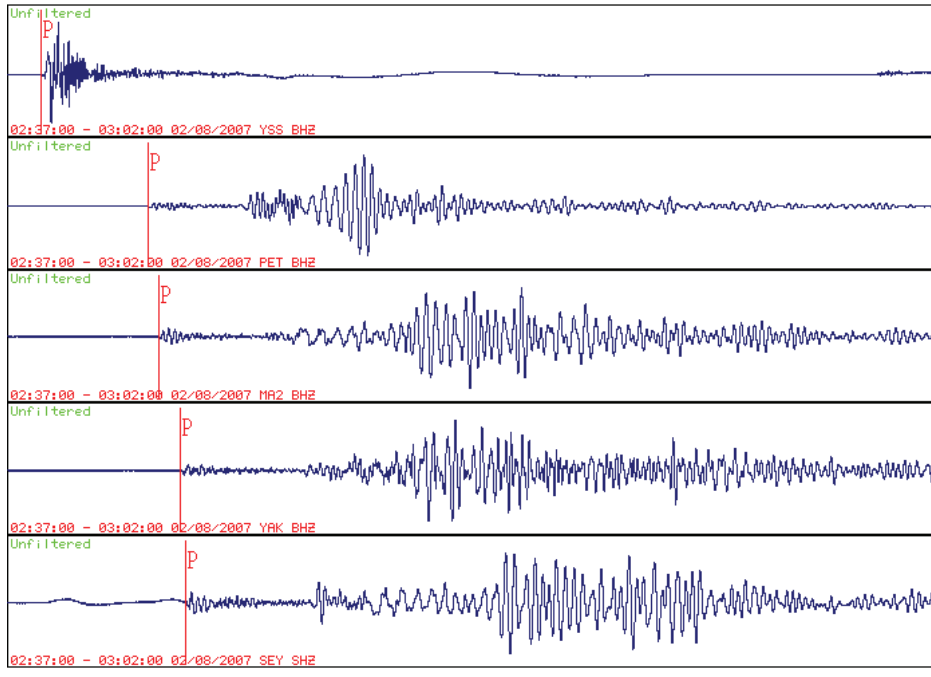


Рис. 3. Акселерограмма землетрясения на западном побережье острова Сахалин, 2 августа 2007 г. [8]

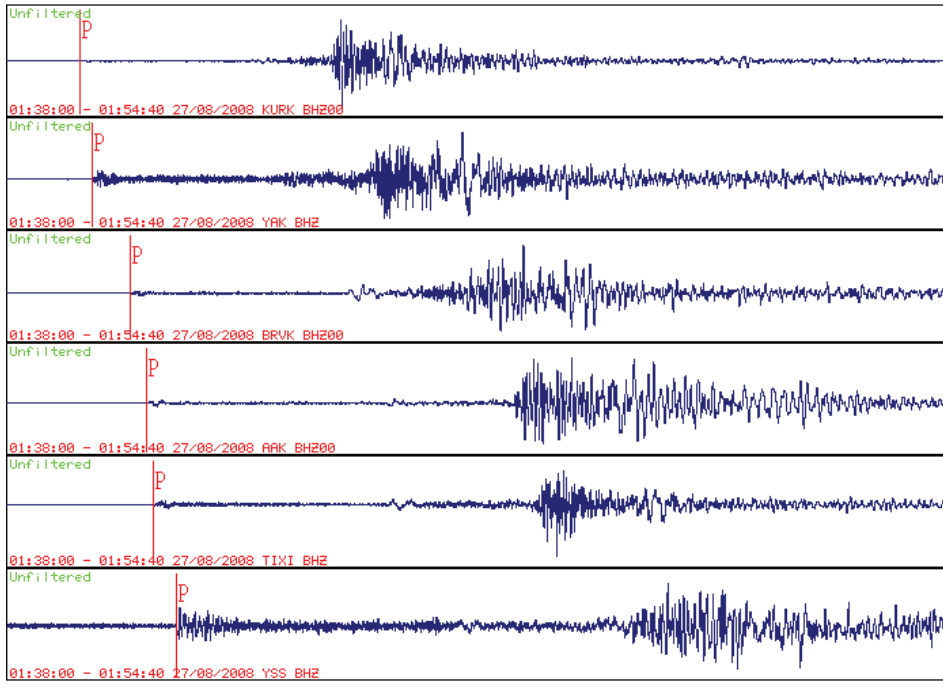


Рис. 4. Акселерограмма Култукского землетрясения, 27 августа 2008 г. [8]

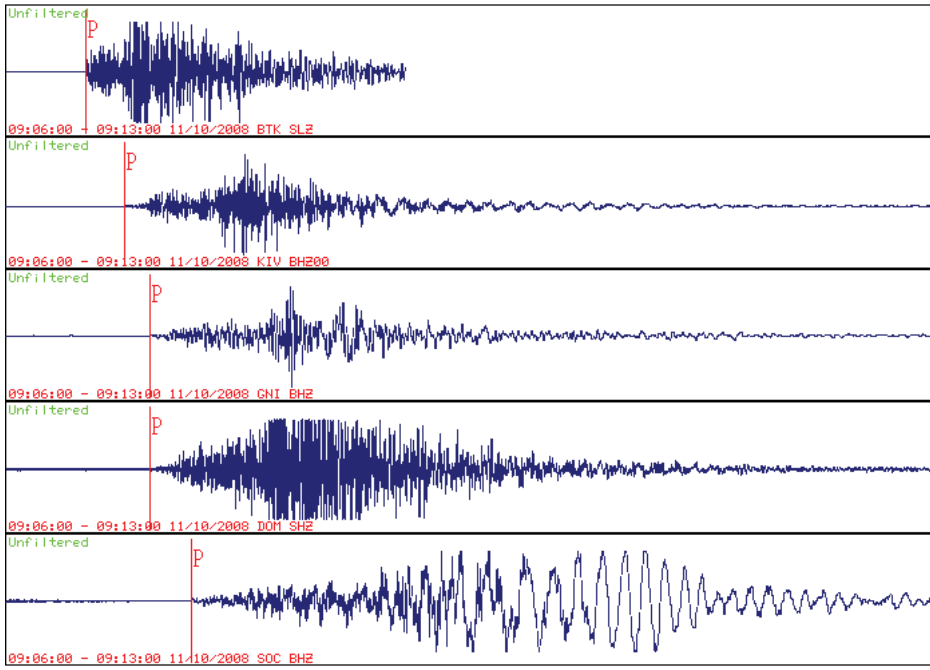


Рис. 5. Акселерограмма землетрясения в Чеченской республике, 11 октября 2008 г. [8]

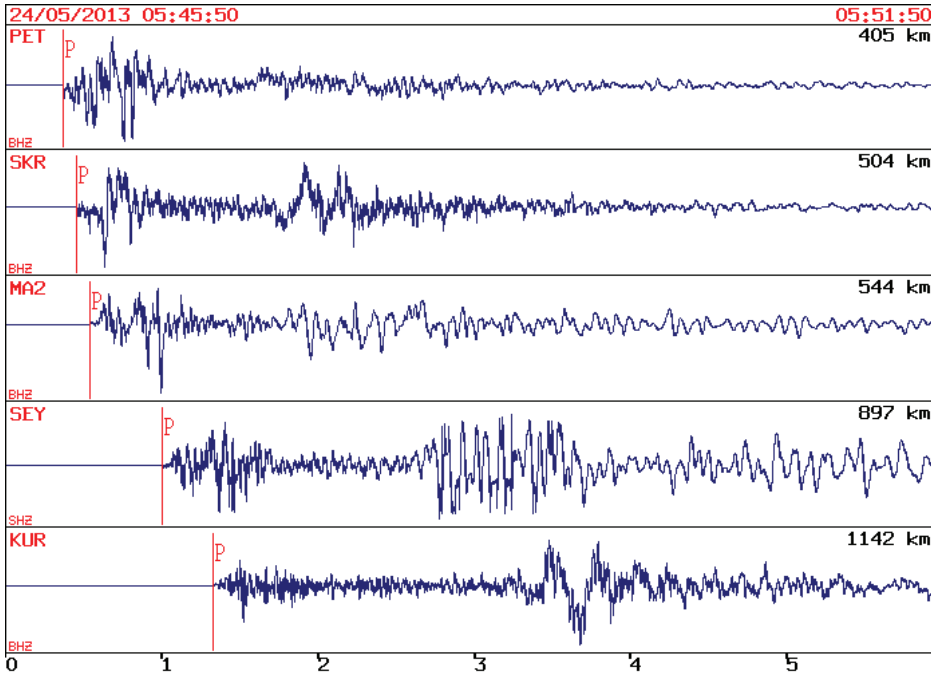


Рис. 6. Акселерограмма Охотоморского землетрясения, 24 мая 2013 г. [8]

Основные выводы:

1. Наибольшая сейсмическая активность в России характерна для территорий Дальнего Востока.

2. Опыт произошедших землетрясений показывает соответствие реальных событий и карт ОСР, которые используются при проектировании зданий и сооружений в сейсмически опасных регионах строительства.

3. Строительство в наиболее сейсмоопасных регионах стоит вести по картам ОСР-2015-В или ОСР-2015-С. Охотоморское землетрясение 2013 года показало, что не всегда карты ОСР-2015-А корректно отображают реальную действительность. Интенсивность этого землетрясения и его отголоски, прошедшие через огромные территории, показали превышение параметров над картой ОСР-2015-А. При этом землетрясение соответствует картам ОСР-2015-В и ОСР-2015-С.

4. Амплитуда ускорений и интенсивность землетрясения находятся в прямой зависимости: чем больше одно значение, тем выше второе. Взаимозависимости частот колебаний от данных параметров не обнаружено.

Работа выполнена при поддержке Научно-образовательного центра Нижегородской области «Технoплатформа 2035» в рамках соглашения № 16-11-2021/55.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Динамический анализ высотного здания в г. Иркутске при ветровых и сейсмических воздействиях / П. А. Хазов, Л. Ю. Цветнова, А. М. Гордеевцева, Д. В. Сахарова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 48–55.

2. Хазов, П. А. Динамический анализ изгибно-крутильных колебаний каркасного здания с неравномерным распределением жесткостей при сейсмических воздействиях / П. А. Хазов, Л. Ю. Цветнова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3. – С. 24–38.

3. 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, Ю. Д. Щелокова, А. М. Анущенко. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 2. – С. 16–25.

4. Теория и практика расчетов строительных сооружений на сейсмостойкость по акселерограммам / Ю. П. Назаров, Ю. Н. Жук, Е. В. Позняк, Ю. В. Панасенко, В. В. Курнавин. – Текст : непосредственный // Тезисы докладов XI Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием). – Москва. – 2015. – С. 131–132.

5. Землетрясения в России. – URL: https://earthquaketrack.ru/country/ru/ (дата обращения: 27.12.21). – Текст : электронный.

6. Еманов, А. Ф. Чуйское землетрясение 27 сентября 2003 года с MS=7.3, Kp=17 (Горный Алтай) / А. Ф. Еманов, А. А. Еманов, Е. В. Лескова, Ю. И. Колесников, А. В. Фатеев, А. Г. Филина. – Текст : непосредственный // Сильные и ощутимые землетрясения. – Новосибирск, 2003. – С. 326–343.

7. Wikipedia : свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/. (дата обращения: 27.12.21). – Текст : электронный.

8. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук». – URL: http://www.ceme.gsras.ru/new/about.htm/ (дата обращения: 27.12.21). – Текст : электронный.

9. Цветнова, Л. Ю. Способы гашений колебаний в строительных конструкциях / Л. Ю. Цветнова. – Текст : электронный // IX Всероссийский фестиваль науки : сбор-

ник докладов / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – С. 218–221. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42331111_99612405.pdf.

10. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 мая 2018 г. № 309/пр : актуализированная редакция СНиП II-7-81* дата введения 25 ноября 2018 г. – URL: https://docs.cntd.ru/document/550565571. – Текст : электронный.

KHAZOV Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics; TYAGUNOVA Lidiya Yurevna, senior teacher of the chair of foundation and engineering geology; GORDEEVTSEVA Anastasiya Maksimovna, undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; DEULINA Nataliya Mikhaylovna, undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics

DISTRIBUTION OF PREVAILING FREQUENCIES AND ANALYSIS OF CALCULATION EARTHQUAKES IN SEISMIC REGIONS OF RUSSIA

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96, +7 (951) 919-0-919; e-mail: khazov.nngasu@mail.ru, tyagunovaly@yandex.ru, nasyta98@mail.ru, nataliadeul98@gmailcom

Key words: earthquakes, seismic vibrations, natural frequency, acceleration amplitude, seismic load, magnitude of earthquake.

The article provides a review of the strongest earthquakes of the 21st century, a comparative analysis of earthquake characteristics based on real accelerograms. Maximum and minimum accelerations amplitudes and corresponding oscillation frequencies are calculated. An example of an earthquake exceeding the values set by GSZ-2015-A (general seismic zoning) maps is considered. The conclusion is made about compliance of maps of GSZ and real seismic activity in the territory of Russia.

REFERENCES

1. Khazov P. A., Tsvetnova L. Yu., Gordeevtseva A. M., Sakharova D. V. Dinamicheskiy analiz vysotnogo zdaniya v gorode Irkutske pri vetrovykh i seysmicheskikh vozdeystviyakh [Dynamic analysis of a frame high-rise building in Irkutsk under wind and seismic impacts]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021. № 4. P. 48–55.

2. Khazov P. A., Tsvetnova L. Yu., Dinamicheskiy analiz izgibno-krutilnykh kolebaniy karkasnogo zdaniya s neravnomernym raspredeleniem zhyostkostey pri seysmicheskikh vozdeystviyakh [Dinamic analysis of flexion-torsional vibrations of a frame building with unequal distribution of rigidity under seismic impact]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021. № 3. P. 24–38.

3. Khazov P. A., Molodushnaya N. I, Lampsi B. B., Schyolokova Yu. D., Anuschenko A. M. 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 vibration of the large-span steeltruss of the velodrome building roofing]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2019. № 2. P. 16–25.

4. Nazarov Yu. P., Zhuk Yu. N., Poznyak E. V., Panasenko Yu. V., Kurnavin V. V. Teoriya

i praktika raschyotov stroitelstva sooruzheniy na seysmostoykost po akselerogrammam [The theory and practice of calculating building structures for earthquake resistance according to accelerograms] // Tezisy dokladov XI Rossiyskoy natsionalnoy konferentsii po seysmostoykomu 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.

5. Zemletryaseniya v Rossii [Earthquakes in Russia]. – URL: https://earthquaketrack.ru/country/ru/. (data obraschenya: 27.12.21).

6. Emanov A. F., Emanov A. A., Leskova E. V., Kolesnikov Yu. I., Fateev A. V., Filina A. G. Chuyskoye zemletryasenie 27 sentyabrya 2003 goda s MS=7.3, Kp=17 (Gorny Altai) [Chui earthquake of September 27, 2003 with MS=7.3, Kp=17 (Gorny Altai) // Silnye i oschyutimye zemletryaseniya [Strong and tangible earthquakes] / Novosibirsk, 2003. – P. 326–343.

7. Wikipedia : svobodnaya entsiklopediya [Wikipedia : free encyclopedia]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/. (data obraschenya: 27.12.21).

8. Federalnoe gosudarstvennoe budzhetnoe uchrezhdenie nauki Federalny issledovatelskiy tsentr «Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossiyskoy akademii nauk [Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center "Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences"]. – URL: http://www.ceme.gsras.ru/new/about.htm/. (data obraschenya: 27.12.21).

9. Tsvetnova L. Yu. Sposoby gasheniy kolebaniy v stroitelnykh konstruktsiyakh [Methods of vibration damping in construction structures] // IX Vserossiyskiy festival nauki. Sbornik dokladov [IX All-Russian Science Festival. Collection of reports] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2019. – P. 218–221. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42331111_99612405.pdf.

10. SP 14.13330.2018. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh [Construction in seismic areas] : svod pravil : utverzhd. prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommunal. khoz-va RF ot 24 maya 2018 g. № 309/pr : aktualizirivannaya redaktsiya SNiP II-7-81*. Data vved. 25 noyabrya 2018 g. – URL: https://docs.cntd.ru/document/550565571.

© П. А. Хазов, Л. Ю. Тягунова, А. М. Гордеевцева, Н. М. Деулина, 2022

Получено: 27.12.2021 г.

УДК 624.07:725.826

М. А. ОКУНЕВА[1], инженер; Д. В. САХАРОВА[2], магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; П. А. ХАЗОВ[2], канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики

САМОСОГЛАСОВАННАЯ СИСТЕМА «НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ – УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ВАНТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

[1]Экспертная организация ООО «Диаформ»
Россия, 603086 г. Н. Новгород, ул. Мануфактурная, д. 14. Тел.: (831) 282-06-45; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru
[2]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, saharok_ook@mail.ru

Приводится анализ работы системы, включающей в себя металлические консольные фермы покрытия стадиона, а также предварительно напряженные вантовые элементы, стабилизирующие систему и обеспечивающие ее удовлетворительную работу при проверке на второе предельное состояние. Уникальность рассматриваемой конструкции также обусловлена применением нового типа узлов тяжелых стальных ферм – узел с прорезающей стойкой, обеспечивающий восприятие значительных изгибающих моментов. Всестороннее исследование проведено с учетом деформативности основания под конструкциями пилонов, что позволяет считать задачу самосогласованной с комплексным учетом взаимного влияния всех вышеперечисленных конструкций на общее напряженно-деформированное состояние.

Множество крупных городов России имеют футбольные команды, в перспективе способные войти в элитный дивизион – Российскую премьер-лигу. Тем не менее зачастую клубы не оснащены современными футбольными аренами, удовлетворяющими требованиям РФПЛ. В последние годы неоднократно возникали ситуации, при которых клубы попадали в элиту по спортивным показателям, однако вынуждены были отказаться от участия по указанным выше причинам. Строительство спортивной арены такого уровня в г. Владимире поможет избежать данной проблематики и поспособствует увеличению популярности футбола в регионе.

Объектом исследования являются несущие конструкции проектируемого футбольного стадиона вместимостью 20 000 зрителей (рис. 1, рис. 1 цв. вклейки), предназначенного для проведения спортивных мероприятий: соревнований по футболу российской Премьер-лиги, а также соревнований международного уровня, поскольку может быть оценен по рейтингу FIFA как арена класса IV.

Конструктивная схема представляет собой массивные металлические консольно-вантовые фермы, выполненные из прокатных двутавров (рис. 2). Вылет ферм составляет 42 метра без промежуточных опор, что делает конструкцию уникальной [1].

Предложенное решение узлов сопряжения элементов фермы выполнено по разрезной схеме, в которой стойка разделяет элементы пояса (рис. 3). Раскосы упираются одновременно в пояс и стойку через распределительные пластины, способствующие снижению напряжений смятия. Распределительные пластины прикреплены к прокатным двутаврам с помощью полуавтоматической сварки заводского изготовления и соединены между собой высокопрочными болтами. Усилие натяжения болта принимается равным 40 % от его прочности на разрыв. В местах с максимальным коэффициентом концентрации напряжений конструкция узла усилена ребрами жесткости. Из-за сложной работы системы во время динамических нагрузок в элементах узлов и в болтах возможны как усилия растяжения, так и усилия сжатия. Принятая конструктивная схема узла является жесткой, что приводит к возникновению изгибающих моментов. Расчетные значения усилий в узлах указаны на рис. 3.

Основная сложность при проектировании уникальных большепролетных и консольных систем возникает при расчете по второму предельному состоянию [2], поскольку значительная доля расчетных нагрузок приходится на собственный вес конструкции. Как показывают исследования [3, 4, 5], увеличение сечений элементов слабо снижает или не снижает вовсе перемещения точек системы. Это приводит к необходимости решения самосогласованной итерационной задачи, в которой комплексно учитываются все особенности напряженно-деформированного состояния системы.

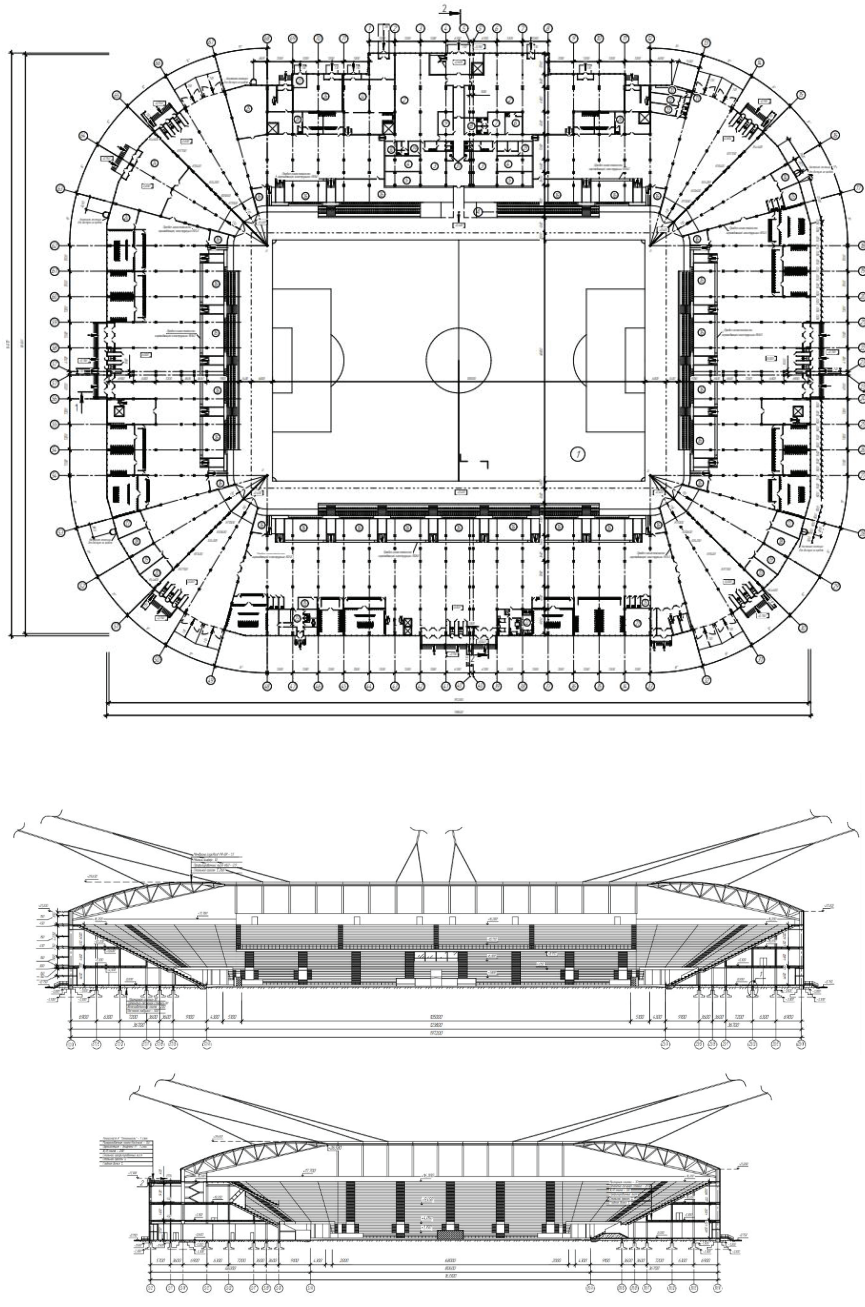


Рис. 1. План первого этажа, продольный и поперечный разрезы проектируемого стадиона

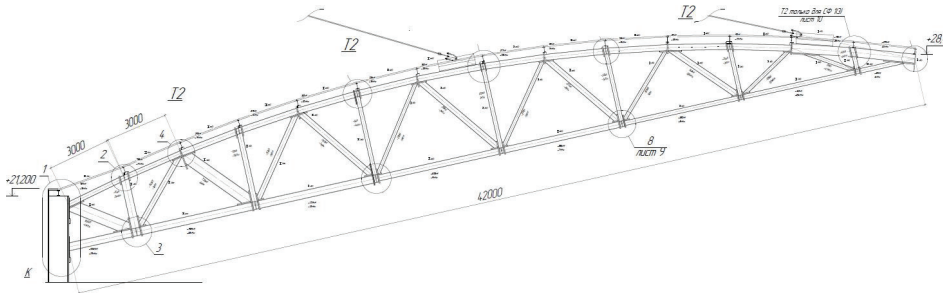


Рис. 2. Тяжелая ферма покрытия вылетом 42 метра

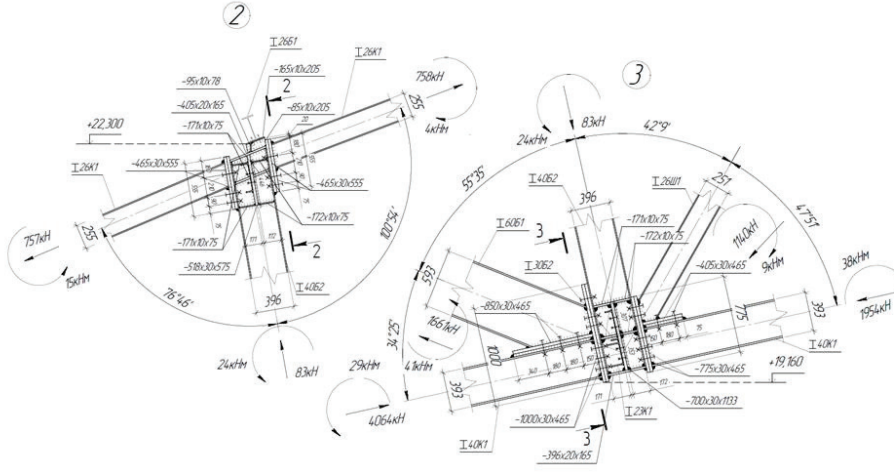


Рис. 3. Узлы сопряжения элементов фермы

Классические подходы строительной механики, при которых схема упрощается до отдельных элементов, не позволяет с какой-либо удовлетворительной точностью оценить реальное распределение напряжений и деформаций. Таким образом была построена конечно-элементная модель, включающая в себя (рис. 2 цв. вклейки):

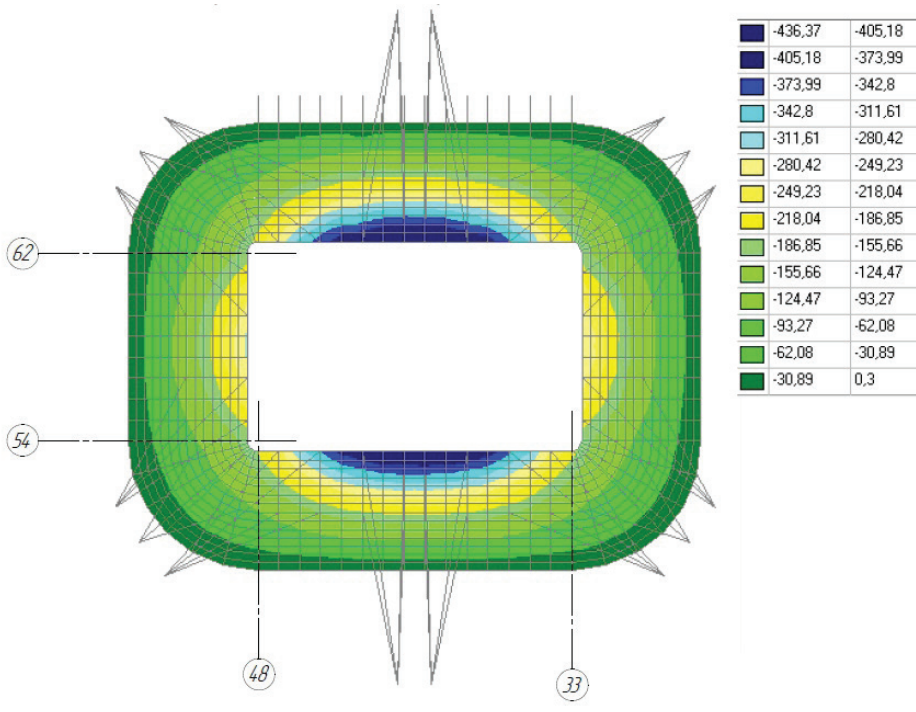
– пространственную стальную систему колонн, консольных ферм, а также связевых меридиональных ферм;

– систему предварительно напряженных вантовых элементов, выходящих из шести пилонов, расположенных на расстоянии 40–60 метров от стадиона, но не выходящих за пределы спортивного комплекса. Точки крепления вантовых элементов равномерно расположены на поверхности кровли;

– конструкции фундаментов и упругое основание, которые в значительной мере влияют на итоговое распределение перемещений кровли. Грунтовые условия площадки строительства представлены на рис. 4.

К СТАТЬЕ М. А. ОКУНЕВОЙ, Д. В. САХАРОВОЙ, П. А. ХАЗОВА «САМОСОГЛАСОВАННАЯ СИСТЕМА «НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ – УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ВАНТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ»

Рис. 1. Проектируемый стадион вместимостью 20 000 зрителей – видовые точки



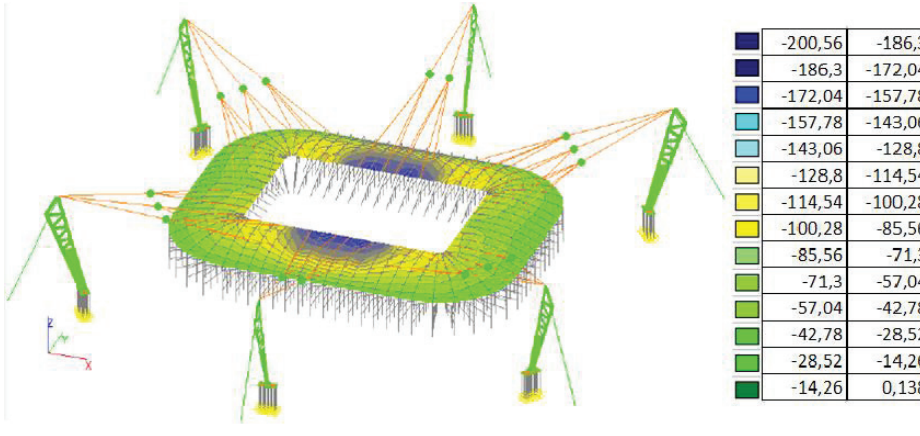


Рис. 2. Вертикальные перемещения покрытия: *а* – до стабилизации вантовыми элементами; *б* – с учетом стабилизации вантовыми элементами

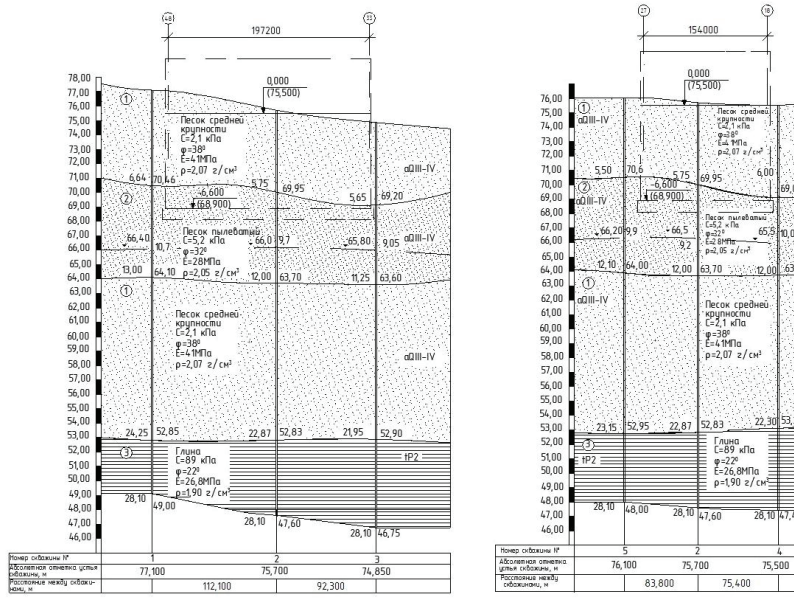


Рис. 4. Грунтовые условия строительной площадки

На рис. 2 цв. вклейки показаны значения вертикальных перемещений при нормативных значениях постоянных и длительных нагрузок. Добиться удовлетворительных результатов удалось с помощью регулирования усилий предварительного напряжения вантовых элементов [5, 6, 7]. Усилия подбирались из следующих условий: ферма приводилась в положение, превышающее проектное на величину перемещений от постоянных нагрузок и половину от величины перемещений от длительных нагрузок. В результате этого в период эксплуатации ферма будет отступать от проектного положения не более, чем на 200 мм, что удовлетворяет требованиям второй группы предельных состояний.

В дальнейшем предлагается выполнить исследования по следующим направлениям:

1. Оценка истинного напряженно-деформированного состояния узлов сопряжения элементов фермы методами численного и экспериментального моделирования.

2. Предложение инженерной методики конструирования и расчета данного типа узлов.

3. Разработка рекомендаций по назначению усилий предварительного натяжения вантовых элементов в консольно-вантовых системах в зависимости от параметров сооружения – вылета ферм, межпоясного расстояния и пр.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 304.1325800.2017. Конструкции большепролетных зданий и сооружений : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25 октября 2017 г. № 1480/пр : введен в действие с 26 апреля 2018 г. – Москва : Минстрой России, 2018. – 49 с. – Текст : непосредственный.

2. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации

от 27 февраля 2017 г. № 126/пр : введен в действие с 28 августа 2017 г. : актуализированная редакция СНиП 2.23.81*. – Москва : Минстрой России, 2017. – 306 с. – Текст : непосредственный.

3. Воздействие ветровых и снеговых нагрузок на большепролетные покрытия / Н. А. Попов, И. В. Лебедева, Д. С. Богачев, М. М. Березин. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 12. – С. 71–76.

4. Аэродинамика большепролетных зданий / П. А. Хазов, А. М. Анущенко, Ю. Д. Щелокова, А. М. Гордеевцева. – Текст : электронный // X Всероссийский фестиваль науки : сборник докладов / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – № 10. – С. 14–21. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44431103_48241708.pdf.

5. Калиева. И. Формирование большепролетных конструкций в архитектуре спортивных зданий на примере России / И. Калиева. – Текст : электронный // Молодой ученый. – Казань, 2021. – № 49. – С. 52–56. – URL: https://moluch.ru/archive/391/86250/.

6. Кужахметова, Э. Р. Методы расчета вант и вантовых конструкций / Э. Р. Кужахметова. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета БГТУ им. В. Г. Шухова. – Калининград, 2019. – № 2. – С. 39–48.

7. Перельмутер, А. В. Основы расчета вантово-стержневых систем: монография / А. В. Перельмутер. – Москва: Стройиздат, 1969. – 190 с. – Текст : непосредственный.

OKUNEVA[1] Marina Aleksandrovna, engineer; SAKHAROVA[2] Darya Vladimirovna, undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; KHAZOV[2] Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics

SELF-CONSISTENT SYSTEM "LOAD-BEARING STRUCTURES – ELASTIC BASE" WITH THE USE OF PRESTRESSED CABLE-STAYED ELEMENTS

[1]Expert organization JSC “Diaform”
14, Manufakturnaya St., Nizhny Novgorod, 603086, Russia. Tel.: +7 (831) 282-06-45;
e-mail: khazov.nngasu@mail.ru
[2]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.nngasu@mail.ru, saharok_ook@mail.ru

The article analyses operation of a system, which includes metal cantilever trusses of the stadium’s roofing, as well as pre-stressed cable elements that stabilize the system and ensure its satisfactory operation when checking for the second limit state. The uniqueness of the design under consideration is also due to the use of a new type of heavy steel truss assemblies – a node with a cutting through rack that takes upon itself significant bending moments. A comprehensive study was carried out taking into account the deformability of the base under the structures of the pylons, which allows us to consider the problem self-consistent that considers totally the mutual influence of all the above structures on the overall stress-strain state.

REFERENCES

1. SP 304.1325800.2017. Konstrukttsii bolsheprolyotnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of long-span buildings and structures] : svod pravil : utverzhd. prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 25 oktyabrya 2017 g. № 1480/pr : vved. v deystvie s 26 aprelya 2018 g. – Moscow: Minstroy Rossii, 2018, 49 p.

2. SP 16.13330.2017. Stalnye konstruktsii [Steel structures] : svod pravil : utverzhd. prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot. 27 fevralya 2017 g. № 126/pr : vved. v deystvie s 28 avgusta 2017 g. : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.23.81*. Moscow : Minstroy Rossii, 2017, 306 p.

3. Popov N. A., Lebedeva I. V., Bogachyov D. S., Berezin M. M. Vozdeystvie vetrovykh i snegovykh nagruzok na bolsheprolyotnye pokrytiya [The impact of wind and snow loads on long-span coatings]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and civil construction]. 2016. № 12. P. 71–76.

4. Khazov P. A., Anuschenko A. M., Schyolokova Yu. D., Gordeevtseva A. M. Aerodinamika bolsheprolyotnykh zdaniy [Aerodynamics of long-span buildings]. X Vserossiyskiy festival nauki. Sbornik dokladov [The X All-Russian festival of science. Collection of reports]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2020. № 10. P. 14–21. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44431103_48241708.pdf.

5. Kalieva I. Formirovanie bolsheprolyotnykh konstruktsiy v arkhitekture sportivnykh zdaniy na primere Rossii [Formation of large-span structures in the architecture of sport buildings on the example of Russia]. Molodoy uchyony [Young scientist]. Kazan, 2021. № 49. P. 52–56. – URL: https://moluch.ru/archive/391/86250/.

6. Kuzhakhmetova E. R. Metody raschyota vant i vantovykh konstruktsiy [Methods of calculating cables and cable structures]. Vestnik Belgorod. gos. tekhnologoch. un-ta BGTU im. V. G. Shukhova [The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. Kaliningrad, 2019. № 2. P. 39–48.

7. Perelmuter A. V. Osnovy raschyota vantovo-sterzhnevykh sistem [Fundamentals of calculation of cable-rod systems]: monografiya. – Moscow: Stroyizdat, 1969, 190 p.

© М. А. Окунева, Д. В Сахарова, П. А. Хазов, 2022

Получено: 27.12.2021 г.

УДК 528.482

Г. А. ШЕХОВЦОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры геоинформатики, геодезии и кадастра; Ю. Н. РАСКАТКИН, канд. техн. наук, доц. кафедры технологии строительства

ВАРИАНТЫ КАЛИБРОВКИ ФОТОКАМЕР С ЦЕЛЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

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

Ключевые слова: базис, калибровка, коэффициент, ошибка, пиксель, снимок, фотокамера.

Рассматривается методика использования аналитической зависимости между измеряемым расстоянием и числовыми характеристиками в пикселях. Эти характеристики представляют собой коэффициент А и количество пикселей, соответствующих этому расстоянию. Их получают в результате калибровки фотокамеры с последующей компьютерной обработкой сделанных снимков. Приведены результаты такой калибровки путем фотографирования вертикального 3-метрового базиса через 5 м в диапазоне 5–200 м горизонтальной линии. Показаны три способа определения коэффициента А, обеспечивающие практически одинаковую точность определения расстояния. Установлено, что для каждой фотокамеры значение А и отношение разности размеров пикселя в конце и начале линии калибровки на ее длину есть величины постоянные. Доказано, что пределы фотографического способа измерения расстояний не ограничиваются длиной линии калибровки, а могут быть значительно больше ее, обеспечивая точность измерений в пределах 0 –1 %.

В настоящее время в ряде статей [1, 3, 4, 7, 10] подчеркиваются достоинства цифровой фотограмметрии, позволяющие рекомендовать ее для инженерно-геодезических измерений. Вопросам калибровки цифровых фотокамер с целью получения и уточнения трех элементов внутреннего и шести элементов внешнего ориентирования посвящены работы [2, 5, 6].

В нашей работе [8] приведены примеры использования цифровых фотокамер при: определении смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн; наблюдении за трещинами несущих конструкций; определении радиуса и координат центра сооружений круглой формы; проверки планово-высотного положения подкрановых рельсов мостовых кранов; контроля пространственного положения зданий и сооружений башенного типа и др. При этом кроме фотографирования необходимо, как правило, определять расстояние от фотокамеры до объекта съемки. Фотографический способ определения расстояний с помощью цифровых фотокамер предусматривает установление различных зависимостей между измеряемыми расстояниями и соответствующими числовыми характеристиками в пикселях. Эти характеристики получают в результате калибровки фотокамеры путем фотографирования базиса известной длины с последующей компьютерной обработкой сделанных снимков.

В работе [9] предложен способ, основанный на определении аналитической зависимости измеряемых расстояний d от количества пикселей Δ, приходящихся на изображенный на снимках горизонтальный базис известной длины:

$$d = A/\Delta \ , \qquad (1)$$

где для нахождения коэффициента A на основе метода наименьших квадратов получено следующее соотношение:

$$A = [d/\Delta]/[\ 1/\Delta^2\ ] \ . \qquad (2)$$

В цитируемой работе [9] для калибровки фотокамеры были выполнены снимки горизонтального базиса через интервал 0,5 м в диапазоне всего 3–30 м. В данной статье приведены результаты исследований возможности использования аналитической зависимости (1) для вертикального базиса, увеличения диапазона измеряемых расстояний и использования контрольных операций при компьютерной обработке снимков.

С этой целью было выполнено фотографирование (рис. 1) вертикального базиса (3-метровой нивелирной рейки).

а *б*

Рис. 1. Фотографии базиса на расстоянии 10 м (*а*) и 200 м (*б*)

При этом фотокамера была установлена на высоте 1,5 м, а ее оптическая ось была ориентирована на середину рейки, расположенной на расстоянии 200 м. В процессе калибровки было выполнено при неподвижном положении фотокамеры

фотографирование рейки через 5 м в диапазоне 5–200 м горизонтальной линии. Каждую фотографию (размером 4608×3072 пкс) выводили на экран монитора, открывали каждый файл с помощью *Paint* и, подводя курсор к верхнему и нижнему концам рейки, отсчитывали количество пикселей В и Н, соответствующих каждому положению курсора (см. стб. 2, 3 табл. 1).

Таблица 1

Результаты калибровки фотокамеры *Olympus E-PL5*

d, м	Отсчеты по курсору, их разности, пкс. Размер пикселя, мм/пкс				$(\delta_к-\delta_н)$, мм/пкс	$(d_к-d_н)$, м	c, мм/пкс/м	d/Δ, м/пкс	$1/\Delta^2$, 1/пкс^2	$d_{выч}$, м	Ошибка,%
	В	Н	Δ	δ							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	487	2253	1766	1,7	0,9	5	0,171	0,0057	3,21E-07	10,036	0,4
15	774	1948	1174	2,6	1,7	10	0,170	0,0128	7,26E-07	15,097	0,6
20	942	1824	882	3,4	2,5	15	0,170	0,0227	1,29E-06	20,095	0,5
25	1022	1729	707	4,2	3,4	20	0,170	0,0354	2,00E-06	25,069	0,3
30	1050	1639	589	5,1	4,2	25	0,167	0,0509	2,88E-06	30,091	0,3
35	1103	1614	511	5,9	5,1	30	0,170	0,0685	3,83E-06	34,684	-0,9
40	1145	1587	442	6,8	5,9	35	0,170	0,0905	5,12E-06	40,098	0,2
45	1159	1552	393	7,6	6,8	40	0,171	0,1145	6,47E-06	45,098	0,2
50	1179	1530	351	8,5	7,6	45	0,170	0,1425	8,12E-06	50,494	1,0
55	1203	1524	321	9,3	8,6	50	0,171	0,1713	9,70E-06	55,213	0,4
60	1237	1529	292	10,3	9,4	55	0,170	0,2055	1,17E-05	60,697	1,2
65	1217	1488	271	11,1	10,2	60	0,169	0,2399	1,36E-05	65,400	0,6
70	1230	1483	253	11,9	11,1	65	0,171	0,2767	1,56E-05	70,053	0,1
75	1260	1494	234	12,8	11,9	70	0,171	0,3205	1,83E-05	75,741	1,0
80	1260	1480	220	13,6	12,7	75	0,170	0,3636	2,07E-05	80,561	0,7
85	1258	1466	208	14,4	13,5	80	0,168	0,4087	2,31E-05	85,209	0,2
90	1273	1471	198	15,2	14,4	85	0,170	0,4545	2,55E-05	89,513	-0,5
95	1257	1443	186	16,1	15,3	90	0,171	0,5108	2,89E-05	95,288	0,3
100	1266	1442	176	17,0	16,3	95	0,171	0,5682	3,23E-05	100,702	0,7
105	1268	1435	167	18,0	16,9	100	0,169	0,6287	3,59E-05	106,129	1,1
110	1291	1452	161	18,6	17,8	105	0,169	0,6832	3,86E-05	110,084	0,1
115	1280	1434	154	19,5	18,7	110	0,170	0,7468	4,22E-05	115,088	0,1
120	13406	1453	147	20,4	19,6	115	0,170	0,8163	4,63E-05	120,568	0,5
125	1330	1471	141	21,3	20,4	120	0,170	0,8865	5,03E-05	125,699	0,6
130	1316	1452	136	22,1	21,0	125	0,168	0,9559	5,41E-05	130,320	0,2
135	1311	1443	132	22,7	21,9	130	0,169	1,0227	5,74E-05	134,269	-0,5
140	1316	1443	127	23,6	22,7	135	0,168	1,1024	6,20E-05	139,555	-0,3
145	1321	1444	123	24,4	23,5	140	0,168	1,1789	6,61E-05	144,093	-0,6
150	1332	1451	119	25,2	24,6	145	0,170	1,2605	7,06E-05	148,937	-0,7
155	1322	1436	114	26,3	25,3	150	0,169	1,3596	7,69E-05	155,469	0,3
160	1335	1446	111	27,0	26,1	155	0,168	1,4414	8,12E-05	159,671	-0,2

Окончание табл.1

d, м	Отсчеты по курсору, их разности, пкс. Размер пикселя, мм/пкс				$(\delta_к-\delta_н)$, мм/пкс	$(d_к-d_н)$, м	c, мм/пкс/м	d/Δ, м/пкс	$1/\Delta^2$, 1/пкс^2	$d_{выч?}$, м	Ошибка,%
	В	Н	Δ	δ							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
165	1299	1407	108	27,8	27,1	160	0,170	1,5278	8,57E-05	164,106	-0,5
170	1294	1398	104	28,8	27,7	165	0,168	1,6346	9,25E-05	170,418	0,2
175	1265	1367	102	29,4	28,6	170	0,168	1,7157	9,61E-05	173,760	-0,7
180	1289	1388	99	30,3	29,6	175	0,169	1,8182	1,02E-04	179,025	-0,5
185	1285	1381	96	31,3	30,6	180	0,170	1,9271	1,09E-04	184,620	-0,2
190	1307	1400	93	32,3	31,3	185	0,169	2,0430	1,16E-04	190,575	0,3
195	1330	1421	91	33,0	32,4	190	0,170	2,1429	1,21E-04	194,764	-0,1
200	1309	1397	88	34,1	-1,7	-10	0,170	2,2727	1,29E-04	201,403	0,7
							0,170	**31,228**	**0,001762**		
								A_{200}=	**17723**		

На основании данных табл. 1 построены графики зависимости количества содержащихся в отсчетах В и Н пикселей от расстояний d (рис. 2). По таким графикам можно выявлять возможные грубые ошибки в отсчетах В и Н.

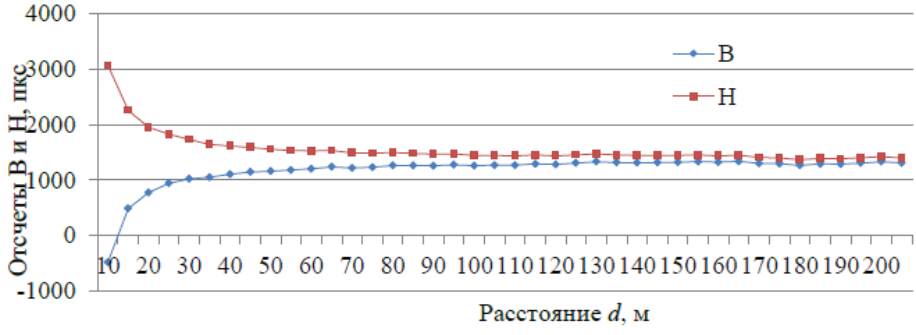


Рис. 2. Графики зависимости количества пикселей В и Н от расстояния d

По разностям Δ = Н – В количества пикселей, соответствующих длине рейки (стб. 4). определяли размер δ одного пикселя (стб. 5):

$$\delta = b/\Delta \ , \qquad (3)$$

где b – длина базиса в мм; Δ – разность (Н–В) в пикселях (пкс).

Зависимость δ от d может быть выражена известным равенством [8]:

$$\delta = \delta_н + (d - d_н)(\delta_к - \delta_н)/(d_к - d_н) \ , \qquad (4)$$

где δ – размер одного пикселя на расстоянии d; $\delta_Н$ – размер одного пикселя на расстоянии $d_Н$; $\delta_К$ – размер одного пикселя на расстоянии $d_К$. В нашем случае $d_Н$ = 10 м, $d_К$ = 200 м.

Контролем правильности вычислений размеров одного пикселя является график на (рис. 3), который должен представлять собой прямую линию.

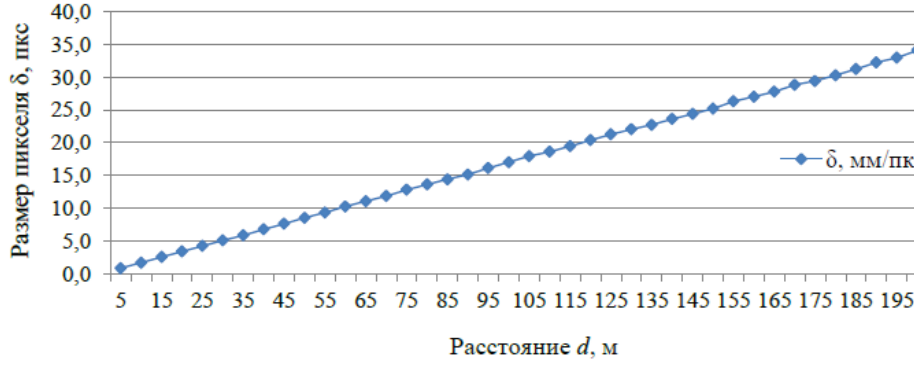


Рис. 3. График зависимости размера одного пикселя δ от расстояния *d*

Обратим внимание в формуле (4) на отношение с:

$$c = (\delta_к - \delta_н)/(d_к - d_н)\ . \qquad (5)$$

Используя данные стб. 1 и 5 табл. 1, подсчитаем $(\delta_К - \delta_Н)$ и $(d_К - d_Н)$, беря в качестве $\delta_Н = 1{,}7$ мм/пкс значение, соответствующее $d_Н = 10$ м, а в качестве $\delta_К$ и $d_К$ все последующие значения δ, соответствующие 15, 20, 25, …, 195, 200 м (стб. 6 и 7). Теперь, если по формуле (5) определить с, то получим практически одну и ту же величину (стб. 8) в пределах 0,168–0,171 и в среднем 0,170 единиц. Если размерность *d* брать в метрах, а δ – в мм/пкс, то размерность с будет мм/пкс/м. Отметим, что каждая фотокамера имеет свое постоянное значение с. Так, например, у фотокамеры *Nikon COOLPIX S9100* для горизонтального базиса оно составляет 0,262, для вертикального 0,260. Кроме того, с не зависит от измеряемого расстояния и может служить в качестве дополнительного контроля результатов калибровки и участвовать в вычислениях измеряемого расстояния.

По значениям числителя (стб. 9) и знаменателя (стб. 10) формулы (2) подсчитано значение коэффициента A = 17723. По формуле (1) найдены значения $d_{выч}$ (стб. 11) и их относительные ошибки (стб. 12), которые находятся в пределах – 0,9 + 1,2 % и практически совпадают с таковыми, определенными по горизонтальному базису в работе [9]. Таким образом, аналитическая зависимость (1) является справедливой как для горизонтального, так и для вертикального базиса.

Представим формулу (1) в виде $A = d\Delta$ и вычислим A для всех расстояний (стб. 3 табл. 2), которые теоретически должны быть равны между собой. В нашем случае они находятся в пределах 17 520–17 885 и в среднем $A_{СР} = 17693$ м*пкс. По формуле (1) были найдены значения $d_{выч}$, их отклонения от d (стб. 4) и относительные ошибки (стб. 5), которые находятся в пределах – 1,1 + 1,0 %.

Возьмем в качестве коэффициента A среднее арифметическое между A_{10} и A_{200}, то есть $A_{срНК} = (A_Н + A_К)/2 = 17\ 630$ м*пкс. Подсчитанные по этому значению коэффициента $d_{выч}$, $d_{выч} - d$ (стб. 6) и относительные ошибки (стб. 7), которые оказались в пределах – 1,4 + 0,6 %.

Таблица 2

Результаты оценки точности при средних значениях коэффициента *A*

d, м	Δ, пкс	Коэффициент A				
		$A_{СР}$ = 17693			$A_{срНК}$ = 17630	
		A, м*пкс	$d_{выч} - d$, м	Ошибка, %	$d_{выч} - d$, м	Ошибка, %
1	2	3	4	5	6	7
10	1766	17 660	0,019	0,2	-0,017	-0,2
15	1174	17 610	0,071	0,5	0,017	0,1
20	882	17 640	0,060	0,3	-0,011	-0,1
25	707	17 675	0,026	0,1	-0,064	-0,3
30	589	17 670	0,039	0,1	-0,068	-0,2
35	511	17 885	-0,375	-1,1	-0,499	-1,4
40	442	17 680	0,030	0,1	-0,113	-0,3
45	393	17 685	0,021	0,0	-0,140	-0,3
50	351	17 550	0,408	0,8	0,228	0,5
55	321	17 655	0,119	0,2	-0,078	-0,1
60	292	17 520	0,593	1,0	0,377	0,6
65	271	17 615	0,289	0,4	0,055	0,1
70	253	17 710	-0,066	-0,1	-0,316	-0,5
75	234	17 550	0,612	0,8	0,342	0,5
80	220	17 600	0,424	0,5	0,136	0,2
85	208	17 680	0,063	0,1	-0,240	-0,3
90	198	17 820	-0,640	-0,7	-0,960	-1,1
95	186	17 670	0,125	0,1	-0,215	-0,2
100	176	17 600	0,530	0,5	0,170	0,2
105	167	17 535	0,947	0,9	0,569	0,5
110	161	17 710	-0,104	-0,1	-0,497	-0,5
115	154	17 710	-0,109	-0,1	-0,519	-0,5
120	147	17 640	0,362	0,3	-0,068	-0,1
125	141	17 625	0,484	0,4	0,035	0,0
130	136	17 680	0,097	0,1	-0,368	-0,3
135	132	17 820	-0,961	-0,7	-1,439	-1,1
140	127	17 780	-0,683	-0,5	-1,181	-0,8
145	123	17 835	-1,153	-0,8	-1,667	-1,1
150	119	17 850	-1,318	-0,9	-1,849	-1,2
155	114	17 670	0,204	0,1	-0,351	-0,2
160	111	17 760	-0,602	-0,4	-1,171	-0,7
165	108	17 820	-1,174	-0,7	-1,759	-1,1
170	104	17 680	0,127	0,1	-0,481	-0,3
175	102	17 850	-1,537	-0,9	-2,157	-1,2
180	99	17 820	-1,281	-0,7	-1,919	-1,1
185	96	17 760	-0,696	-0,4	-1,354	-0,7
190	93	17 670	0,249	0,1	-0,430	-0,2
195	91	17 745	-0,569	-0,3	-1,264	-0,6
200	88	17 600	1,059	0,5	0,341	0,2

По данным стб. 12 табл. 1 и стб. 5 и 7 табл. 2 построены графики зависимости относительной ошибки определения расстояния *d* для рассмотренных трех случаев определения коэффициента *A* (рис. 4). Эти графики оказались практически конгруэнтными.

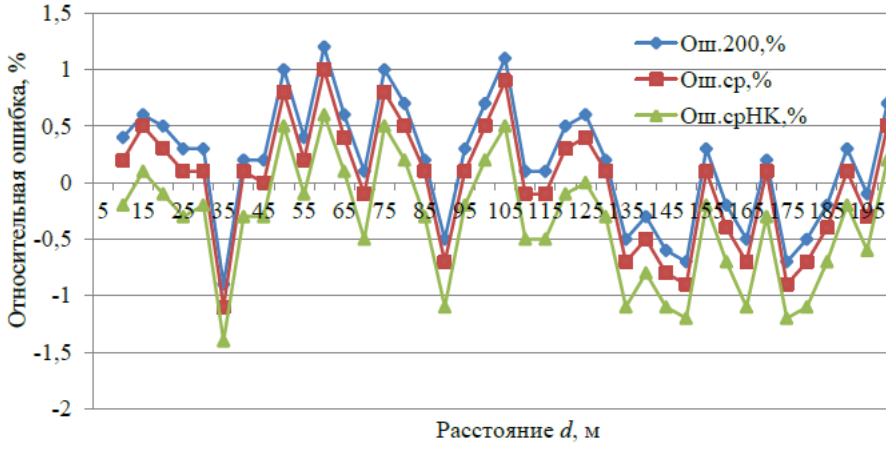


Рис. 4. Графики зависимости относительных ошибок определения расстояния *d* от коэффициентов A_{200}, $A_{СР}$, $A_{срНК}$

На основании этих графиков можно констатировать, что рассмотренные три способа определения коэффициента *A* дают практически одинаковую точность определения расстояния *d* в основном в пределах – 1 + 1 %. Поэтому на практике можно применить сокращенный способ калибровки путем тщательного определения $A_Н$ и $A_К$ и взятия их среднего $A_{срНК}$.

С целью определения возможности распространения действия коэффициента *A* за пределы конечной точки К линии калибровки, были выполнены соответствующие исследования. Для этого в качестве линий калибровки были взяты отрезки 10–50, 10–100, 10–150 м. Для этих линий были подсчитаны коэффициенты A_{50}, A_{100}, A_{150} и найдены $d_{выч}$, $d_{выч}$–*d* и относительные ошибки. Результаты вычислений представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты оценки точности при значениях коэффициентов A_{50}, A_{100}, A_{150}

d, м	Δ, пкс	Коэффициент *A*					
		A_{50} = 17 668		A_{100} = 17 653		A_{150} = 17 707	
		$d_{выч} - d$, м	Ошибка, %	$d_{выч} - d$, м	Ошибка, %	$d_{выч} - d$, м	Ошибка, %
1	2	3	4	5	6	7	8
10	1766	0,004	0,0	-0,004	0,0	0,026	0,3
15	1174	0,049	0,3	0,036	0,2	0,082	0,5
20	882	0,031	0,2	0,015	0,1	0,075	0,4
25	707	-0,011	0,0	-0,031	-0,1	0,044	0,2
30	589	-0,004	0,0	-0,029	-0,1	0,061	0,2
35	511	-0,426	-1,2	-0,454	-1,3	-0,350	-1,0
40	442	-0,028	-0,1	-0,061	-0,2	0,059	0,1

Окончание табл.3

d, м	Δ, пкс	Коэффициент A					
		A_{50} = 17 668		A_{100} = 17 653		A_{150} = 17 707	
		$d_{выч} - d$, м	Ошибка, %	$d_{выч} - d$, м	Ошибка, %	$d_{выч} - d$, м	Ошибка, %
1	2	3	4	5	6	7	8
45	393	-0,045	-0,1	-0,082	-0,2	0,053	0,1
50	351	0,335	0,7	0,293	0,6	0,444	0,9
55	321	0,039	0,1	-0,007	0,0	0,159	0,3
60	292	0,505	0,8	0,455	0,8	0,637	1,1
65	271	0,194	0,3	0,140	0,2	0,336	0,5
70	253	-0,168	-0,2	-0,226	-0,3	-0,016	0,0
75	234	0,502	0,7	0,440	0,6	0,667	0,9
80	220	0,307	0,4	0,240	0,3	0,482	0,6
85	208	-0,060	-0,1	-0,131	-0,2	0,125	0,1
90	198	-0,770	-0,9	-0,844	-0,9	-0,576	-0,6
95	186	-0,013	0,0	-0,092	-0,1	0,194	0,2
100	176	0,384	0,4	0,300	0,3	0,602	0,6
105	167	0,793	0,8	0,706	0,7	1,024	1,0
110	161	-0,264	-0,2	-0,355	-0,3	-0,025	0,0
115	154	-0,276	-0,2	-0,371	-0,3	-0,026	0,0
120	147	0,187	0,2	0,087	0,1	0,449	0,4
125	141	0,301	0,2	0,198	0,2	0,574	0,5
130	136	-0,092	-0,1	-0,200	-0,2	0,191	0,1
135	132	-1,155	-0,9	-1,266	-0,9	-0,864	-0,6
140	127	-0,886	-0,6	-1,001	-0,7	-0,583	-0,4
145	123	-1,362	-0,9	-1,481	-1,0	-1,049	-0,7
150	119	-1,534	-1,0	-1,657	-1,1	-1,210	-0,8
155	114	-0,022	0,0	-0,150	-0,1	0,316	0,2
160	111	-0,833	-0,5	-0,965	-0,6	-0,486	-0,3
165	108	-1,412	-0,9	-1,548	-0,9	-1,056	-0,6
170	104	-0,120	-0,1	-0,261	-0,2	0,250	0,1
175	102	-1,789	-1,0	-1,933	-1,1	-1,412	-0,8
180	99	-1,540	-0,9	-1,688	-0,9	-1,152	-0,6
185	96	-0,964	-0,5	-1,116	-0,6	-0,563	-0,3
190	93	-0,027	0,0	-0,184	-0,1	0,387	0,2
195	91	-0,852	-0,4	-1,013	-0,5	-0,429	-0,2
200	88	0,767	0,4	0,601	0,3	1,205	0,6

В заключение отметим, что, во-первых, аналитическая зависимость измеряемых расстояний от количества пикселей, приходящихся на изображенный на снимках горизонтальный базис известной длины справедлива и для вертикального базиса. Во-вторых, установлено, что полный и сокращенные способы калибровки фотокамеры дают практически одинаковые по точности результаты. И, в-третьих,

доказана возможность использования результатов калибровки неметрической фотокамеры для фотографического способа измерения расстояний, превышающих длину линии, на которой выполнена калибровка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барсуков, К. Г. Исследование возможностей неметрических цифровых фотоаппаратов при решении инженерно-строительных задач / К. Г. Барсуков. – Текст : непосредственный // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2007. – № 3. – С. 82–85.

2. Гельман, Р. Н. Лабораторная калибровка камер с большой дисторсией / Р. Н. Гельман, А. Л. Дунц. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2002. – № 7. – С. 23–31.

3. Джарроуш, Д. Бытовая цифровая камера как инструмент для точных геодезических измерений / Д. Джарроуш. – Текст : непосредственный // Геопрофи. – 2014. – № 4. – С. 46–49.

4. Кацарский, И. С. О цифровой фотограмметрии и перспективах ее применения / И. С. Кацарский. – Текст : непосредственный // Геопрофи. – 2006. – № 6. – С. 4–8.

5. Могильный, С. Г. Конструктивнвя калибровка цифровой камеры / С. Г. Могильный, А. А. Шоломицкий, А. А. Лунев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Серия «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2011. – № 2. – С. 62–66.

6. Никишин, Д. А. Методы и результаты калибровки малоформатных цифровых камер с трансфокатором / Д. А. Никишин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Серия «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2003. – № 4. – С. 100–107.

7. Уставич, Г. А. О применении неметрических цифровых камер для инженерно-геодезических измерений / Г. А. Уставич, Я. Г. Пошивайло. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2005. – № 8. – С. 19–24.

8. Шеховцов, Г. А. Контроль пространственного положения и формы строительных конструкций с помощью неметрических цифровых камер : монография / Г. А. Шеховцов, О. В. Раскаткина. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2017. – 118 с. – ISBN 978-5-528-00232-3. – Текст : непосредственный.

9. Шеховцов, Г. А. О методике и результатах калибровки фотокамер с целью измерения расстояний / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова, Ю. Н. Раскаткин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография, – 2016. – № 2. – С. 46–53.

10. Bernasik, Jerzy. Automatyzacja fotogrametrycznych pomiarów odkształceń dachowych dźwigarów hal przemysłowych / Jerzy Bernasik, Sławomir Mikrut // Geodezja. – 2006. – Volume 12, № 2. – С. 113, 141–149.

SHEKHOVTSOV Gennady Anatolevitch, doctor of technical sciences, professor of the chair of geoinformatics, geodesy and cadastre; RASKATKIN Yury Nikolaevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of building technology

CAMERA CALIBRATION OPTIONS FOR DISTANCE MEASUREMENT

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 434-05-26;
e-mail: kochetova@nngasu.ru
Key words: basis, calibration, coefficient, error, pixel, image, camera.

The article describes the technique of using analytical relationship between the measured distance and numerical characteristics in pixels. These characteristics are the coefficient A and the number of pixels corresponding to this distance. They are obtained by calibrating the camera, followed by the computer processing of the pictures taken. The results of this calibration performed by taking pictures of a vertical 3-meter base in every 5 m in the range of 5–200 m of a horizontal line are presented. Three methods of determining the coefficient A are shown, providing almost the same accuracy in determining the distance. It was established that for each camera, the value A and the ratio of the difference in pixel size at the end and beginning of the calibration line to its length are constant. It is proved that the limits of the photographic method of measuring distances are not limited by the length of the calibration line, but can be much larger, ensuring the accuracy of measurements within 0–1 %.

REFERENCES

1. Barsukov K. G. Issledovanie vozmozhnostey nemetricheskikh tsifrovykh fotoapparatov pri reshenii inzhenerno-stroitelnykh zadach [Investigation of the possibilities of non-metric digital cameras in solving engineering and construction tasks]. Nauch. vestnik Voronezh. gos. arkhitektur.-stroit. un-ta [Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering]. – 2007. – № 3. – P. 82–85.

2. Gelman R. N., Dunts A. L. Laboratornaya kalibrovka kamer s bolshoy distorsiey [Laboratory calibration of cameras with large distortion] // Geodeziya i kartografiya [Geodezy and cartography]. 2002. № 7. P. 23–31.

3. Jarroush D. Bytovaya tsifrovaya kamera kak instrument dlya tochnykh geodezicheskikh izmereniy [Household digital camera as a tool for accurate geodetic measurements] // Geoprofi. – 2014. – № 4. – P. 46–49.

4. Katsarsky I. S. O tsifrovoy fotogrammetrii i perspektivakh eyo primeneniya [About digital photogrammetry and the prospects of its application] // Geoprofi. – 2006. – № 6. – P. 4–8.

5. Mogilny S. G., Sholomitsky A. A., Lunev A. F. Konstruktivnaya kalibrovka tsifrovoy kamery [Digital Camera Calibration] // Izvestiya vuzov. Seriya “Geodeziya i aerofotosyomka” [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]. – 2011. № 2. P. 62–66.

6. Nikishin D. A. Metody i rezultaty kalibrovki maloformatnykh tsifrovykh kamer s transfokatorom [Calibration methods and results for small format digital cameras with zoom] // Izvestiya vuzov. Seriya “Geodeziya i aerofotosyomka” [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]. – 2003. № 4. P. 100–107.

7. Ustavich G. A, Poshivaylo Ya. G. O primenenii nemetricheskikh tsifrovykh kamer dlya inzhenerno-geodezicheskikh izmereniy [On the use of non-metric digital cameras for engineering-geodetic measurements] // Geodeziya i kartografiya [Geodezy and cartography]. – 2005. – № 8. – P. 19–24.

8. Shekhovtsov G. A., Raskatkina O. V. Kontrol prostranstvennogo polozheniya i formy stroitelnykh konstruktsiy s pomoschyu nemetricheskikh tsifrovykh kamer [Control of the spatial position and shape of building structures using non-metric digital cameras]: monografiya / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2017. – 118 p. – ISBN 978-5-528-00232-3.

9. Shekhovtsov G. A., Shekhovtsova R. P., Raskatkin Yu. N. O metodike i rezultatakh kalibrovki fotokamer s tselyu izmereniya rasstoyaniy [About method and results of calibration of photocamers to measure distances] // Geodeziya i kartografiya [Geodezy and cartography]. – 2016. – № 2. – P. 46–53.

10. Bernasik Jerzy, Mikrut Sławomir Automatyzacja fotogrametrycznych pomiarów odkształceń dachowych dźwigarów hal przemysłowych // Geodezja. – 2006. – Vol.12, № 2. – P. 113, 141–149.

© Г. А. Шеховцов, Ю. Н. Раскаткин, 2022

Получено: 27.12.2021 г.

УДК 628.517.2

А. И. АНТОНОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры архитектуры зданий и градостроительства[1], вед. науч. сотр.[2]; А. В. ГРЕЧИШКИН[3], канд. техн. наук, зав. кафедрой городского строительства и архитектуры; В. П. ГУСЕВ[2], д-р техн. наук, глав. науч. сотр.; В. И. ЛЕДЕНЕВ, д-р техн. наук, проф. кафедры городского строительства и автомобильных дорог[1], вед. науч. сотр.[2]; И. В. МАТВЕЕВА[1] , канд. техн. наук, доц. кафедры городского строительства и автомобильных дорог

СНИЖЕНИЕ ШУМА ГАЗОВОЗДУШНЫХ КАНАЛОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИМИ ОБЛИЦОВКАМИ

[1]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.
[2]ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»
Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21. Тел.: (495) 482-40-16
[3]ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»
Россия, 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28. Тел.: (8412) 48-27-37
Ключевые слова: газовоздушные каналы, шум, звукоизолирующие облицовки, расчеты звукоизоляции, энергетические предприятия.

Рассматривается методика проектирования звукоизоляции газовоздушных каналов, излучающих звуковую энергию в окружающую среду. На основании исследований, выполненных авторами статьи, предлагается алгоритм проектирования дополнительной звукоизоляции газовоздушных каналов, учитывающий изменение звукоизоляции облицовок каналов путем варьирования состава облицовок, а также изменения геометрических параметров и акустических характеристик материалов слоев облицовок.

На территориях современных городов имеется большое количество предприятий, создающих неблагоприятную шумовую обстановку в прилегающей к ним застройке. В крупных мегаполисах к ним в первую очередь относятся энергетические объекты [1, 2]. Среди большого количества источников шума, имеющихся на энергетических предприятиях, особое место занимают газовоздушные тракты [3]. Излучение ими шума происходит как через устья, так и через стенки каналов.

Для снижения шума, излучаемого устьями каналов, в настоящее время используются различного вида глушители, устанавливаемые непосредственно в каналах или перед ними у открытых концов воздуховодов [3].

Так как газовоздушные тракты имеют большие поперечные размеры и большую протяженность, звуковая энергия, излучаемая через стенки каналов, приводит к зашумлению значительных участков, прилегающих к энергетическим объектам территорий. Для снижения звуковой энергии, излучаемой стенками каналов, необходимо устраивать на них звукоизолирующие облицовки. Выбор конструктивных решений звукоизолирующих облицовок и материалов для их устройства является сложной задачей, требующей выполнения нескольких операций, следующих друг за другом. Например, при выборе материалов для устройства звукоизолирующих облицовок необходимо решать три задачи, а именно:

– выполнять расчет звуковой энергии, распространяющейся от источника шума внутри пространства канала;

– определять требуемую звукоизоляцию стенок канала;

– производить расчет звукоизоляции дополнительной облицовки канала, принимая различные звукоизоляционные материалы.

Как видно из перечисленных задач, вначале следует производить расчеты распространения шума внутри каналов. При выборе метода расчета необходимо учитывать особенности его распространения в каналах как в длинных помещениях. Газовоздушные тракты энергетических объектов относятся к крупногабаритным каналам, размеры которых существенно превышают длины распространяющихся звуковых волн практически во всем нормируемом диапазоне частот. Выполненные исследования распространения шума в крупногабаритных каналах показывают, что уровни шума в них определяются прямой и отраженной звуковой энергией. При этом отраженная энергия включает в себя зеркальную и диффузную составляющие [4, 5]. Расчет отраженной энергии в этом случае следует производить комбинированным методом, в котором зеркальная составляющая определяется методом прослеживания лучей, а диффузная – статистическим энергетическим методом [4]. В настоящее время комбинированный метод используется нами при решении практических задач по проектированию звукопоглощающих и звукоизолирующих облицовок крупногабаритных каналов газовоздушных трактов различного назначения [6].

В статье рассмотрена методика по проектированию звукоизолирующих облицовок газовоздушных каналов, которая использует комбинированный метод расчета составляющих прямого и отраженного звука, распространяющихся в пространстве канала.

Проектирование дополнительной звукоизоляции стенок канала в этом случае включает в себя ряд последовательных операций:

– на основе комбинированного метода производится определение уровней звукового давления в расчетных точках канала. Методика расчета подробно изложена в статье [4];

– определяется интенсивность звуковой энергии, падающей изнутри на стенки канала. Методика определения интенсивности приведена в статье [6];

– на основе сведений о допустимых уровнях звукового давления в расчетных точках окружающего воздуховод пространства и расчетных формул для определения в этих точках уровней звукового давления, создаваемых излучаемой каналом звуковой энергии, определяется требуемая звукоизоляция стенок канала $R_{тр}$ во всем нормируемом диапазоне частот. Расчетные формулы для определения $R_{тр}$ стенок канала с квадратным поперечным сечением приведены в статье [6];

– на основе полученной частотной характеристики $R_{тр}$ производится оценка фактической звукоизоляции стенок канала и в случае ее несоответствия выполняется проектирование дополнительной звукоизоляции.

Так как стенки каналов в большинстве случаев выполняются из листовой стали, их звукоизоляция, как правило, недостаточна для обеспечения требуемых значений $R_{тр}$ и, соответственно, необходимо устройство дополнительных звукоизолирующих облицовок.

Для оценки звукоизолирующих характеристик облицовок предложено использовать численный метод прослеживания плоских звуковых волн, распространяющихся в элементах облицовки. Подробно численный метод для случая устройства на канале многослойных облицовок рассмотрен нами в статье [7], в которой также предложена упрощенная практическая формула, учитывающая только первую проникающую через облицовки волну. Формула для этого случая имеет вид:

$$R = 10\lg\left(\frac{\rho_0 c_0}{\rho_1 c_1}\right) + 8{,}69\left(\sum_{i=1}^{M}\gamma'_i d_i\right) - 20\lg\left(\tau_{M,\text{в}}\prod_{i=1}^{M-1}\tau_{i,i+1}\right), \quad (1)$$

где $\rho_0 c_0$ = 430 кг/м^{2}с – волновое сопротивление воздуха; $\rho_1 c_1$ – волновое сопротивление материалов 1-го слоя облицовки; ρ_1 и c_1 – объемная плотность материала i-го слоя облицовки и скорость звука в нем; d_1 – толщина i-го слоя облицовки; $\gamma' i$– действительная часть постоянной распространения волн для i-го слоя; M – количество слоев облицовки; $\tau_{i,i+1}$ – коэффициенты проницаемости между слоями; $\tau_{M,\text{в}}$ – то же между последним слоем и воздухом внешней среды.

В статье [7] показано, что формула (1) справедлива, если выполняется условие, когда:

$$\sum_{i=1}^{M}\gamma'_i d_i \rangle 2 \ . \quad (2)$$

В случае однослойной облицовки формула (1) имеет вид

$$R = 10\lg\left(\frac{\rho_0 c_0}{\rho c}\right) + 8{,}69\,\gamma' d - 20\lg\left(\frac{2}{z+1}\right), \quad (3)$$

где z – относительный характеристический импеданс облицовки.

Из выражений (1)–(3) видно, что эффективность звукоизоляции облицовок зависит от поглощающих свойств материалов и их толщин. Следовательно, ее можно регулировать за счет соответствующего выбора материалов слоев облицовок, варьируя при этом их толщинами и последовательностью расположения слоев в пределах дополнительной облицовки. В статье [8] показано такое возможное изменение звукоизолирующих свойств облицовок при применении в них в качестве отдельных слоев из материалов *K-FONIK* и *K-Flex* при различных сочетаниях их толщин. В статье [9] дан подробный анализ влияния расположения (последовательности) слоев различных материалов на звукоизолирующие качества покрытий. Показано, что, например, изменение положения менее плотного материала *K-Flex ST* (h = 25 мм, γ = 45 кг/м^3) и более плотного материала *K-Flex GK* (h = 2 мм, γ = 2000 кг/м^3) может приводить к изменению эффективности звукоизоляции на 6–10 дБ. Указано, что при сохранении толщины плотного материала *K-Flex GK* и увеличении толщины легкого слоя, поглощающего звуковую энергию волн, проходящих через облицовку, приводит к росту эффективности звукоизоляции облицовки на средних и высоких частотах. В то же время на низких частотах это приводит к обратному эффекту. При исследованиях установлено, что частотная характеристика звукоизоляции канала может существенно изменяться при замене одного звукопоглощающего материала, контактирующего с поверхностью основного материала канала, на материал с другими звукопоглощающими характеристиками. Правильно подобранные характеристики первого от стенок канала слоя могут существенно повысить эффективность облицовки в низкочастотном диапазоне при сохранении при этом высокой эффективности звукоизоляции многослойной облицовки в целом [9].

Для оценки точности предложенного метода нами выполнен сравнительный анализ расчетных и измеренных значений дополнительной звукоизоляции стенок воздуховода. Результаты анализа приведены в статье [10]. Рассматривалась облицовка из пористого звукоизолирующего материала *Flex-ST*.

Ниже в качестве примера в табл. 1 и на рис. 1 приведены результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных.

Таблица 1

Рассчитанные значения звукоизоляции облицовки воздуховода по первой проникающей волне

Частота звука, Гц	Звукоизоляция облицовки, дБ, при толщине облицовки, см				$\overline{\Delta L}$, дБ
	2,5	5,0	7,5	10,0	
125	0,54/-0,8	0,87/1,3	1,19/4,1	1,52/3,2	2,7
250	0,94/-0,8	1,72/-3,7	2,5/-1,1	3,29/0,6	2,0
500	-0,67/-1,3	0,61/1,2	1,92/-0,8	3,22/-3,0	1,8
1000	2,3/+1,8	5,58/-0,4	8,84/0,3	12,1/-0,5	1,0
2000	3,8/-1,0	11,0/-0,8	18,3/-0,4	25,6/-0,1	0,7
$\overline{\Delta L}$, дБ	1,2	1,9	1,9	2,0	1,8

Примечание. В знаменателе дроби указаны расхождения между рассчитанной и измеренной звукоизоляцией.

В табл. 1 $\overline{\Delta L}$ – величина среднеквадратичного отклонения, определяемая по формуле

$$\Delta\overline{L} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(\Delta L_i)^2}, \quad (4)$$

где ΔL_i – расхождение между расчетными и экспериментальными данными, дБ; N – количество сравнений расчетных и экспериментальных данных.

Из результатов, приведенных в табл. 1 и на рис. 1, видно хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных в области высоких частот. В то же время на низких частотах заметно проявляется интерференция звуковых волн. В результате в данном диапазоне частот наблюдаются провалы или повышения звукоизоляции.

В целом результаты сравнения показали, что предложенные формулы расчета дают возможность целенаправленного проектирования звукоизолирующих облицовок из различных материалов при различных сочетаниях толщин облицовок.

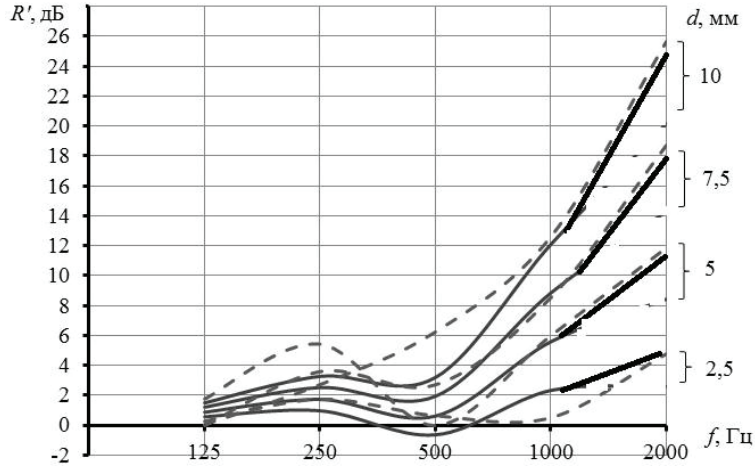


Рис. 1. Уровни звукоизоляции облицовки: измеренные (– – –) и рассчитанные (—) по первой проникающей волне

К настоящему времени в лаборатории защиты от шума вентиляционного и технологического оборудования НИИСФ РААСН выполнены серии исследований звукоизолирующих покрытий из материалов отечественных производителей. Рассматривались покрытия из легких вспененных и фольгированных волокнистых материалов, из различных эластомеров на основе каучука, а также из пеностекла. Результаты исследований приведены и проанализированы в статьях [11, 12, 13]. На основе этих результатов показана акустическая эффективность и определены границы применения исследованных материалов в качестве звукоизолирующих облицовок каналов газовоздушных трактов.

В целом результаты выполненных нами исследований и их анализ показывают, что в настоящее время разработана эффективная методика проектирования звукоизолирующих облицовок газовоздушных каналов, дающая возможность обеспечения защиты территории застройки от шума, излучаемого газовоздушными системами энергетических объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Защита жилой застройки от шума расширенной по мощности ТЭЦ Москвы / В. П. Гусев, А. В. Сидорина, В. И. Леденев, И. В. Матвеева // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2021. – № 6 (1042). – С. 10–12.

2. Оценка шумового воздействия развитой по мощности ТЭЦ на жилую застройку / В. П. Гусев, А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2021. – № 2 (34). – С. 123–137.

3. Расчет шума газовоздушных систем ТЭЦ при оценке их шумового воздействия на застройку / В. П. Гусев, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, И. В. Матвеева // Жилищное строительство. – 2019. – № 7. – С. 47–51.

4. Метод оценки распространения шума по воздушным каналам систем отопления, вентиляции и кондиционирования / В. П. Гусев, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, Е. О. Соломатин // Жилищное строительство. – 2012. – № 6. – С. 52–54.

5. Антонов, А. И. Влияние характера отражения звука от ограждений на выбор метода расчета воздушного шума в гражданских и промышленных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, О. О. Федорова // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – № 2 (42). – С. 16–23.

6. Гусев, В. П. Компьютерный расчет уровней шума при проектировании крупногабаритных газовоздушных каналов / В. П. Гусев, О. А Жоголева, В. И. Леденев // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2016. – № 6 (982). – С. 15–17.

7. Расчет дополнительной звукоизоляции воздуховодов при устройстве на них многослойных облицовок / В. П. Гусев, А. В. Сидорина, А. И. Антонов, В. И. Леденев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2018. – № 3(375). – С. 202–207.

8. Проектирование звукоизоляции крупногабаритных вентиляционных каналов / В. П. Гусев, А. В. Сидорина, А. И. Антонов, В. И. Леденев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 2 (368). – С. 254–260.

9. Гусев, В. П. Акустические исследования звукоизолирующих покрытий на трубопроводы воздушных и газовых систем / В. П. Гусев, А. В. Сидорина // Строительные материалы. – 2017. – № 6. – С. 59–62.

10. Антонов, А. И. Сравнительный анализ расчетных и измеренных значений дополнительной звукоизоляции воздуховодов из пористого материала Flex-ST / А. И. Антонов, В. И. Леденев, В. П. Гусев // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 4(78). – С. 76–83.

11. Гусев, В. П. Изоляция шума воздуховодов систем вентиляции покрытиями с использованием эластомерных и волокнистых материалов / В. П. Гусев, А. В. Сидорина //

Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 37–39.

12. Гусев, В. П. Акустические характеристики покрытий на воздуховоды и технологические трубы / В. П. Гусев, А. В. Сидорина // Строительные материалы. – 2015. – № 6. – С. 35–38.

13. Акустические и динамические характеристики эластомерных строительных материалов на основе NBR-каучука / В. П. Гусев, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, А. В. Сидорина // Строительные материалы. – 2018. – № 6. – С. 56–61.

ANTONOV Aleksandr Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the department of architecture and building construction[1]; leading researcher[2]; GRECHISHKIN Alexander Viktorovich[3], candidate of technical sciences, head of the department of urban development and architecture; GUSEV Vladimir Petrovich , doctor of technical sciences, chief scientific officer; LEDENEV Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the department of urban development and road[1]; leading researcher[2]; MATVEEVA Irina Vladimirovna[1], candidate of technical sciences, associate professor of the department of urban development and road

NOISE REDUCTION OF GAS-AIR CHANNELS OF ENERGY

[1]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
[2]Research Institute of Building Physics RAASN
21, Lokomotivnyj dr., Moscow, 127238, Russia. Tel.: +7 (495) 482-40-16
[3]Penza State University of Architecture and Construction
28, Herman Titov St., Penza, 440028, Russia. Tel.: +7 (8412) 48-27-37
Key words: gas-air channels, noise, sound-proofing cladding, sound insulation calculations, energy companies.

The method of designing sound insulation of gas-air channels emitting sound energy into their environment is considered. Based on the research carried out by the authors of the article, an algorithm for designing additional sound insulation of gas-air channels is proposed, taking into account the change in the sound insulation of channel linings by varying the composition of the linings, as well as changes in the geometric parameters and acoustic characteristics of the materials of the lining layers.

REFERENCES

1. Gusev V. P., Sidorina A. V., Ledenev V. I., Matveeva I. V. Zashchita zhiloj zastrojki ot shuma rasshirennoj po moshchnosti TEC Moskvy [Protection of residential buildings from the noise of Moscow's expanded thermal power plant] / V. P. Gusev // BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki [BST: Bulletin of Construction equipment]. – 2021. – № 6 (1042). – P. 10–12.

2. Gusev V. P., Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V. Ocenka shumovogo vozdejstviya razvitoj po moshchnosti TEC na zhiluyu zastrojku [Assessment of the noise impact of a developed thermal power plant on residential buildings] // Biosfernaya sovmestimost': chelovek, region, tekhnologii [Biosphere compatibility: person, region, technology]. – 2021. – № 2 (34). – P. 123–137.

3. Gusev V. P., ZHogoleva O. A., Ledenev V. I, Matveeva I. V. Raschet shuma gazovozdushnyh sistem TEC pri ocenke ih shumovogo vozdejstviya na zastrojku [Calculation of the noise of gas-air systems of thermal power plants when assessing their noise impact on the building] // ZHilishchnoe stroitel'stvo [Housing construction]. – 2019. – № 7. – P. 47–51.

4. Gusev V. P., ZHogoleva O. A., Ledenev V. I., Solomatin E. O. Metod ocenki rasprostraneniya shuma po vozdushnym kanalam sistem otopleniya, ventilyacii i kondicionirovaniya [A method for assessing the propagation of noise through the air channels of heating, ventilation and air

conditioning systems] // ZHilishchnoe stroitel'stvo [Housing construction]. – 2012. – № 6. – P. 52–54.

5. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Fedorova O. O. Vliyanie haraktera otrazheniya zvuka ot ograzhdenij na vybor metoda rascheta vozdushnogo shuma v grazhdanskih i promyshlennyh zdaniyah [Influence of the nature of sound reflection from fences on the choice of method for calculating air noise in civil and industrial buildings] // Privolzhskij nauchnyj zhurnal [Privolzhsky scientific journal]. – 2017. – № 2 (42). – P. 16–23.

6. Gusev V. P., ZHogoleva O. A, Ledenev V. I. Komp'yuternyj raschet urovnej shuma pri proektirovanii krupnogabaritnyh gazovozdushnyh kanalov [Computer calculation of noise levels in the design of large-sized gas-air channels] // BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki [BST: Bulletin of Construction equipment]. – 2016. – № 6 (982). – P. 15–17.

7. Gusev V. P., Sidorina A.V., Antonov A. I., Ledenev V. I. Raschet dopolnitel'noj zvukoizolyacii vozduhovodov pri ustrojstve na nih mnogoslojnyh oblicovok [Calculation of additional sound insulation of air ducts when installing multilayer linings on them] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti [News of higher educational institutions. Textile industry technology]. – 2018. – № 3 (375). – P. 202–207.

8. Gusev V. P., Sidorina A.V., Antonov A. I., Ledenev V. I. Proektirovanie zvukoizolyacii krupnogabaritnyh ventilyacionnyh kanalov [Design of sound insulation of large-sized ventilation ducts // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti [News of higher educational institutions. Textile industry technology]. – 2017. – № 2 (368). – P. 254–260.

9. Gusev V. P., Sidorina A. V. Akusticheskie issledovaniya zvukoizoliruyushchih pokrytij na truboprovody vozdushnyh i gazovyh sistem [Acoustic studies of sound-proofing coatings on pipelines of air and gas systems] // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2017. – № 6. – P. 59–62.

10. Antonov A. I., Ledenev V. I., Gusev V. P. Sravnitel'nyj analiz raschetnyh i izmerennyh znachenij dopolnitel'noj zvukoizolyacii vozduhovodov iz poristogo materiala Flex-ST [Comparative analysis of calculated and measured values of additional sound insulation of air ducts made of porous Flex-ST material] // Stroitel'stvo i rekonstrukciya [Construction and reconstruction]. – 2018. – № 4 (78). – P. 76–83.

11. Gusev V. P., Sidorina A. V. Izolyaciya shuma vozduhovodov sistem ventilyacii pokrytiyami s ispol'zovaniem elastomernyh i voloknistyh materialov [Noise isolation of air ducts of ventilation systems by coatings using elastomeric and fibrous materials] // Stroitel'nye materialy [Building materials]]. – 2013. – № 6. – P. 37–39.

12. Gusev V. P., Sidorina A. V. Akusticheskie harakteristiki pokrytij na vozduhovody i tekhnologicheskie truby [Acoustic characteristics of coatings for air ducts and process pipes] // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2015. – № 6. – P. 35–38.

13. Gusev V. P., ZHogoleva O. A., Ledenev V. I., Sidorina A. V. Akusticheskie i dinamicheskie harakteristiki elastomernyh stroitel'nyh materialov na osnove NBR-kauchuka [Acoustic and dynamic characteristics of elastomeric building materials based on NBR rubber] // Stroitel'nye materialy [Building materials]. – 2018. – № 6. – P. 56–61.

© А. И. Антонов, А. В. Гречишкин, В. П. Гусев, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, 2022
Получено: 26.02.2022 г.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 621.577

С. В. ФЕДОСОВ[1], академик РААСН, д-р техн. наук, проф. кафедры строительного материаловедения; В. Н. ФЕДОСЕЕВ[2], д-р техн. наук, проф. кафедры организации производства и городского хозяйства; С. А. ЛОГИНОВА[3], канд. техн. наук, доц. кафедры строительных конструкций

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ИСПАРИТЕЛЬНО-КОНДЕНСАЦИОННОМ КОНТУРЕ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА

[1]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26. Тел.: (980) 694-81-41; e-mail: fedosov-academic53@mail.ru
[2]ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»
Россия, 153000, г. Иваново, Шереметевский пр., д. 21. Тел.: (960) 506-40-23; e-mail: 4932421318@mail.ru
[3]ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет»
Россия, 150023, г. Ярославль, Московский пр., д. 88. Тел.: (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru
Ключевые слова: хладагент, испарительно-конденсационный блок, испарение, конденсация, теплоотдача.

Воздушные теплонасосные системы типа «воздух-вода», «воздух-воздух» являются одними из экономически выгодных видов теплообеспечения. Однако в настоящее время отставание научных и инженерных знаний по данной тематике очевидно. Понимая необходимость восполнения знаний в этой области, авторы предприняли попытку теоретического и экспериментального исследования в области теплогидродинамических процессов «испарение – конденсация» в воздушных теплонасосных системах.

Воздушные теплонасосные системы (ВТНС) типа «воздух-вода», «воздух-воздух» имеют несложную конфигурацию и в отличие от множества схожих по принципу работы тепловых насосов данные агрегаты берут тепло из наружного воздуха (не используют грунт или воду), легко устанавливаются, не требуют физических затрат на создание скважин или контура под землей.

С точки зрения теории термодинамических основ технической термодинамики в основе работы теплохолодильных машин (тепловых насосов) лежит обратный цикл Карно, описание которого приведено во множестве учебников и монографий [1, 2]. Выведены и проанализированы уравнения материальных и тепловых балансов как для испарительного, так и конденсационного блоков. Отметим, что все полученные выражения справедливы для условий работы воздушных теплонасосных систем в стационарном режиме [2].

Однако следует «прямо смотреть правде в глаза»: режим работы теплового насоса назвать стационарным можно весьма условно, точнее ВТНС работает в «квазистационарном режиме». В реальном рабочем цикле существуют стадии включения и отключения компрессора, то есть работает компрессор в режиме, когда его эксплуатационные параметры (температура и давление) изменяются.

Периоды запуска и остановки также имеют определенную продолжитель-

ность и особенности, и их необходимо учитывать для осуществления режимов основного цикла и цикла регенерации.

И главным фактором, определяющим нестационарность (а порой и нестабильность) работы всей установки ВТНС, является нестабильность и стохастичность температурно-влажностных параметров воздушной среды, т. е. воздушного потока, омывающего трубки испарительного блока.

Однако, если даже допустить возможность (а главное, целесообразность) обеспечения постоянства теплофизических параметров воздушного потока, причиной возникновения нестационарности останется еще один действующий фактор обеспечения самой сути процессов, протекающих в ВТНС: фазовые превращения субстанции при цикличности изменения температур по схеме «плюс-минус» [3].

Фазовые превращения происходят не только в объеме кипящего хладагента (испарение, конденсация), но и на внешних теплопередающих поверхностях теплообменников (конденсация влаги и парообразование). Эти процессы ведут к неизбежному возникновению и нарастанию во времени «шубы» – игольчатых кристаллов льда с низкими значениями коэффициента теплопроводности, что, в свою очередь, приводит к снижению величины коэффициента теплопередачи от воздушного потока к кипящему (или конденсирующемуся) хладагенту, а, значит, и к снижению эффективности работы ВТНС.

Из осложняющих теплофизических явлений, не удостоенных до настоящего времени должного внимания исследователей, экспериментаторов и теоретиков, следует признать эффекты «перегрева» пара и «переохлаждения» конденсата. Соответствующая нормативная литература [4–6] содержит рекомендательные значения величин, полученных как результат специальных экспериментальных исследований. При этом рекомендуемые значения перепада температур перегрева имеют $\Delta t_{пер.}$ = 7–10 °С, а перепада температур переохлаждения $\Delta t_{охл.}$ = 4–6 °С. Необходимость учета явлений перегрева и переохлаждения также обусловлена физикой процессов, протекающих при снятии эффектов перегрева и переохлаждения.

При пузырьковом кипении хладагента разрывающиеся на поверхности пузырьки образуют мельчайшие капельки жидкости, скорость вскипания которых значительно меньше расходной скорости паровой фазы [7]. В этих условиях капельножидкая фаза будет подхватываться потоком и уноситься вместе с паровой фазой. При этом, как уже отмечалось, попадание жидкой фазы в компрессор приводит к выходу его из строя и поломке.

Капли жидкости частично улавливаются в отбойнике. Но в основной своей массе они должны испариться и перейти в паровую фазу.

Теоретической основой расчетов процессов испарения является так называемый закон массоотдачи Щукарева [3]:

$$dm/Fd\tau = \beta \cdot (P_{Н} - P_{В}) , \quad (1)$$

где m – масса испаряемой влаги, кг; F – поверхность испарения, м^2 (в расчетах принимается как поверхность шара); β – коэффициент массоотдачи в газовой фазе, зависящий от скорости газокапельного потока и теплофизических параметров фаз, с/м; $P_{Н}$, $P_{В}$– соответственно парциальные давления насыщенного пара хладагента при температуре испарения и в испарителе, Па.

Поэтому одним из важных факторов расчета при проектировании ВТНС и нахождения режимов работы должны быть определены требования выполнения условия, которое отражает тот факт, что время испарения должно быть меньше времени полета капель от поверхности испарения до каплеуловителя:

$$\tau_{исп.} \leq \tau_{пол.} \quad (2)$$

При этом, если в системе отсутствует перегрев, то это физически выразится в том, что температуры в испарителе и насыщения будут одинаковы, а математически это проявится в равенстве нулю движущей силы процесса испарения и отсутствии процесса испарения как такового.

В конденсационном блоке также протекают процессы фазового перехода, однако их физическая сущность имеет несколько иную природу и, соответственно, иное математическое описание.

Выходящий из компрессора пар хладагента направляется в зону конденсации для исполнения своей основной функции – генерации теплового потока, который будет направлен на теплообеспечение строений различного функционального назначения как жилых помещений, так и общественных мест офисного, складского и иного профиля [8–10].

При этом при кажущейся простоте физической сущности явление конденсации проявляет себя весьма своеобразно и «капризно».

Процесс может быть иллюстрирован рис. 1, представляющим собой изображение процесса охлаждения воздуха на так называемой *I-d* диаграмме Рамзина [11].

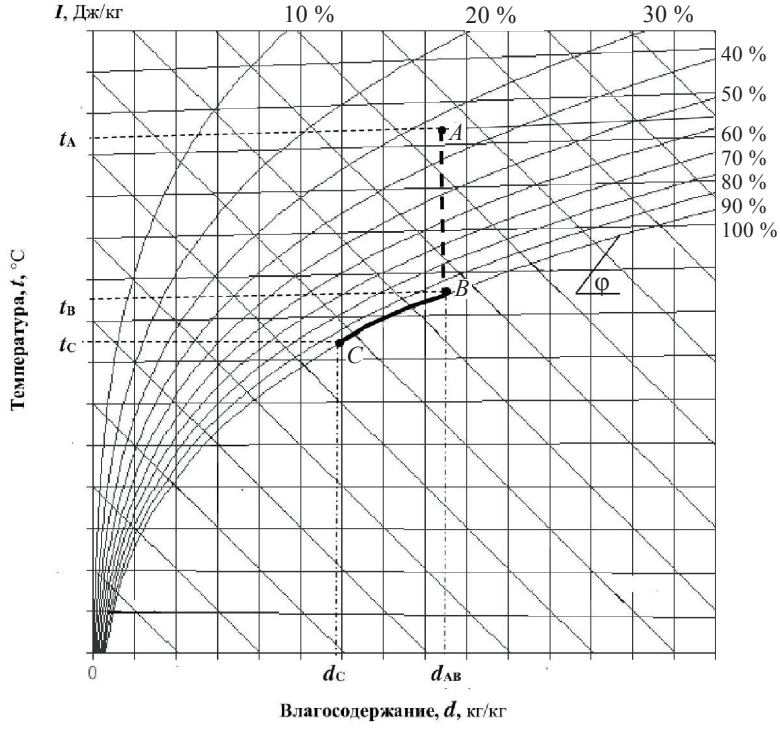


Рис. 1. Диаграмма влажного воздуха

На диаграмме нанесены линии постоянных теплосодержаний (энтальпий, I), влагосодержаний (d = const) и относительных влажностей (φ = const).

Процесс охлаждения воздуха от температуры t_A до t_B изображается на диаграмме вертикальным отрезком $t_A \rightarrow t_B$. В точке ***B***, в которой температурная линия t_B = const пересекается с линией φ = 100 %, называется «точкой росы». Теоретически при ее

достижении начинается выпадение конденсата. Дальнейшее охлаждение воздуха, например, до температуры t_C будет «протекать» по криволинейному участку ***BC*** и сопровождаться уменьшением влагосодержания паровоздушной среды от d_B до d_C и, соответственно, выпадениям конденсата. Однако при достижении температуры «точки росы» выпадение конденсата не происходит одномоментно.

При дальнейшем понижении температуры начинается процесс зарождения центров конденсации. Вообще говоря, процесс конденсации состоит из двух стадий: зарождение центров конденсации и рост капель. Заметим, что центром конденсации, как правило, являются и капли, и теплопередающие поверхности конденсационного блока, рис. 2.

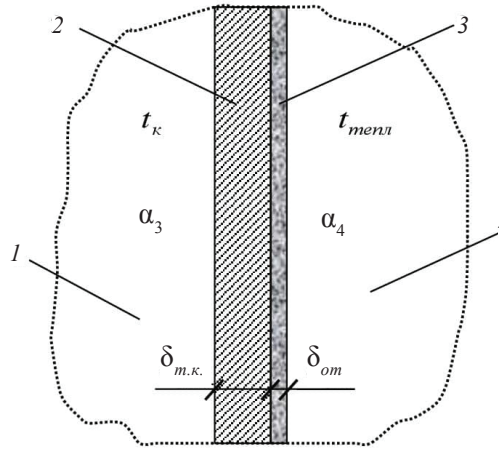


Рис. 2. Фрагмент теплопередающей поверхности конденсационного блока: *1* – сконденсированный хладагент; *2* − поверхность теплопередачи; *3* − слой осадка (накипи); *4* − теплоноситель (воздух)

Поэтому теплоноситель, снимающий теплоту в конденсационном блоке и транспортирующий ее к конечной цели – потребителю, также является важнейшим участником процесса [12]. И он обладает не только основным параметром, обеспечивающим теплообмен, – скоростью потока ν , но и способствующими теплопереносу теплофизическими характеристиками: плотностью – ρ, теплоемкостью – c , вязкостью – μ, теплопроводностью – λ.

По аналогии с выражением (1) тепловой поток от конденсата к теплоносителю будет определяться выражением:

$$Q_к(\tau) = K_к(\tau) \cdot F_к[t_к(\tau) - t_{тепл}(\tau)] \,. \qquad (3)$$

В данном случае коэффициент теплопередачи будет определяться как:

$$K_к(\tau) = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3(\tau)} + \frac{1}{\alpha_4(\tau)} + \frac{\delta_{т.к.}}{\lambda_{т.к.}} + \frac{\delta_{от}(\tau)}{\lambda_{от}}} \,, \qquad (4)$$

где $\alpha_3(\tau)$, $\alpha_4(\tau)$ − коэффициенты теплоотдачи, Вт/м^2•К ; $\delta_{т.к.}$ – толщина стенки трубы конденсатора, м; $\lambda_{т.к.}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки трубы конденсатора Вт/м•К; $\delta_{от}(\tau)$ – толщина отложений, м; $\lambda_{от}$ − коэффициент теплопроводности с учетом отложений на стенке, Вт/м•К. Зависимость значений коэффи-

циента теплопередачи от изменяющихся во времени коэффициентов теплоотдачи практически всегда игнорируется в практических расчетах. Однако влияние флуктуации параметров во времени интересно не столько с точки зрения определения площади теплообмена и количества теплообменных трубок, но и в большей степени для создания математических моделей и алгоритмов управления процессами прямого цикла и цикла регенерации. При этом крайне полезным будет определить влияние на процессы жизненного цикла ВТНС «незаметного» слагаемого в правой части выражения (4). Порой теплоноситель, заливаемый в систему, может содержать примеси, способные осаждаться на теплопередающей поверхности и существенно снижать значения коэффициента теплопередачи, понижая таким образом эффективность всего процесса работы воздушного теплового насоса.

Еще одним «незаметным», но немаловажным фактором является фактор флуктуации значения коэффициента теплоотдачи (α_4). Дело в том, что в условиях длительного изменения воздействия температуры может происходить и изменение их теплофизических и физико-механических характеристик, а оно, в свою очередь, способно изменять значения коэффициента теплоотдачи α_4, а, значит, и коэффициента теплопередачи $K_к$.

Рассмотренный комплекс проблем, который «теневым образом» сопровождает работу воздушной теплонасосной системы, разумеется, отражается и на коммерческих аспектах реализации перспективных по своей сути энергетических устройствах, призванных увеличить состояние комфортности помещения и среды обитания человека [13, 14]. Однако сегодняшние инструктивные письма по эксплуатации изобилуют количеством ограничений, полученных на основании экспериментальных данных, определенных очевидной примитивностью этого инженерного решения.

На сегодня совершенно понятна потребность в широком внедрении темы экономически выгодных теплонасосных систем и еще более очевидность в отставании научных и инженерных знаний по данной тематике.

Понимая необходимость восполнения знаний в этой области, авторы предпринимают попытку теоретического и экспериментального исследования в области теплогидродинамических процессов «испарение – конденсация» в воздушных теплонасосных системах.

В соответствии с этим следующая статья будет посвящена вопросам теоретического анализа процессов гидродинамики и теплообмена в испарительно-конденсационном блоке воздушного теплового насоса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рудобашта, С. П. Теплотехника : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки высшего образования «Агроинженерия» / С. П. Рудобашта. – Изд. 2-е, доп. – Москва : Перо, 2015. – 671 с. : ил. табл. – ISBN 978-5-00086-279-7. – Текст : непосредственный.

2. Рей, Д. Тепловые насосы : перевод с английского / Д. Рей, Д. Маймайкл. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 224 с. – Текст : непосредственный.

3. Табунщиков, Ю. А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач. – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2002. – 204 с. – ISBN 5-94533-002-7. – Текст : непосредственный.

4. Инструкция по эксплуатации теплового насоса с передачей тепла от воздуха к воде. – URL: https://solardom.com/upload/iblock/287/Meeting_user_manual_MD_RU_.pdf (дата обращения: 21.12.2021). – Текст : электронный.

5. Р НП «АВОК» 5.2-2012. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий : рекомендации АВОК : дата введения 2012-04-04. – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2012. – 26 с. – Текст : непосредственный.

6. СанПиН 2.2.4.548-96 «Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы» : утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора Российской Федерации от 01.10.1996 № 21. – Москва : Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 12 с. – Текст : непосредственный. (Документ утратил силу).

7. Abiev, R. S. Hydrodynamics and Heat Transfer of Circulating Two-Phase Taylor Flow in Microchannel Heat Pipe: Experimental Study and Mathematical Model / R. S. Abiev // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 2020. – Volume 59, № 9. – P. 3687–3701.

8. Fedosov, S. V. Heat transfer intensification during condensation of refrigerant with straight pipelines for a heat pump heating system / S. V. Fedosov, V. N. Fedoseev, S. A. Loginova // E3S Web of Conferences. – 2021. – Volume 258. – P. 09050.

9. Патент 174083 Российская Федерация, МПК F25B 30/00. Тепловой насос / В. Н. Федосеев, В. А. Емелин, В. А. Воронов [и др.]. – Заявл. 09.01.2017 : опубл. 29.09.2017, Бюл. № 28. – Текст : непосредственный.

10. Обоснование методом анализа иерархий экспертных суждений критериев повышения энергоэффективности воздушного теплового насоса / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева, В. А. Воронов. – Текст : непосредственный // Умные композиты в строительстве. – 2021. – Том 2, № 2. – С. 38–47.

11. Пигарев, В. Е. Холодильные машины и установки кондиционирования воздуха : учебник для студентов техникумов и колледжей ж.-д. транспорта / В. Е. Пигарев, П. Е. Архипов. – Москва : Маршрут, 2003. – 423 с. : ил., табл. – ISBN 5-89035-122-2. – Текст : непосредственный.

12. Акулич, Д. А. Перевод холодильных центробежных машин и компрессорного оборудования на озонобезопасные хладагенты в Беларуси / Д. А. Акулич, Б. Д. Тимофеев. – Текст : непосредственный // Вестник международной академии холода. – 2017. – № 2. – С. 50–52.

13. Бабакин, Б. С. Хладагенты, масла, сервис холодильных систем / Б. С. Бабакин. – Рязань : Узорочье, 2003. – 470 с. – ISBN: 5-85057-490-5. – Текст : непосредственный.

14. Железный, В. П. Рабочие тела парокомпрессионных холодильных машин: свойства, анализ, применение / В. П. Железный, Ю. В. Семенюк. – Одесса : Феникс, 2012. – 420 с. – Текст : непосредственный.

FEDOSOV Sergey Viktorovich[1], academician of the RAACS, doctor of technical sciences, professor of the chair of building materials science; FEDOSEEV Vadim Nikolaevich[2], doctor of technical sciences, professor of the chair of production organization and municipal economy; LOGINOVA Svetlana Andreevna[3], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of building structures

THERMAL PROCESSES IN THE EVAPORATING-CONDENSING CIRCUIT OF THE AIR HEAT PUMP SYSTEM

[1]National Research Moscow State University of Civil Engineering
26, Yaroslavskoe Ave., Moscow, 129337, Russia.
Tel.: +7 (980) 694-81-414; e-mail: fedosov-academic53@mail.ru
[2]Ivanovo State Polytechnic University
21, Sheremetevsky Pr., Ivanovo, 153000, Russia.
Tel .: +7 (960) 506-40-23; e-mail: 4932421318@mail.ru
[3]Yaroslavl State Technical University
88, Moskovsky Pr., Yaroslavl, 150023, Russia.
Tel.: +7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru
Key words: refrigerant, evaporating-condensing unit, evaporation, condensation, heat dissipation

Air heat pump systems of the "air-water", "air-air" type are among of the economically profitable types of heat supply. However, at present, the backlog of scientific and engineering knowledge on this topic is obvious. Understanding the need to replenish knowledge in this area, the authors attempted theoretical and experimental research in the field of thermal-hydrodynamic processes «evaporation – condensation» in air heat pump systems.

REFERENCES

1. Rudobashta S. P. Teplotekhnika [Heat engineering] : uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayuschikhsya po napravleniyu podgotovki vysshego obrazovaniya "Agroinzheneriya". Izd. 2-e dop. Moscow: Pero, 2015. 672 p.: il., tabl. – ISBN 978-5-00086-279-7.

2. Reay D., Macmichael D. Teplovye nasosy [Heat pumps]. Per. s angl. Moscow: Energoizdat, 1982, 224 p.

3. Tabunschikov Yu. A., Brodach M. M. Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teplovoy effektivnosti zdaniy [Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings]. Moscow: AVOK-PRESS, 2002. 204 p. – ISBN 5-94533-002-7.

4. Instruktsiya po ekspluatatsii teplovogo nasosa s peredachey tepla ot vozdukha k vode [Operating instructions for a heat pump with heat transfer from air to water]. – URL: https://solardom.com/upload/iblock/287/Meeting_user_manual_MD_RU_.pdf. (data ob-rascheniya: 21.12.2021).

5. R NP "AVOK" 5.2-2012. Tekhnicheskie rekomendatsii po organizatsii vozdukhoobmena v kvartirakh zhilykh zdaniy [Technical recommendations for the organization of air exchange in apartments of residential buildings] : rekomendatsii AVOK : data vved. 2012-04-04. Moscow: AVOK-PRESS, 2012, 26 p.

6. SanPiN 2.2.4.548-96 «Fizicheskie faktory proizvodstvennoy sredy. Gigienicheskie trebovaniya k mikroklimatu proizvodstvennykh pomescheniy. Sanitarnye pravila i normy» [Physical factors of the production environment. Hygienic requirements for the microclimate of industrial premises. Sanitary rules and regulations] / utverzhd. Postanovleniem Goskomsanepodnadzora RF ot 01.10.1996 № 21. Moscow : Inform.-izdat tsentr Minstrava Rossii, 1997, 12 p.

7. Abiev R. S. Hydrodynamics and Heat Transfer of Circulating Two-Phase Taylor Flow in Microchannel Heat Pipe: Experimental Study and Mathematical Model // Industrial and Engineering Chemistry Research. 2020. Vol. 59. № 9. P. 3687–3701.

8. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Loginova S. A. Heat transfer intensification during condensation of refrigerant with straight pipelines for a heat pump heating system // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 258. P. 09050.

9. Patent 174083 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F25B 30/00. Teplovoy nasos [Heat pump] / V. N. Fedoseev, V. A. Emelin, V. A. Voronov, et al. Zayavl. 09.01.2017. Opubl. 29.09.2017. Byul. № 28.

10. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Zaytseva I. A., Voronov V. A. Obosnovanie metodom analiza ierarkhiy ekspertnykh suzhdeniy kriteriev povysheniya energoeffektivnosti vozdushnogo teplovogo nasosa [Substantiation by the method of analysis of hierarchies of expert judgments of criteria for improving the energy efficiency of an air heat pump] // Umnye kompozity v stroitelstve [Smart composites in construction]. 2021. Tom 2. № 2. P. 38–47.

11. Pigarev V. E., Arkhipov P. E. Kholodilnye mashiny i ustanovki konditsionirovaniya vozdukha [Refrigerating machines and air conditioning units] : uchebnik dlya studentov tekhnikumov i kolledzhey zh.-d. trasporta. Moscow: Marshrut, 2003. – 423 p. : il., tabl. – ISBN 5-89035-122-2.

12. Akulich D. A., Timofeev B. D. Perekhod kholodilnykh tsentrobezhnykh mashin i kompressornogo oborudovaniya na ozonobezopasnye khladagenty v Belarusi [Transfer of refrigerating centrifugal machines and compressor equipment to ozone-safe refrigerants in Belarus // Vestnik mezhdunarodnoy akademii kholoda [Bulletin of the International Academy of Cold]. 2017. № 2. P. 50–52.

13. Babakin B. S. Khladagenty, masla, servis kholodilnykh system [Refrigerants, oils, refrigeration systems service]. Ryazan: Uzoroche. 2003, 470 p. – ISBN: 5-85057-490-5.

14. Zhelezny V. P., Semenyuk Yu. V. Rabochie tela parokompressionnykh kholodilnykh mashin: svoystva, analiz, primenenie [Working bodies of steam compression refrigerating machines: properties, analysis, application]. Odessa: Phoenix, 2012, 420 p.

© С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, С. А. Логинова, 2022

Получено: 29.11.2021 г.

УДК 725.381.3:[699.8+614.84]

А. М. ГРИМИТЛИН[1], д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; А. П. ВОЛКОВ[2], инженер, представитель АС «СЗ Центр АВОК»; А. В. СВЕРДЛОВ[3], инженер, представитель *FlaktGroup* в России

МЕТОД МАСШТАБИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРА ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗАКРЫТЫХ АВТОСТОЯНОК

[1]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.
Тел.: (812) 575-05-31; факс: (812) 316-58-72; эл. почта: grimitlin@sro-is.ru
[2]АС «СЗ Центр АВОК»
Россия, 197342, г. Санкт-Петербург, Сердобольская ул., д. 65-А. Тел.: +7 911 280 60 50, эл. почта: alex78477@yandex.ru
[3]ООО «ФЛЕКТГРУП РУС»
Россия, 117418, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 23.
Тел. +7 916 690 28 40, эл. почта: alexander.sverdlov@flaktgroup.com
Ключевые слова: противодымная вентиляция, струйная противодымная вентиляция, имитация пожара, тестовый пожар.

На основе теории подобия авторами рассмотрены методики расчета параметров испытательного (тестового) пожара и объемной производительности противодымной вентиляции, позволяющие получить результаты, релевантные к проектным параметрам пожара.

Важнейшим фактором безопасности нахождения человека на автостоянке является качество воздуха [1] в штатном и аварийном режимах работы вентиляции. Наибольший риск для человека возникает при задымлении помещения во время пожара [2]. Анализ стандартов по проектированию канальной противодымной вентиляции автостоянок в России и Европе [3, 4] был выполнен в работе [5]. Показано, что Российские нормы проектирования допускают более низкую производительность вентиляторов дымоудаления, что может быть фактором риска в современных многоуровневых автостоянках с высотой потолка 3,5–2,5 м [2, 4].

Монтаж системы противодымной вентиляции должен следовать всем указаниям проекта. Однако опыт строительно-монтажных работ свидетельствует о наличии возможных (неучтенных) отклонений от оригинального проекта, что в итоге может привести к ошибкам при *CFD*-моделировании, проводимом для проверки проектных решений перед началом строительства.

Для подтверждения проектных показателей противодымной вентиляции и всего комплекса противопожарной защиты автостоянки проводят экспериментальную проверку – испытания с использованием тестового пожара, имитирующего реальный проектный пожар и горячего искусственного дыма, обеспечивающего визуализацию воздушных потоков.

Данный метод испытаний в России официально практически не применяется по причинам нормативного характера. Поэтому теоретические и экспериментальные исследования в данном направлении являются актуальной задачей.

Еще в 60–70-е годы прошлого века для имитации пожара на автостоянке использовали воздушные отопительные агрегаты, производящие поток горячего воздуха [6, 7]. Для создания тестового пожара применялся строительный мусор [8]. Более практичным для создания тестового пожара оказался метиловый 95 % денатурированный спирт. В продуктах сгорания спирта практически отсутствует сажа, мелкие твердые частицы, и они относительно низкотоксичны.

Синтетический искусственный дым (индикаторный газ), используемый в соответствии с ГОСТ [9], позволяет визуализировать конвективный поток продуктов горения и дымовой слой.

Исследования горения спирта в поддонах, термостатируемых с помощью водяной ванны, выполненные в Австралии, привели к разработке стандарта [10]. Испытание с горячим дымом состоит в создании потока горячего воздуха при помощи тестового пожара и введении в него индикаторного газа, позволяющего проиллюстрировать взаимодействие горячего восходящего конвективного потока дыма с вентиляционным холодным воздушным потоком в исследуемом пространстве. Во время испытания с горячим дымом система противопожарной защиты должна работать в автоматическом режиме, в том числе это касается системы автоматического обнаружения пожара. В стандарте [10] основной целью испытаний с использованием горячего дыма является проверка алгоритма включения и работы противодымной вентиляции автостоянки, однако, в документе нет четких критериев соответствия тестового пожара реальному или проектному сценарию пожара, что не позволяет экспериментально определить границы распространения дыма в поперечном (по высоте помещения) и продольном направлениях.

При испытании поперечной канальной противодымной вентиляции при помощи горячего дыма важно ответить на вопрос: возможна ли стабилизация нижней границы дыма?

При испытаниях продольной струйной противодымной вентиляции необходимо ответить на 2 вопроса:

1) возможно ли удержание нижней границы дыма в первые 8–10 минут после обнаружения пожара за счет продольного вентиляционного потока при выключенных струйных вентиляторах?

2) возможно ли удержание распространения дыма в продольном направлении при работе струйных вентиляторов?

Испытания осуществляют при конвективной мощности тестового пожара $Q_{кт}$, меньшей мощности проектного пожара $Q_{кп}$. В этом случае, исходя из принципов теории подобия, необходимо определить какие проектные параметры пожара необходимо масштабировать для получения достоверных результатов испытаний.

В работах [11–15] обобщен опыт экспериментальных работ в области использования маломасштабных физических моделей для изучения восходящих потоков горячих продуктов горения с использованием числа Фруда (Fr). Также был проанализирован собственный опыт, полученный при проведении пусконаладочных

испытаний системы противодымной вентиляции многоуровневой, подземной автостоянки в Казани, где также были проведены испытания с применением горячего дыма [16–18] и использовалось моделирование на основе числа *Fr* применительно к системам реверсивной, продольной струйной вентиляции [19–20].

В соответствии с СП 300.1325800.2017 [21] проектными параметрами, описывающими пожар автомобиля на автостоянке, являются проектная мощность пожара $Q_{0п}$ (кВт) и проектный периметр очага горения $P_п$ (м). При наличии на автостоянке автоматической системы пожаротушения наиболее распространенным сценарием пожара является пожар одного автомобиля $Q_{0п}$ = 4500–5000 кВт; $P_п$ = 14 м.

Тестовый пожар допускается в помещениях автостоянки, имеющих степень огнестойкости, не ниже установленной для автостоянок в СП 2.13130.2020 [22], и внутренний объем не менее 250 м^3. Максимальная мощность тестового пожара определяется по допустимой температуре продуктов горения, безопасной для потолочных перекрытий и ограждающих конструкций. Поэтому при выборе параметров тестового пожара наиболее целесообразно выбрать шкалу масштабирования на основе параметра Θ (К): разности между температурой наружного, приточного воздуха T_0 (К) и температурой горячих продуктов горения, приведенной к нижней границе дымового слоя, $T_г$ (К). На рис. 1 представлена схема очага горения в закрытом помещении.

Массовый расход продуктов горения для проектного пожара рассчитывается по формуле (1) [11]:

$$M_п = C_е P_{пр} (Y_{пр})^{1,5}, \quad (1)$$

где $C_е$ – коэффициент захватывания, равный для больших помещений с низким потолком (например, подземная автостоянка) 0,21 и 1,9 для больших помещений, где дымовой слой находится на значительной высоте; $Y_{пр}$ – см. рис. 1.

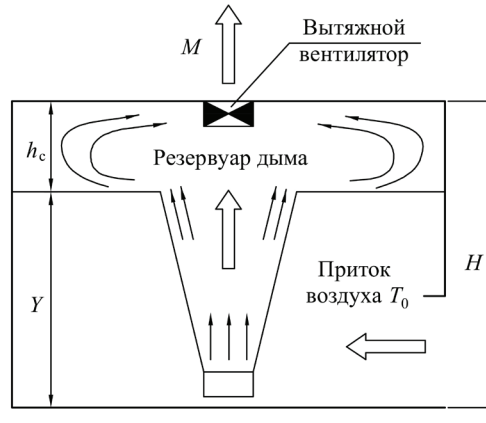


Рис. 1. Схема очага горения в закрытом помещении: *H* – высота потолочного перекрытия; *Y* – высота нижней границы дыма; h_c – толщина дымового слоя (резервуара дыма); *M* – массовый расход удаляемых продуктов горения

Далее определяем разность температур $Θ_п$ проектного пожара:

$$Θ_п = Q_п / (M_п C_p), \quad (2)$$

где C_p – удельная теплоемкость продуктов горения, кДж/(кг·К); принимается равной 1,01 кДж/(кг·К); $Q_{пк}$ – конвективная мощность проектного пожара, принимаемая равной 0,6 $Q_{0п}$ [3] или 3000 кВт при пожаре одного автомобиля.

Таким образом, вышеперечисленные параметры проектного пожара должны быть экстраполированы в параметры тестового пожара исходя из допустимого значения разности температур $\Theta_т$ тестового пожара ($\Theta_т$ принимают в диапазоне 50–150 К).

В соответствии с рис. 1, для давления, вызывающего восходящий поток дымовых газов от очага горения до нижней границы дыма на высоте Y (м) от пола, можно записать уравнение:

$$\Delta\rho = \Delta\rho g Y = \rho_0 \frac{\Theta}{T_г} g Y, \quad (3)$$

где $\Delta\rho$ – разность плотностей холодного приточного воздуха ρ_0 (кг/м^3) при температуре T_0 (К) и горячего воздуха $\rho_г$ (кг/м^3) при температуре $T_г$ (К).

Восходящий конвективный турбулентный поток продуктов горения может быть описан уравнением Вейсбаха:

$$\Delta\rho = \zeta \frac{u^2}{2}\rho, \quad (4)$$

где Δp – перепад давлений, Па, приводящий в движение газовый поток (воздух и/или дым) с плотностью ρ (кг/м^3) со скоростью u (м/с), при коэффициенте сопротивления движению ζ.

Из (4) следует соотношение (5):

$$\Delta\rho = \propto u^2\rho\ . \quad (5)$$

Объединяя (3) и (5), возможно получить соотношение (6) [11]:

$$u^2 \propto \Theta L\ , \quad (6)$$

где L представляет собой масштаб характеристической длины.

В случае проведения испытаний в реальном помещении автостоянки шкала характеристической длины составляет 1:1 $L = 1$.

На основе результатов, полученных в работе [11], отношения масштабирования (коэффициенты масштабирования) могу быть представлены в виде выражений (7)–(10).

Скорость восходящего потока u определяется по зависимости:

$$u \propto \Theta^{0,5} = K_u\ , \quad (7)$$

а объемный расход с восходящим потоком V равен:

$$V \propto \Theta^{0,5} = K_V\ . \quad (8)$$

Массовый расход M и конвективный тепловой поток $Q_к$ определяются соответственно по зависимостям (9) и (10):

$$M \propto \frac{\Theta^{0,5}}{T_г} = K_M; \quad (9)$$

$$Q_К \propto \frac{\Theta^{0,5}}{T_г} = K_Q. \quad (10)$$

Далее следует определить параметры тестового пожара («т»), используя известные параметры проектного пожара («п»). Для этого необходимо:

– принять по условиям проекта допустимое значение перепада температур в очаге тестового пожара $\Theta_т$, исключающее повреждение помещений и оборудования;

– используя (7)–(10) рассчитать коэффициенты масштабирования для проектного и тестового пожара;

– по формулам (11)–(15) рассчитать параметры тестового пожара:

$$u_Т = u_П \frac{K_{u.т}}{K_{u.п}}; \quad (11)$$

$$V_Т = V_П \frac{K_{V.т}}{K_{V.п}}; \quad (12)$$

$$M_Т = M_П \frac{K_{M.т}}{K_{M.п}}; \quad (13)$$

$$Q_{\text{К.Т}} = Q_{\text{К.П}} \frac{K_{Q.\text{т}}}{K_{Q.\text{п}}}. \quad (14)$$

В соответствии с зависимостью (1): $M \propto P$, следовательно:

$$P_{\text{Т}} = P_{\text{П}} \frac{K_{M.\text{т}}}{K_{M.\text{п}}}. \quad (15)$$

В настоящее время подавляющее большинство подземных многоярусных автостоянок, проектируемых и строящихся в России, оснащены автоматической спринклерной системой пожаротушения и имеют высоту потолков в пределах 2,5–3,5 м. Испытания с использованием горячего дыма системы противодымной вентиляции автостоянки могут осуществляться в двух режимах, а именно:

1) проверка алгоритма включения и работы противодымной вентиляции автостоянки, не предусматривающая масштабирование параметров проектного пожара;

2) проверка границ распространения дыма при пожаре, предусматривающая масштабирование параметров проектного пожара.

В первом случае, в соответствии с требованиями [4], мощность тестового пожара должна быть не менее 300 кВт для автостоянок, оборудованных стационарными водяными установками пожаротушения, и не менее 450 кВт для автостоянок без автоматической системы пожаротушения. Для автостоянок с высотой потолка более 3,20 м рекомендуется увеличить мощность пожара до 1–1,5 МВт, чтобы достичь более высокой температуры дымового слоя, растекающегося под потолком.

На рис. 2 представлены возможные варианты расположения стандартных топливных поддонов типа А1 (см. таблицу).

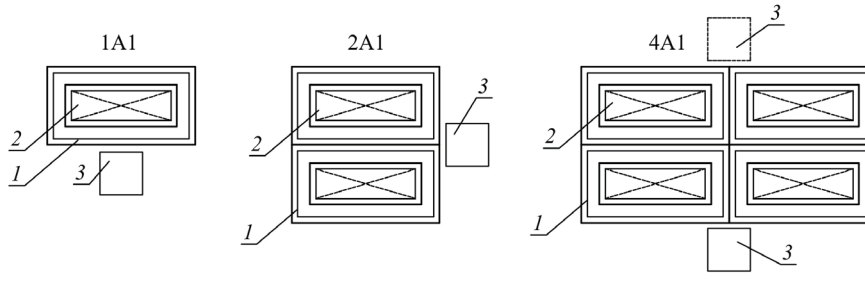


Рис. 2. Возможное расположение стандартных топливных поддонов типа А1, установленных в водяные термостаты (ванны, заполненные водой с температурой 15–25 °С): *1* – водяная ванна; *2* – топливный поддон; *3* – дымо-генератор

Во втором случае параметры тестового пожара рассчитываются исходя из правил масштабирования (11)–(15). Система противодымной вентиляции таких автостоянок рассчитывается исходя из сценария пожара одного или двух автомобилей с конвективной мощностью очага горения $Q_{\text{кп}}$ = 3 000 кВт. Результаты масштабирования тестового пожара одного автомобиля для данного типа автостоянок имеют наибольший практический интерес.

На рис. 3–5 представлены результаты расчета параметров тестового пожара одного автомобиля для следующих исходных данных: $Q_{\text{кп}}$ = 3 000 кВт; $P_{\text{п}}$ = 14 м; $\Theta_{\text{п}}$ рассчитано по формулам (1) и (2).

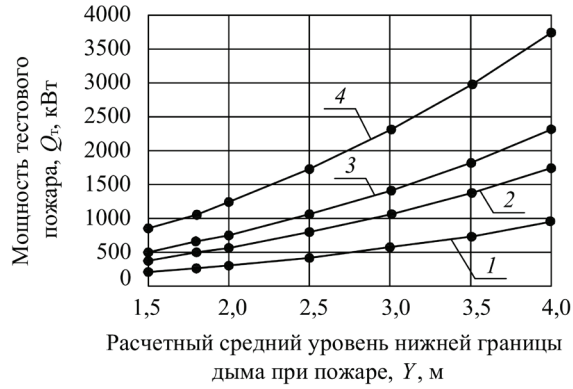


Рис. 3. График зависимости конвективной мощности тестового пожара $Q_{к.т}$ от расчетного среднего уровня нижней границы дыма при пожаре Y при различных значениях разности температур $\Theta_т$: *1* – $\Theta_т$ = 50 °С; *2* – $\Theta_т$ = 80 °С; *3* – $\Theta_т$ = 100 °С; *4* – $\Theta_т$ = 150 °С

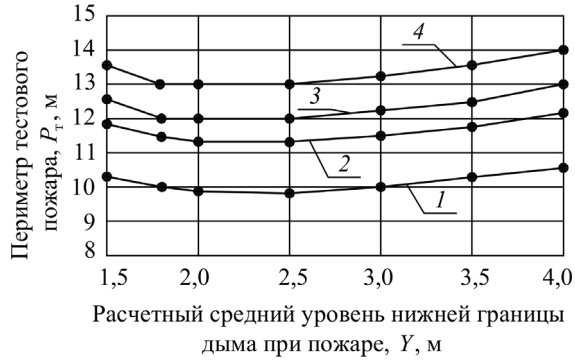


Рис. 4. График зависимости периметра тестового пожара $P_т$ от расчетного среднего уровня нижней границы дыма при пожаре Y при различных значениях разности температур $\Theta_т$: *1* – $\Theta_т$ = 50 °С; *2* – $\Theta_т$ = 80 °С; *3* – $\Theta_т$ = 100 °С; *4* – $\Theta_т$ = 150 °С

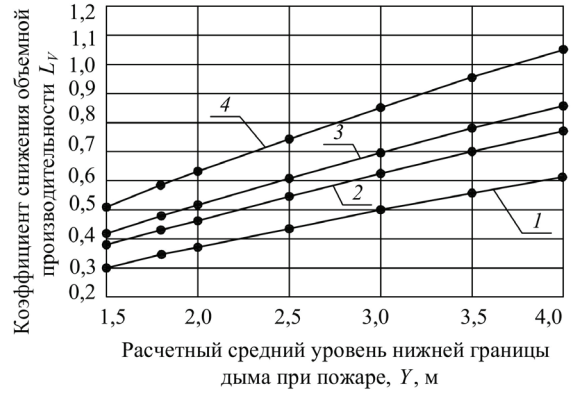


Рис. 5. График зависимости коэффициента снижения объемной производительности противодымной вентиляции $L_V = K_{V.т} / K_{V.п}$, от расчетного среднего уровня нижней границы дыма при пожаре Y при различных значениях разности температур $\Theta_т$: *1* – $\Theta_т$ = 50 °С; *2* – $\Theta_т$ = 80 °С; *3* – $\Theta_т$ = 100 °С; *4* – $\Theta_т$ = 150 °С

Снижение объемной производительности противодымной вентиляции возможно за счет использования регулятора частоты вращения электродвигателя вентилятора дымоудаления и электродвигателей струйных вентиляторов, при продольной системе вентиляции. Допускается применение шайб для снижения расхода воздуха.

При формировании очага тестового пожара возникает проблема с конструктивным обеспечением расчетных характеристик тестового пожара, а именно обеспечение сочетания параметров $Q_{кт}$ и $P_т$. В этом случае целесообразно использовать набор стандартных емкостей для топлива (топливных поддонов), характеристики которых представлены в таблице согласно стандарту [10]. Для выбора количества и типа топливных поддонов удобно использовать приведенную мощность тестового пожара, рассчитанную по формуле (16) $Q_{Рт}$ (кВт/м):

$$Q_{Рт} = Q_{кт} / P_т. \quad (16)$$

Расчетные значения $Q_{Рт}$ при пожаре одного автомобиля представлены на рис. 6.

Конструктивные характеристики топливных поддонов

Тип топливного поддона	Объем 95 % спирта в топливном поддоне, л	Удельная скорость горения, кВт/м^2	Мощность тестового пожара на стенде $Q_{тс}$, кВт	Периметр топливного поддона $P_с$, м	Приведенная мощность тестового пожара на стенде $Q_{Рс} = Q_{тс} / P_с$, кВт/м
4 × А1	16,0 × 4	751	1500	5,744	261,1
2 × А1	15,0 × 2	696	700	4,062	172,3
А1	13	678	340	2,872	118,4
А2	5,5	566	140	2,028	69,0
А3	2,5	471	60	1,434	41,8
А4	1	412	26	1,014	25,6
А5	0,4	379	11	0,718	15,3

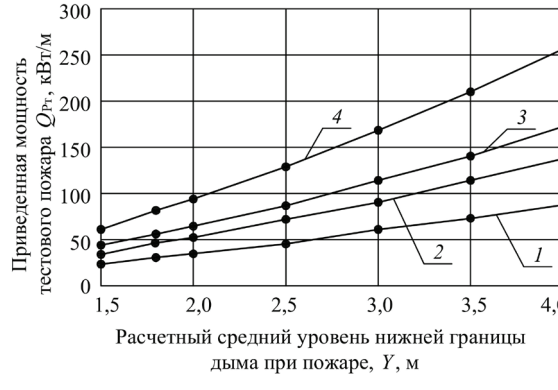


Рис. 6. График зависимости приведенной мощности тестового пожара от расчетного среднего уровня нижней границы дыма при пожаре Y при различных значениях разности температур $\Theta_т$: *1* – $\Theta_т$ = 50 °С; *2* – $\Theta_т$ = 80 °С; *3* – $\Theta_т$ = 100 °С; *4* – $\Theta_т$ = 150 °С

При моделировании тестового пожара следует выбирать топливные поддоны исходя из условия (17):

$$Q_{Pт} \approx Q_{Pс}, \quad (17)$$

а количество выбранных топливных поддонов $N_т$ вычисляется по (18):

$$N_т = Q_{кт} / Q_{тс}. \quad (18)$$

Рассчитанное значение $N_т$ округляется до целого, значения $Q_{Pс}$ и $Q_{тс}$ выбираются по данным таблицы.

Пример расчета параметров тестового пожара. На закрытой автостоянке, оснащенной автоматической системой пожаротушения, принимается сценарий пожара одного автомобиля: $Q_{кп}$ = 3000 кВт; $P_п$ = 14 м; $Y_п$ = 2,5 м; $Θ_т$ = 80 *К* – по условиям проекта.

Начальные параметры проектного пожара соответствуют условиям построения графиков, представленным на рис. 4–6. В этом случае можно определить: $Q_{кт}$ = 780 кВт; $P_т$ = 11,6 м; $Q_{Pт}$ = 67 кВт/м.

По данным таблицы по значению $Q_{Pт}$ выбирается топливный поддон типа А2, основные рабочие параметры которого составляют: $Q_{Pс}$ = 69 кВт/м; $Q_{тс}$ = 140 кВт; $P_{тс}$ = 2,028 м.

По формуле (18) определяем количество поддонов типа А2 и после округления получаем: $N_т$ = 6 шт.

Проверочный расчет значения $Θ_т$ по параметрам топливного поддона выполняется по формулам (1) и (2). Значение $Θ_т$ = 82,4 К, что свидетельствует о правильном выборе типа и количества топливных поддонов.

Выводы по проведенным исследованиям:

1. Доказана актуальность исследований технологии испытаний противодымной вентиляции автостоянок с использованием горячего дыма для экспериментальной проверки возможности безопасной эвакуации людей при возникновении пожара.

2. Выполнен анализ развития технологии испытаний противодымной вентиляции автостоянок с использованием горячего дыма.

3. На основе теории подобия предложена методика масштабирования параметров тестового пожара и противодымной вентиляции, позволяющая получить результаты испытаний, релевантные к параметрам проектного пожара на объекте.

4. Предложена практическая методика расчета параметров тестового пожара и противодымной вентиляции при дымовых испытаниях наиболее востребованного типа подземных автостоянок (при пожаре одного автомобиля). Приведен пример расчета параметров тестового пожара на современной подземной автостоянке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков, А. П. Экология и расчет воздухообмена подземных автостоянок /А. П. Волков, А. В. Свердлов, С. В. Рыков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. – 2014. – № 3. – С. 9–16.

2. Вишневский, Е. П. Противодымная защита крытых и подземных автопарковок, оборудованных струйной (импульсной) вентиляцией / Е. П. Вишневский, А. В. Свердлов, С. В. Рыков. – Текст : непосредственный // Мир строительства и недвижимости. – 2012. – № 44. – С. 54–56 .

3. Р НП «АВОК» 5.5.1-2015. Расчет параметров систем противодымной защиты жилых и общественных зданий : дата принятия 01 декабря 2014. – Москва : АВОК-Пресс, 2015. – Текст : непосредственный.

4. Vengzhinsky, W. Systemy wentylacji pożarowej garaże. Projektowanie, ocena, akceptacja /

W. Vengzhinsky, G. Krajewski ; Instytut Techniki Budowianej. – Warszawa : Instytut Techniki Budowianej, 2015. – ISBN 987-83-249-6792-6. – URL: http://www.flaktwoods.ru/about-us/media/news/sistemy-protivopozharnoj-ventilyatsii-garazhej (дата обращения 08.12.2021). – Текст : электронный.

5. Свердлов, А. В. Анализ европейских и российских правил проектирования традиционных канальных систем противодымной вентиляции автостоянок закрытого типа / А. В. Свердлов, А. П. Волков // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – 2017. – № 6. – С. 34–37.

6. Keogh, J. J. Moulen Smoke control tests in a multi-level shopping mall and associated stores / J. J. Keogh, A. W. Moulen // Experimental Building Station (Australia). 1983. – Record 495.

7. Seifert, U. Stein J., Koerner H-J. Hot smoke tests in buildings // Proceedings of Eurofire 99, 24-27 November (1999).

8. McMunn A. J., Knowles P., Morgan H. P. Validated facts emerge from smoke ventilation tests / McMunn A. J., Knowles P., Morgan H. P. // Fire Engineer's Journal. – 1991. – Vol. 51, № 161. – P. 15–18.

9. ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 3. Методы испытаний : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2007 г. № 616-ст. : дата введения 2008-10-01. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 55 с. – Текст : непосредственный.

10. AS 4391–1999. Australian Standard™ Smoke management systems. Hot smoke test. Reconfirmed. 2016.

11. Morgan, H. P. Hot smoke tests: testing the design performance of smoke and heat ventilation systems and of impulse systems / Morgan, H. P. De Smedt J-C. // FireAsia 2003, A Safe City in Motion. Hong Kong, 26-28 February 2003. – № 7.

12. Investigations into the flow of hot gases in roof venting / Thomas P. H., Hinkley P. L., Theobald C. R., Simms D. L. // Fire Research Technical Paper. – London : The Stationary Office, 1963.

13. Heskestad, G. Physical modeling of fire / G. Heskestad // Journal of Fire & Flammability. – 1975. – Vol. 6 (July). – P. 253–273.

14. Quintiere, J. G. Scaling applications in fire research / J. G. Quintiere // Fire Safety Journal. – 1989. – Vol. 15 – P. 3–29.

15. Seifert U. Hot Smoke Tests in buildings: theory, application, results / Seifert U., Stein J. // EUSAS Workshop on smoke propagation and smoke control in buildings, 20-21 June 2002. – 2002. – Vienna, Austria.

16. Моделирование процессов дымоудаления в подземных сооружениях транспортного назначения / А. В. Свердлов, А. П. Волков, С. В. Рыков, М. А. Волков // Вестник Международной академии холода. – 2019. – № 1. – С. 3–10.

17. Свердлов, А. В. Почему проводят испытания горячим дымом при пусконаладочных работах системы струйной вентиляции и дымоудаления автостоянок / А. В. Свердлов, А. П. Волков // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – 2018. – № 3. – С. 20–23.

18. Свердлов, А. В. Система реверсивной струйной вентиляции четырехэтажной подземной автостоянки в Казани / А. В. Свердлов, А. П. Волков // Инженерные системы. – 2018. – № 4. – С. 20–22.

19. Волков, А. П. Реверс воздушного потока при продольной вентиляции и дымоудалении подземных и крытых автостоянок / А. П. Волков, А. В. Свердлов // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – 2015. – № 1. – С. 34–38.

20. Проектирование систем противодымной вентиляции современных автостоянок закрытого типа с использованием математических моделей процессов тепло- и массообмена на основе числа Фруда / А. В. Свердлов, А. П. Волков, С. В. Рыков, Э. А. Гордеева, М. А. Волков // Научный журнал НИУ ИТМО Серия: Холодильная техника и кондиционирование. – 2018, № 1. – С. 47–56.

21. СП 300.1325800.2017 Системы струйной вентиляции и дымоудаления подзем-

ных и крытых автостоянок. Правила проектирования : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 21 августа 2017 г. № 1145/пр : дата введения 22 февраля 2018 г. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 63 с. – Текст : непосредственный.

22. СП 2.13130.2020 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : утвержден и введен в действие приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) от 12 марта 2020 г. № 151 : взамен СП 2.13130.2012 : дата введения 09 декабря 2020. – Москва : МЧС, 2020. – 45 с. – Текст : непосредственный.

GRIMITLIN Aleksandr Moiseevich[1], doctor of technical sciences, professor of the chair of heat and gas supply and ventilation; VOLKOV Aleksey Platonovich[2], engineer, representative of the "AU SZ Center AVOK"; SVERDLOV Aleksandr Viktorovich[3], engineer, representative of the FlaktGroup in Russia

METHOD OF SCALING FIRE PARAMETERS DURING TESTS OF SMOKE VENTILATION OF CLOSED PARKING LOTS

[1]St. Petersburg State University of Architecture and Construction
4, 2nd Krasnoarmeyskaya St., St. Petersburg, 190005, Russia.
Tel.: +7 (812) 575-05-31; fax: +7 (812) 316-58-72; e-mail: grimitlin@sro-is.ru
[2]AS "SZ Center AVOK"
65-A, Serdobolskaya St., St. Petersburg, 197342, Russia.
Tel.: +7 911 280 60 50; e-mail: alex78477@yandex.ru
[3]"FlaktGroup"
23, Profsouznaya St., Moscow, 117418, Russia.
Tel. +7 916 690 28 40; e-mail: alexander.sverdlov@flaktgroup.com
Key words: anti-smoke ventilation, jet anti-smoke ventilation, simulated fire, test fire.

In the article, based on the theory of similarity, the authors consider a method for calculating the parameters of a test fire and the volumetric performance of smoke ventilation, allowing to obtain results relevant to the design parameters of the fire.

REFERENCES

1. Volkov A. P., Sverdlov A. V., Rykov S. V. Ekologiya i raschyot vozdukhoobmena podzemnykh avtostoyanok [Ecology and calculation of air exchange of underground parking lots] // Nauchny zhurnal NIU ITMO. Seriya: Holodilnaya tekhnika i konditsionirovanie [St Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics: Refrigeration and Air Conditioning]. – 2014, № 3. – P. 9–16.

2. Vishnevsky E. P., Sverdlov A. V., Rykov S. V. Protivodymnaya zaschita krytykh i podzemnykh avtoparkovok, oborudovannykh struynoy (impulsnoy) ventilyatsiey [Smoke protection of indoor and underground car parks equipped with jet (pulse) ventilation // Mir stroitelstva i nedvizhimosti [The world of construction and real estate]. – 2012, № 44. P. 54–56.

3. R NP "AVOK" 5.5.1-2015. Raschyot parametrov sistem protivodymnoy zaschity zhilykh i obschestvennykh zdaniy [Calculation of parameters of smoke protection systems for residential and public buildings]: data prinyatiya 01 dekabrya 2014. – Moscow: AVOK-Press, 2015.

4. Vengzhinsky W. G., Krajewski G. Systemy wentylacji pożarowej garaże. Projektowanie, ocena, akceptacja / Instytut Techniki Budowianej, Warszawa, 2015. – ISBN 987-83-249-6792-6 – URL: http://www.flaktwoods.ru/about-us/media/news/sistemy-protivopozharnoj-ventilyatsii-garazhej (data obrascheniya 08.12.2021).

5. Sverdlov A. V., Volkov A. P. Analiz evropeyskikh i rossiyskikh pravil proektirovaniya traditsionnykh kanalnykh sistem protivodymnoy ventilyatsii avtostoyanok zakrytogo tipa [Analysis of European and Russian rules for the design of traditional duct systems for smoke ventilation of close-type parking lots] // AVOK Ventiljacija. Otoplenie. Kondicionirovanie [Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (AVOK)]. – 2017, № 6. P. 34-37.

6. Keogh J.J., Moulen A.W. Smoke control tests in a multi-level shopping mall and associated stores, Experimental Building Station (Australia) Record 495 (1983).

7. Seifert U., Stein J., Koerner H-J. Hot smoke tests in buildings // Proceedings of Eurofire 99, 24-27 November (1999).

8. McMunn A. J., Knowles P., Morgan H. P. Validated facts emerge from smoke ventilation tests // Fire Engineer's Journal, 1991, Vol. 51, № 161. – P. 15–18.

9. GOST R ISO 14644-3-2007. Chistye pomescheniya i svyazannye s nimi kontroliruemye sredy. Chast 3. Metody ispytaniy [Clean rooms and associated controlled environments. Part 3. Test methods] : natsionalny standart Rossiyskoy Federatsii : utverzhdyon i vvedyon v deystvie Prikazom Fed. agentstva po tekhnich. regulirov. i metrologii ot 27 dekabrya 2007 g. № 616-st. : data vved. 2008-10-01. – Moscow: Standartinform, 2008. – 55 p.

10. AS 4391–1999 Australian Standard™ Smoke management systems. Hot smoke test. Reconfirmed. 2016.

11. Morgan H. P, De Smedt J-C. Hot smoke tests: testing the design performance of smoke and heat ventilation systems and of impulse systems // FireAsia 2003, A Safe City in Motion, Hong Kong, 26-28 February 2003.

12. Thomas P. H., Hinkley P. L., Theobald C. R., Simms D. L. Investigations into the flow of hot gases in roof venting // Fire Research Technical Paper, № 7, London, The Stationary Office, 1963.

13. Heskestad G. Physical modeling of fire // Journal of Fire & Flammability. – Vol. 6 (July), 1975. – P. 253–273.

14. Quintiere J. G. Scaling applications in fire research // Fire Safety Journal, Vol. 15, 1989. – P. 3–29.

15. Seifert U., Stein J. Hot Smoke Tests in buildings: theory, application, results // EUSAS Workshop on smoke propagation and smoke control in buildings, 20-21 June 2002, Vienna, Austria.

16. Sverdlov A. V., Volkov A. P., Rykov S. V., Volkov M. A. Modelirovanie protsessov dymoudaleniya v podzemnykh sooruzheniyakh transportnogo naznacheniya [Modeling smoke removal processes in underground transport facilities] // Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda [Journal of International Academy of Refrigeration]. – 2019, № 1. – P. 3–10.

17. Sverdlov A. V., Volkov A. P. Pochemu provodyat ispytaniya goryachim dymom pri puskonaladochnykh rabotakh sistemy struynoy ventilyatsii i dymoudaleniya avtostoyanok [Why hot smoke tests are carried out during commissioning of the jet ventilation and smoke removal systems of parking lots] // AVOK Ventiljacija Otoplenie Kondicionirovanie [Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (AVOK)] 2018, № 3. – P. 20–23.

18. Sverdlov A. V., Volkov A. P. Sistema reversivnoy struynoy ventilyatsii chetyryokhetazhnoy podzemnoy avtostoyanki v Kazani // Inzhenernye sistemy. 2018, № 4. – P. 20–22.

19. Volkov A. P., Sverdlov A. V. Revers vozdushnogo potoka pri prodolnoy ventilyatsii i dymoudalenii podzemnykh i krytykh avtostoyanok [Reverse air flow during longitudinal ventilation and smoke removal of underground and covered parking lots] // AVOK Ventiljacija. Otoplenie. Kondicionirovanie [Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (AVOK)]. – 2015. № 1. – P. 34–38.

20. Sverdlov A. V., Volkov A. P., Rykov S. V., Gordeeva E. A., Volkov M. A. Proektirovanie sistem protivodymnoy ventilyatsii sovremennykh avtostoyanok zakrytogo tipa s ispolzovaniem matematicheskikh modeley protsessov teplo i massoobmena na osnove chisla Fruda [Design of smoke ventilation systems of modern closed-type parking lots using mathematical models of heat and mass transfer processes based on the Froude number] // Nauchny zhurnal NIU ITMO Seriya: Holodilnaya tekhnika i konditsionirovanie [St Petersburg National Research University of

Information Technologies, Mechanics and Optics: Refrigeration and Air Conditioning]. – 2018, № 1. – P. 47–56.

21. SP 300.1325800.2017 Sistemy struynoy ventilyatsii i dymoudaleniya podzemnykh i krytykh avtostoyanok. Pravila proektirovaniya [Systems of jet ventilation and smoke removal of underground and covered parking lots. Design rules] : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF ot 21 avgusta 2017 g. № 1145/pr : data vved. 22 fevralya 2018 g. – Moscow: Standartinform, 2017. – 63 p.

22. SP 2.13130.2020 Sistemy protivopozharnoy zaschity. Obespechenie ognestoykosti obektov zaschity [Fire protection systems. Ensuring fire resistance of protection objects] : utverzhd. i vved. v deystvie Prikazom Min-va RF po delam grazhdanskoy oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiynykh bedstviy (MChS Rossii) ot 12 marta 2020 g. № 151 : vzamen SP 2.13130.2012 : data vved. 09 dekabrya 2020. – Moscow : MChS, 2020. – 45 p.

© А. М. Гримитлин, А. П. Волков, А. В. Свердлов, 2022
Получено: 27.12.2022 г.

УДК 621.182

Е. А. ЛЕБЕДЕВА[1], канд. техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения; М. А. РАЗИНА[1], магистрант кафедры теплогазоснабжения; В. А. ЯКОВЛЕВ[2], канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОТЕЛЬНЫХ

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-45-35; эл. почта: evgelebedeva@mail.ru
[2]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4. Тел.: (812) 575-05-31; эл. почта: yakovlevspb@rambler.ru
Ключевые слова: проектирование, расчет, когенерационные технологии, когенераторы, эффективность применения.

Рассмотрены особенности расчета и проектирования когенерационных технологий при реконструкции котельных в мини-ТЭЦ. Выявлены наиболее эффективные когенераторы применительно к паровым и водогрейным котельным. Приведены основы выбора и расчета электрогенерирующих установок, примеры реконструкции, показана эффективность когенерационных технологий.

Применение когенерационных технологий в паровых и водогрейных котельных позволяет эффективно дополнить рынок энергоснабжения. При этом решается проблема обеспечения потребителей теплотой и электроэнергией без дополнительного строительства новых линий электропередач и теплотрасс [1].

Паровая, или водогрейная котельная в результате проектирования электрогенерирующей установки на ее территории по своим функциям превращается в мини-ТЭЦ.

Проект использования когенерационных технологий в паровых и водогрейных котельных состоит из следующих этапов:

– выбор и обоснование типа электрогенерирующей установки;

– определение мощности электрогенерирующей установки и типа двигателя когенератора;

– корректировка тепловой схемы котельной с использованием теплоты, полученной в когенераторе;

– размещение электрогенерирующей установки в котельной;

– технико-экономическое обоснование когенерационной технологии.

Предварительное исследование преимуществ и недостатков различных типов когенерационных установок [2, 3] позволило осуществить оптимальный выбор схемы реконструкции котельных в мини-ТЭЦ: паровые котельные – когенерационная технология с паровыми турбинами; водогрейные котельные – использование газопоршневых двигателей или газотурбинных установок.

Рассмотрим возможность реконструкции паровой котельной, оснащенной 4 котлами ДЕ-16-14ГМ, в мини ТЭЦ.

Выбор типа электрогенерирующей установки определим путем термодинамического анализа противодавленческой и конденсационной турбин.

Тепловые процессы этих турбин сопоставления в T-S-диаграмме показаны на рис. 1.

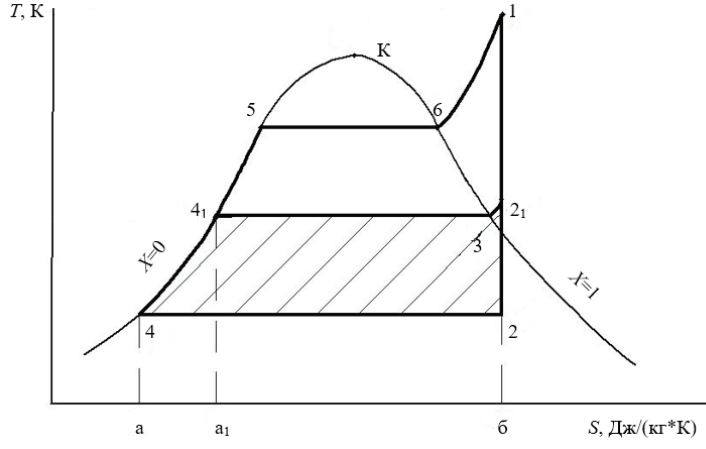


Рис. 1. Тепловые процессы в конденсационной турбине и турбине с противодавлением

Проанализируем цикл конденсационной турбины. Перегретый пар поступает в турбину, где происходит адиабатический процесс расширения пара (линия 1–2). Отработанный пар направляется в конденсатор, где создается вакуум. Конденсация пара происходит по изобаре (линия 2–4). Далее конденсат подается в паровой котел, где к воде подводится теплота: для нагрева воды до кипения (участок 4–5), парообразования (участок 5–6) и перегрева водяного пара (участок 6–1).

Цикл турбины с *противодавлением* отличается тем, что давление пара на выходе из турбины выше атмосферного (0,2–0,6 МПа), т. е. процесс отвода теплоты производится на более высоком температурном уровне $2_1 4_1$, чем в конденсационной турбине. То есть теплота, содержащаяся в отработанном паре, существенно выше (сопоставим площадь «а–4–4_1–3–2_1–б–а» и площадь «а–4–2–б–а»). Отличие конденсационной турбины в том, что теплота отработанного пара отводится к охлаждающей воде в конденсаторе и, как правило, теряется (слишком низкие температурные параметры).

Анализ проектируемой мини ТЭЦ показал, что потребность в тепловой энер-

гии намного выше, чем в электрической. Это обусловило выбор противодавленческой турбины в составе когенерационной технологии реконструируемой котельной.

Кроме того, включение противодавленческой турбины параллельно паровой гребенке (см. рис. 2), предложенное в [2] позволило использовать сбросную энергию редукционной установки для получения практически бесплатной электроэнергии.

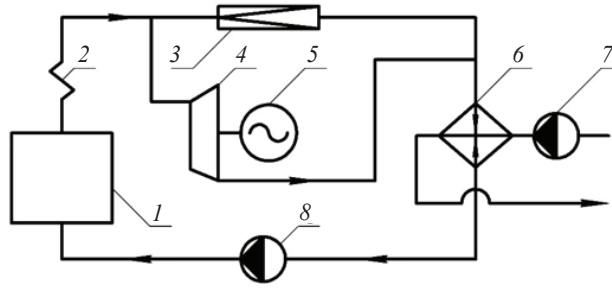


Рис. 2. Схема установки паровой турбины: *1* – паровой котел; *2* – пароперегреватель; *3* – редукционная установка; *4* – паровая турбина; *5* – электрогенератор; *6* – сетевой теплообменник; *7* – сетевой насос; *8* – питательный насос

Выбор когенерационной технологии для повышения энергоэффективности водогрейных котельных рассмотрим на примерах реконструкции водогрейной котельной с 3 котлами КВ-ГМ-20 и водогрейной котельной с 4 котлами *Viessmann* 200-*HWK*.

Выбор когенераторов в водогрейных котельных осуществляется путем сопоставления параметров газовых турбин и поршневых двигателей. Проанализируем преимущества и недостатки этих когенераторов.

На рис. 3 приведена схема газотурбинной установки (ГТУ).

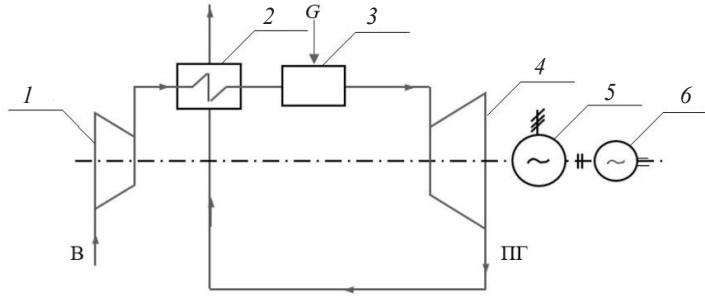


Рис 3. Схема регенеративной ГТУ: *1* – компрессор; *2* – теплообменник; *3* – камера сгорания; *4* – газовая турбина; *5* – электрический генератор; *6* – пускатель; *G* – расход воздуха; В – расход топлива; ПГ – продукт сгорания

Газовая микротурбина имеет следующие преимущества по сравнению с поршневым двигателем:

– больший ресурс газотурбинной установки до капитального ремонта;
– меньший уровень эмиссии вредных веществ (NO_x – менее 50 мг/м^3);
– практически полностью отсутствует вибрация;
– существенно ниже эксплуатационные расходы (более чем в 2 раза);

– меньшие затраты на проектные, строительные и монтажные работы.

Однако газотурбинные установки имеют существенный недостаток – для газоснабжения турбины необходим высокий уровень давления природного газа.

Выбор поршневых двигателей определил тот факт, что котельная снабжается газовым топливом от газопровода среднего давления.

Анализ технических условий на газоснабжение рассматриваемой водогрейной котельной с 3 котлами КВ-ГМ-20 показал, что имеется возможность подключения реконструируемой котельной к газопроводу высокого давления. Это обусловило выбор оптимального когенератора – газовой турбины.

Далее произведено сопоставление двух схем газотурбинной установки (ГТУ): без регенерации и с регенерацией. Выбрана регенеративная ГТУ (см. рис. 4) как наиболее эффективная ввиду возможности использования отработанных в турбине продуктов сгорания для нагрева воздуха, подаваемого на горение.

Действительный термодинамический цикл ГТУ в диаграмме *H-S* представлен на рис. 4, а результаты расчета параметров рабочих тел в расчетных точках термодинамического цикла приведены в табл. 1.

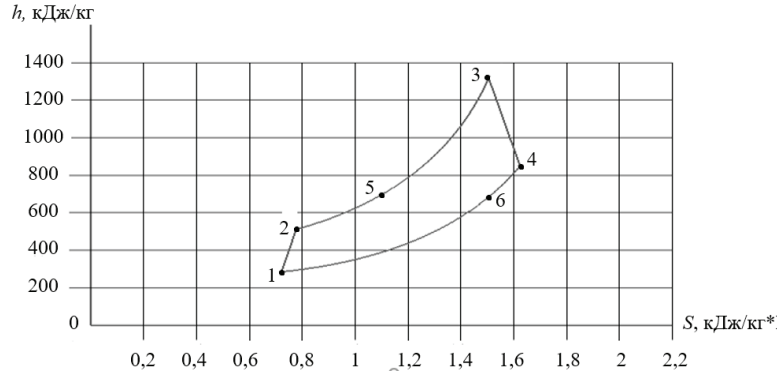


Рис. 4. Действительный цикл ГТУ с регенерацией теплоты в *H-S* диаграмме

Таблица 1

Параметры рабочих тел газотурбинной установки

Точка	P, МПа	T, K	V, м^3/кг	h, кДж/кг	S, кДж/кг*К
1	0,1	288,15	0,83	289,44	0,719
2	0,6	504,59	0,24	506,85	0,767
3	0,6	1089,15	0,58	1387,00	1,540
4	0,1	709,50	2,07	859,39	1,624
5	0,6	695,32	0,33	698,44	1,089
6	0,1	548,50	1,57	648,76	1,365

Далее рассмотрим выбор типа электрогенерирующей установки для водогрейной котельной с 4 котлами *Viessmann 200-HWK*.

Выбор газовых поршневых двигателей в составе электрогенерирующей установки определен отсутствием газопровода высокого давления, а также некоторыми преимуществами по сравнению с газотурбинными (устойчивость к снижению электрической нагрузки, меньший удельный расход топлива на кВт·ч электроэнергии, а также более высокий и постоянный электрический КПД).

Следующим этапом проекта реконструкции является определение расчетной мощности электрогенерирующей установки, которая складывается из потребно-

сти в электроэнергии оборудования котельной, освещения и др., а также внешних потребителей. Ниже приведены результаты расчета потребности в электрической энергии и выбора конструкций когенераторов применительно к рассмотренным ранее котельным:

– в паровой котельной с паровыми котлами ДЕ-16-14 расчетная мощность электрогенерирующей установки – 409,56 кВт; принят к установке паровой турбогенератор с противодавленческой турбиной ПТГ 0,5А/0,4 Р13/3,7;

– в водогрейной котельной с 3 котлами КВ-ГМ-10 необходимая мощность – 510 кВт; принят к установке газовый турбогенератор с микротурбиной *Capstone* С600 электрической мощностью 600 кВт;

– в водогрейной котельной с 4 котлами *Viessmann* 200-*HWK* расчетная мощность – 451,9 кВт, запроектирована электрогенерирующая установка с 2 газопоршневыми двигателями *CATERPILLAR G*3412 электрической мощностью 280 кВт каждый.

Далее выполняется тепловой расчет двигателей в составе электрогенерирующих установок. Исходными данными для теплового расчета являются результаты приведенных ранее исследований идеальных и действительных термодинамических циклов двигателей.

Основной задачей теплового расчета когенераторов является определение расхода пара для турбины и расхода топлива для газовой турбины и газопоршневого двигателя, а также показателей эффективности процесса генерации электрической и тепловой энергии.

Следующим этапом проектирования является корректировка тепловой схемы котельных с учетом использования тепловой энергии, вырабатываемой турбогенераторами, в различных теплообменниках схемы.

В качестве примера на рис. 5 приведена схема использования теплоты, (1380 квт), образующейся в системе охлаждения газопоршневых двигателей *CATERPILLAR G*3412, и теплоты выхлопных газов для нагрева подпиточной воды тепловой сети [3].

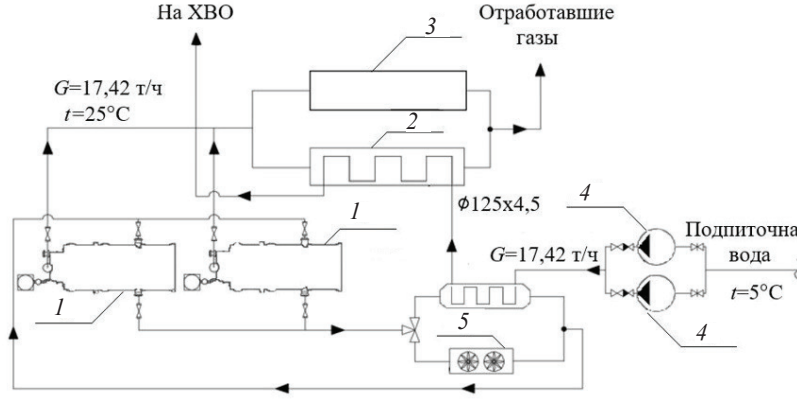


Рис. 5. Фрагмент тепловой схемы водогрейной котельной после реконструкции: *1* – поршневой двигатель; *2* – утилизатор; *3* – глушитель поршневого двигателя; *4* –подпиточные насосы; *5* – радиатор охлаждения

В паровых турбинах используется теплота отработанного пара давлением 0,3–0,6 Мпа для нагрева сетевой воды в паровой котельной; в газовых турбинах – те-

плота выхлопных газов для нагрева подпиточной или сетевой воды в котлах-утилизаторах. Кроме того, при реконструкции паровой котельной в мини ТЭЦ (для функционирования паровой турбины отбирается пар из действующего котла) необходимо доказать, что внедрение когенерации не потребует существенного увеличения количества котлов в котельной или их реконструкции. При реконструкции водогрейных котельных необходимо учесть дополнительный расход газового топлива для работы газовой турбины или газопоршневого двигателя.

Важным этапом проекта реконструкции котельной в мини ТЭЦ является выбор места размещения электрогенерирующей установки в реконструируемой котельной.

При установке электрогенераторов необходимо предусматривать возможность переключения вырабатываемой электроэнергии на собственные нужды во внешнюю электросеть и возможность использования на токоприемниках мини ТЭЦ внешнего источника электроснабжения.

Принятые в проекте реконструкции котельной в мини ТЭЦ технические решения должны обеспечить:

– надежность и безопасность работы вновь установленного оборудования для генерации электрической и тепловой энергии;

– требования охраны окружающей среды;

– требуемые санитарно-бытовые условия для эксплуатационного и ремонтного персонала. Поршневые двигатели и газовые микротурбины можно устанавливать непосредственно в помещении котельной, так как они, как правило, поступают полностью укомплектованными, размещаются в защитном кожухе и снабжены экозащитными устройствами.

Паровую турбину необходимо устанавливать в отдельном помещении (возможно, в пристройке к зданию котельной). Это обусловлено высокими уровнями шума и вибрации, создаваемых паровыми турбинами.

При размещении электрогенерирующего оборудования в отдельном помещении или в пристройке в машинном отделении должно быть не менее двух выходов, желательно расположенных в противоположных сторонах помещения.

На рис. 6 представлена схема размещения электрогенерирующей установки с паровой турбиной в помещении котельной.

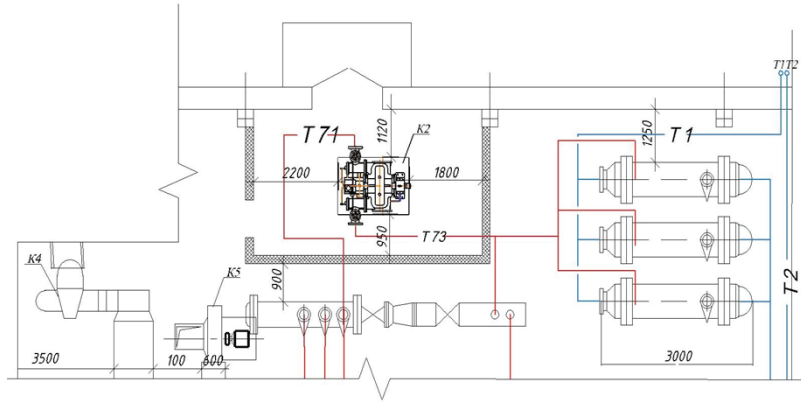


Рис. 6. Фрагмент плана котельной с установкой парового турбогенератора

Заключительным этапом проекта реконструкции котельной в мини ТЭЦ является расчет срока окупаемости когенерационных технологий.

Установлено, что минимальный срок окупаемости (1,5–1,7 года) имеет электрогенерирующая установка, в которой в качестве двигателя используется паровая турбина (т. к. отбирается сбросной пар редукционной установки).

Сроки окупаемости газотурбинных и газопоршневых установок существенно выше (2,5–3,5 года), т. к. для производства электроэнергии в них необходимы затраты органического топлива. Однако эти сроки также существенно ниже нормируемых.

Таким образом, реконструкция котельных в мини ТЭЦ повышает энергоэффективность котельной и надежность работы электропотребляющего оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поливанов, В. И. Государственная политика в теплоэнергетике / В. И. Поливанов. – Текст : непосредственный // Коммунальный комплекс России. – 2013. – № 9. – С. 8–12.

2. Лебедева, Е. А. Анализ эффективности использования когенерационных технологий в котельных установках / Е. А. Лебедева. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – № 1. – С. 105–112.

3. Лебедева, Е. А. Перспективы использования когенерационных технологий в паровых и водогрейных котельных / Е. А. Лебедева, И. Г. Пищаскин, С. Ю. Дагаев. – Текст : непосредственный // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений, (Екатеринбург, 09–13 декабря 2019 г.). – Екатеринбург : УрФУ, 2019. – С. 308–311.

LEBEDEVA Evgenia Andreevna[1], candidate of technical sciences, professor of the chair of heat and gas supply; RAZINA Maria Andreevna[1], undergraduate student of the chair of heat and gas supply; YAKOVLEV Viktor Aleksandrovich[2], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply and ventilation

FEATURES OF CALCULATION AND DESIGN OF COGENERATION TECHNOLOGIES IN BOILER ROOMS

[1]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 433-45-35; e-mail: evgelebedeva@mail.ru
[2]Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
4, 2-nd Krasnoarmeyskaya St, St. Petersburg, 190005, Russia. Tel.: +7 (812) 575-05-31; e-mail: yakovlevspb@rambler.ru
Key words: design, calculation, cogeneration technologies, cogenerators, application efficiency.

The features of calculation and design of cogeneration technologies during the reconstruction of boiler houses in mini-CHP are considered. The most efficient cogenerators are identified for steam and hot water boilers. The fundamentals for selection and calculation of power generating installations, examples of reconstruction are given, the effectiveness of cogeneration technologies is shown.

REFERENCES

1. Polivanov V. I. Gosudarstvennaya politika v teploenergetike [State policy in heat power engineering]. Kommunalny kompleks Rossii [Communal complex of Russia]. 2013. № 9. P. 8–12.

2. Lebedeva E. A. Analiz effektivnosti ispolzovaniya kogeneratsionnykh tekhnologiy v kotelykh ustanovkakh [Analysis of the efficiency of using cogeneration technologies in boiler plants]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2019, № 1. P. 105–112.

3. Lebedeva E. A., Pischaskin I. G, Dagaev S. Yu. Perspektivy ispolzovaniya kogeneratsionnykh tekhnologiy v parovykh i vodogreynykh kotelnykh [Prospects for the use of cogeneration technologies in steam and hot water boilers]. Energo- i resursosberezhenie. Energoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyaemye istochniki energii. Atomnaya energetika : materialy Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov I molodykh uchyonykh, posvyaschyonnoy pamyati professor Danilova N. I. (1945-2015) – Danilovskikh chteniy (Ekaterinburg, 09-13 dekabrya 2019 g.). Ekaterinburg, UrFU, 2019. P. 308–311.

© Е. А. Лебедева, М. А. Разина, В. А. Яковлев, 2022
Получено: 21.12.2021 г.

УДК.662.76

С. В. БОЛДИН, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения; Н. Т. ПУЗИКОВ, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА В ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 433-45-35; факс: (831) 430-19-46; эл. почта: e-mail: moralova@yandex.ru
Ключевые слова: генераторный газ, теплота сгорания, зона генерации, газопоршневая установка.

Представлен анализ данных экспериментов на газогенераторной установке. Выполнен анализ зависимости теплоты сгорания генераторного газа от температуры и расхода воды в зону генерации и анализ зависимости состава генераторного газа от температуры газа на выходе из газогенератора.

Для когенерации может использоваться широкий диапазон видов топлива, включая, например, отходы, возобновляемое топливо (биомасса), а также ископаемые виды топлива – уголь, нефть и природный газ.

Дешевым местным топливом могут быть отходы древесины, отходы сельхозпроизводства, бурый и каменный уголь. Выработка электроэнергии из такого топлива возможна при генерации горючего газа низкой калорийности в газогенераторе обращенного процесса с последующим использованием этого газа в газопоршневом двигателе, приводящем электрогенератор.

Слоевые газогенераторы на специально подготовленном топливе (высушенные чурки лиственных пород или древесный уголь) широко применялись как источники топлива как для транспортных двигателей, так и для стационарных двигателей внутреннего сгорания, приводящих электрогенератор. Низкая калорийность

получаемого газа в таких газогенераторах объяснялась забалластированностью его азотом и углекислым газом, так как применялось воздушное дутье, и азот воздуха переходил в генераторный газ [1]. Кроме того, для уменьшения смолы в газе для работы на чурках применялся обращенный процесс, что дополнительно снижало калорийность газа примерно до 1000 ккал/куб. м.

При использовании генераторного газа как топлива газопоршневых двигателей падение мощности двигателя составляет 50 %. Путем повышения степени сжатия можно снизить падение мощности до 35 %. Причиной падения мощности является уменьшение степени наполнения цилиндра воздухом, так как половину его рабочего объема занимает генераторный газ. Второй причиной является использование двигателя в качестве вакуум-насоса для прогона воздуха генераторного газа через газогенератор и систему фильтров. Это можно назвать антинаддувом. Перевод серийно выпускаемых бензиновых и дизельных двигателей со степенью сжатия 7–15 на генераторный газ приведет к падению мощности, которую уже нельзя компенсировать увеличением степени сжатия. Таким образом, для снижения падения мощности двигателя целесообразно использовать смесь генераторного газа с природным.

В ходе исследования были проведены серии экспериментов, направленных на определение оптимальных режимов работы установки, обеспечивающих минимальный выход смолы с генераторным газом и максимально возможную калорийность генераторного газа. Для выявления оптимальных режимов были проведены серии испытаний с изменением расхода воздуха без подачи воды и анализом выхода смолы и со впрыском воды в зону горения с анализом калорийности газа.

Вода подается в нижнюю часть реактора в слой раскаленного карбонизата. Газы, образующиеся при газификации, смешиваются с продуктами термического разложения древесного сырья и выводятся из газогенератора [2]. Генераторный газ после системы охлаждения и очистки от органических веществ и угольных частиц в скруббере направляется в ресивер для хранения газа.

Для снижения выхода смолы были выполнены изменения в конструкции фильтра скруббера и проведен подбор режимов подачи воздуха через фурмы газогенератора.

Измененная конструкция фильтра, установленного в скруббере, предполагает организованный отвод осевшей на стружке смолы в нижнюю часть скруббера. Это исключит попадание капель смолы в поток генераторного газа [3].

Для анализа влияния температурных режимов работы газогенератора на выход смолы из газогенератора проведены серии экспериментов: все фурмы открыты полностью; все фурмы открыты на 75 % живого сечения по воздуху; все фурмы открыты на 50 % живого сечения по воздуху; открыты полностью 50 % фурм, остальные закрыты в шахматном порядке; все фурмы открыты на 25 % живого сечения по воздуху. Для доступа к фурмам кожух воздушного коллектора был снят.

Для достижения максимально возможной калорийности генераторного газа был выполнен подбор режимов подачи воды в зону восстановления газогенератора и режимов подачи воздуха в фурмы.

Для анализа влияния режимов впрыска воды в зону восстановления на калорийность генераторного газа проведены серии экспериментов с расходами воды: 0,11, 0,27, 0,30, 0,32 кг/ч.

Каждую серю экспериментов сопровождали контролем показаний установленных термометров и показаний расходомерного устройства, а также контролем выхода смолы (визуальный контроль или мерные пробы сточной воды из скруббера) и пробами на состав генераторного газа. Запись показаний проводилась по

истечении 10–15 минут после изменения режима [4].

В целях гарантированно стабильной работы установки в течение всего эксперимента испытания проводились при максимальной загрузке топлива (250–300 кг) [5]. При этом были достигнуты следующие параметры технологического процесса:

– температура внутри газогенератора (верхняя точка) – 1200 °С;
– продолжительность карбонизации – 10–12 мин;
– температура газификации карбонизата (нижняя точка) – 1200 °С;
– продолжительность газификации карбонизата – 30–40 мин;
– температура газа на выходе из газогенератора – 800–850 °С;
– температура газа после системы очистки и охлаждения – 60 °С;
– количество подаваемого сырья – 53 кг/ч;
– количество образующейся золы – 0,3 кг/ч;
– давление в газогенераторе – 150 кПа.

Получены экспериментальные данные зависимости низшей теплоты сгорания генераторного газа *Qh*, МДж/м^3 от температуры газа на выходе из генератора без подачи воды и с подачей воды в зону генерации, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные зависимости низшей теплоты сгорания генераторного газа от температуры и расхода воды в зону генерации

Температура газа на выходе из генератора Т, °С	Низшая теплота сгорания генераторного газа *Qh*, Дж/м^3	
	без подачи воды	расход воды 32,0 кг/ч
310,00	5,15	5,1
330,00	3,90	5,23
350,00	3,05	6,05
370,00	2,69	6,33
380,00	2,60	5,71
400,00	2,80	4,83
420,00	3,48	4,2
430,00	3,51	4,18

По данным табл. 1 построен график зависимости низшей теплоты сгорания генераторного газа от температуры и расхода воды в зону генерации (рис. 1).

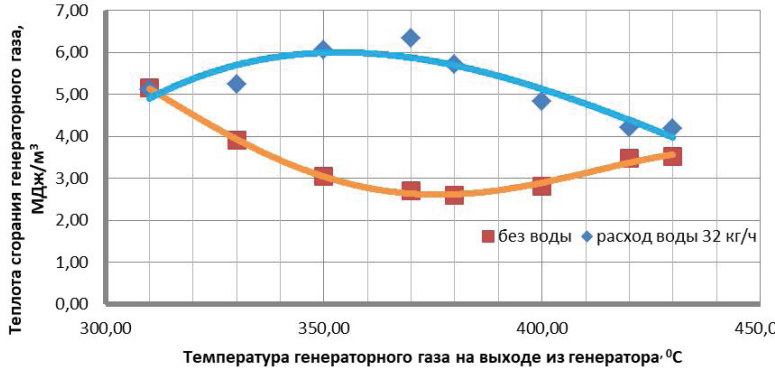


Рис. 1. Зависимость низшей теплоты сгорания генераторного газа от температуры и расхода воды в зону генерации

Были проведены эксперименты по измерению состава генераторного газа при температуре газа 370 °С для различных режимов подачи воды в зону генерации, результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние подачи воды в зону горения на состав генераторного газа

Расход воды в зону генерации, кг/ч	Состав генераторного газа, объемная доля, %			
	H_2	CH_4	CO	O_2
0,00	11,50	0,80	9,20	1,60
11,00	9,67	2,44	20,11	0,74
27,00	7,53	4,73	28,93	0,00
30,00	7,95	4,86	28,90	0,00
32,00	8,33	4,96	28,93	0,00

По данным табл. 2 построен график зависимости состава генераторного газа от расхода воды в зону генерации (рис. 2).

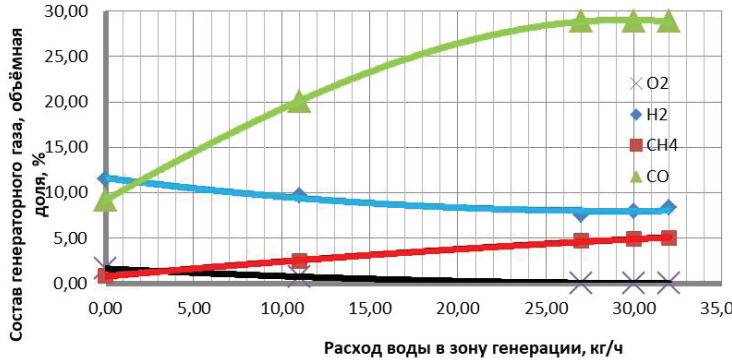


Рис. 2. Зависимость состава генераторного газа от расхода воды в зону генерации

Получены экспериментальные данные зависимости состава генераторного газа от температуры газа на выходе из генератора без подачи воды в зону генерации, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Состав генераторного газа при различных температурах на выходе из газогенератора

Температура газа на выходе из генератора Т, °С	Объемная доля, %			
	H_2	CH_4	CO	O_2
310,00	17,58	4,00	14,40	1,98
330,00	15,00	2,90	10,80	1,90
350,00	12,90	1,10	9,10	1,80
370,00	11,50	0,80	9,20	1,60
380,00	11,00	0,60	10,20	1,50
400,00	10,70	0,33	12,70	1,95
420,00	10,70	0,40	17,30	1,40

По данным табл. 3 построен график зависимости состава генераторного газа от температуры на выходе из газогенератора (рис. 3).

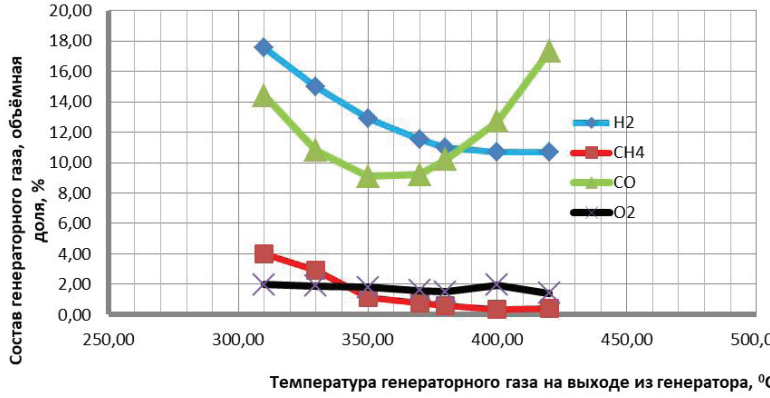


Рис. 3. Зависимость состава генераторного газа от температуры на выходе из газогенератора

Достигнутого в ходе экспериментов значения низшей теплоты сгорания генераторного Qh = 6,33 Дж/м^3 недостаточно для питания ДВС. Газ такой калорийности можно использовать для питания ДВС только в смеси с природным газом [6]. Однако при подаче в газогенератор вместо воздуха водяного пара можно существенно повысить его калорийность (в 3–3,5 раза). И такой генераторный газ можно будет использовать для питания двигателя газопоршневой установки, но со снижением ее мощности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пузиков, Н. Т. Анализ оптимальных режимов работы установки для производства генераторных газов из древесных отходов / Н. Т. Пузиков, С. В. Болдин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2015. – № 1 (33). – С. 72–75.
2. Болдин, С. В. Газогенераторная установка для производства генераторных газов из древесных отходов / С. В. Болдин, Н. Т. Пузиков. – Текст : непосредственный // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. – Княгинино, 2011. – Том 2, № 2 (3). – С. 40–47.
3. Болдин, С. В. Энергосберегающие технологии использования биогаза в когенерационных установках / С. В. Болдин, Н. Т. Пузиков. – Текст : непосредственный // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. – Княгинино. – 2011. – Т. 2. – № 2 (3). – С. 47–55.
4. Болдин, С. В. Экспериментальная установка для производства генераторных газов из древесных отходов / С. В. Болдин, Н. Т. Пузиков, А. С. Коробков. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2008. – № 1. – С. 30–32.
5. Болдин, С. В. Газогенератор для производства газов из древесных отходов / С. В. Болдин, Н. Т. Пузиков, А. С. Коробков. – Текст : непосредственный // Великие реки` 2008 : X международный научно-промышленный форум : тезисы докладов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2009. – С. 163–164. – ISBN 978-5-87941-590-2.

BOLDIN Sergey Valentinovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply; PUZIKOV Nikolay Timofeevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of heat and gas supply

USE OF GENERATOR GAS IN A GAS PISTON UNIT

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 433-45-35; e-mail: moralova@yandex.ru
Key words: generator gas, calorific value, generation zone, gas piston plant.

The article presents an analysis of the data of experiments on a gas-generating plant. The analysis of the dependence of the heat of combustion of the generator gas on the temperature and water flow rate in the generation zone and the analysis of the dependence of the composition of the generator gas on the temperature of the gas at the outlet of the gas generator.

REFERENCES

1. Puzikov N. T., Boldin S. V. Analiz optimalnykh rezhimov raboty ustanovki dlya proizvodstva generatornykh gazov iz drevesnykh otkhodov [Analysis of the optimal operating modes of the plant for the production of generator gases from wood waste]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2015, № 1(33). P. 72–75.
2. Boldin S. V., Puzikov N. T. Gazogeneratornaya ustanovka dlya proizvodstva generatornykh gazov iz drevesnykh otkhodov [Gas generator set for the production of generator gases from wood waste]. Vestnik Nizhegorod. gos. inzhenerno-ekonomicheskogo instituta [Bulletin of Nizhny Novgorod state engineering-economic institute], Knyaginino, 2011. V. 2. P. 40–47.
3. Boldin S. V., Puzikov N. T. Energosberegayuschie tekhnologii ispolzovaniya biogaza v kogerentnykh ustanovkakh [Energy-saving technology for the use of biogas in cogeneration plants]. Vestnik Nizhegorod. gos. inzhenerno-ekonomicheskogo instituta [Bulletin of Nizhny Novgorod state engineering-economic institute], Knyaginino, 2011. V. 2. P. 47–55.
4. Boldin S. V., Puzikov N. T., Korobkov A. S. Experimentalnaya ustanovka dlya proizvodstva generatornykh gazov iz drevesnykh otkhodov [An experimental installation for manufacture of generator gases from wood waste]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2008, № 1. P. 30–32.
5. Boldin S. V., Puzikov N. T., Korobkov A. S. Gazogenerator dlya proizvodstva gazov iz drevesnykh otkhodov [A gas generator for producing gas from wood waste]. Velikie reki – 2008 : X mezhdunar. nauchno-promysh. forum, tez. dokl. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2009. P. 163–164. – ISBN 978-5-87941-590-2.

© С. В. Болдин, Н. Т. Пузиков, 2022
Получено: 27.12.2021 г.

УДК 626/627

А. С. АНТОНОВ[1,2], канд техн. наук, доц., гл. инж. по оборудованию и гидротехническим сооружениям; Н. П. КАРАБЛИН[1], гл. инж. по турбинному и гидромеханическому оборудованию; И. А. ФЕДОСЕЕВ[1], нач. отдела неразрушающего контроля

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КРЕСТОВИН ГИДРОАГРЕГАТОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОЕКТНЫХ НАГРУЗОК

[1]Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект им. С. Я. Жука» – «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»
Россия, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 2.
Тел.: (495) 727-36-05, (495) 727-36-06; эл. почта: a.antonov@hydroproject.ru, n.karablin@hydroproject.ru, i.fedoseev@hydroproject.ru
[2]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26. Тел.: (495) 781-80-07, эл. почта: Antonov.An.S@yandex.ru
Ключевые слова: турбинное оборудование, крестовина рабочего колеса, групповое регулирование гидроагрегата, дефект, периодическое обследование, напряженно-деформированное состояние, расчетные исследования, техническое состояние, остаточный ресурс.

На примере металлической крестовины гидротурбины показано изменение проектных нагрузок при работе гидроагрегата в системе группового регулирования активной и реактивной мощности. Предложены необходимые меры в части проведения инструментального контроля и расчетных исследований по определению остаточного ресурса наиболее ответственных узлов оборудования при работе в указанной системе для уменьшения экономического ущерба эксплуатирующих организаций.

По состоянию на 2022 год в Российской Федерации эксплуатируются свыше 200 гидроэлектростанций (ГЭС) с установленной мощностью более 48 000 МВт, что составляет порядка 20 % от суммарной установленной мощности электростанций в стране. При этом парк гидрогенерирующего оборудования требует замены и модернизации, которая выполняется постепенно в соответствии с приказами и методиками министерства энергетики России.

В настоящее время ряд единиц оборудования эксплуатируется свыше нормативного или нескольких нормативных сроков службы. Данное оборудование имеет высокий индекс эксплуатационной готовности, при этом зачастую модернизация оборудования выполняется не комплексно, а адресно по отдельным узлам и системам. Такой подход позволяет оптимизировать затраты при сохранении высокой работоспособности и надежности генерирующего оборудования, а финансирование направить на наиболее актуальные проекты.

В ходе многолетнего опыта работы по обследованию состояния генерирующего оборудования было зафиксировано, что большинство ГЭС оснащено системами группового регулирования активной и реактивной мощности (ГРАРМ) [1]. Данные системы позволяют осуществлять автоматизированное управление технологиче-

скими процессами энергообъектов, повышают надежность единой энергетической системы за счет увеличения скорости регулирования агрегатами с минимальными отклонениями нагрузки от графика, дополнительно возможна оптимизация расхода воды через гидроагрегаты.

Работа в ГРАРМ кроме положительного эффекта для энергосистемы несет в себе и скрытые угрозы для прочности отдельных элементов гидрогенерирующего оборудования. На момент проектирования оборудования (1970–1980 гг.) нагрузки и воздействия от эксплуатации с многократным изменением частоты и мощности не учитывались в проектных расчетах ввиду недостаточных вычислительных возможностей систем. По проведенному анализу, выполненному авторами, значительное увеличение нагрузок фиксируется на органах регулирования оборудования ГЭС [2].

В настоящее время возможности вычислительной техники шагнули далеко вперед, появились универсальные промышленные программные комплексы, позволяющие выполнять сложные междисциплинарные расчетные исследования различных конструкций с учетом геометрической и физической нелинейности поведения как материалов, так и самих конструкций. Следует отметить, что каждый гидроагрегат уникален по причине различных объемов капитальных и текущих ремонтов, особенностей эксплуатации, кроме того, имеет различные допустимые зоны благоприятной и неблагоприятной работы.

Например, увеличение нагрузки характеризуется отклонениями от нормального режима эксплуатации органов управления (увеличение режима работы насосов и температуры масла маслонапорной установки (МНУ)). Для направляющего аппарата и рабочего колеса (РК) изменение проектных нагрузок может привести к изменению напряженно-деформированного состояния (НДС), выраженное в трещинообразовании на деталях кинематики механизма поворота.

При оснащении системой ГРАРМ оборудования, находящегося в эксплуатации более 20 лет, в большинстве случаев не проводятся ни комплексное инструментальное обследование, ни расчетные исследования по определению остаточного ресурса конструктивных элементов оборудования и закладных деталей сооружений. Отсутствие данных работ влечет за собой увеличение риска аварийного отключения оборудования.

Примером, подтверждающим необходимость проведения подобного рода расчетов, может служить повреждение крестовины РК гидротурбины типа Д45 (ввод в эксплуатацию осуществлен в 1976 г.), которое привело к вынужденному простою оборудования в течение 6 месяцев и значительным ущербам для энергетической компании.

Конструктивно крестовина РК состоит из цилиндрической центральной части (цилиндра) Ø 1,9 м, высотой 0,755 м и из 9 лучей длиной 0,96 м каждый, расположенных радиально вокруг цилиндрической части. Материал крестовины – сталь 20ГСЛ. Фрагмент сборочного чертежа РК гидротурбины приведен на рис. 1 цв. вклейки. Данная конструкция луча крестовины представлена как консольная балка с приложением к ней момента от перестановочных усилий, обусловливающего возникновение условий изгиба [3].

Конструкция гидротурбины рассчитана так, что полный поворотный момент при всех эксплуатационных напорах и на всех режимах действует на «закрытие» лопастей. Вследствие этого необходимый перепад давления в сервомоторе РК на закрытие снижается, и требуется давление только для удержания лопастей в заданном положении или на «открытие» [4].

К СТАТЬЕ А. С. АНТОНОВА, Н. П. КАРАБЛИНА, И. А. ФЕДОСЕЕВА «НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КРЕСТОВИН ГИДРОАГРЕГАТОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОЕКТНЫХ НАГРУЗОК»

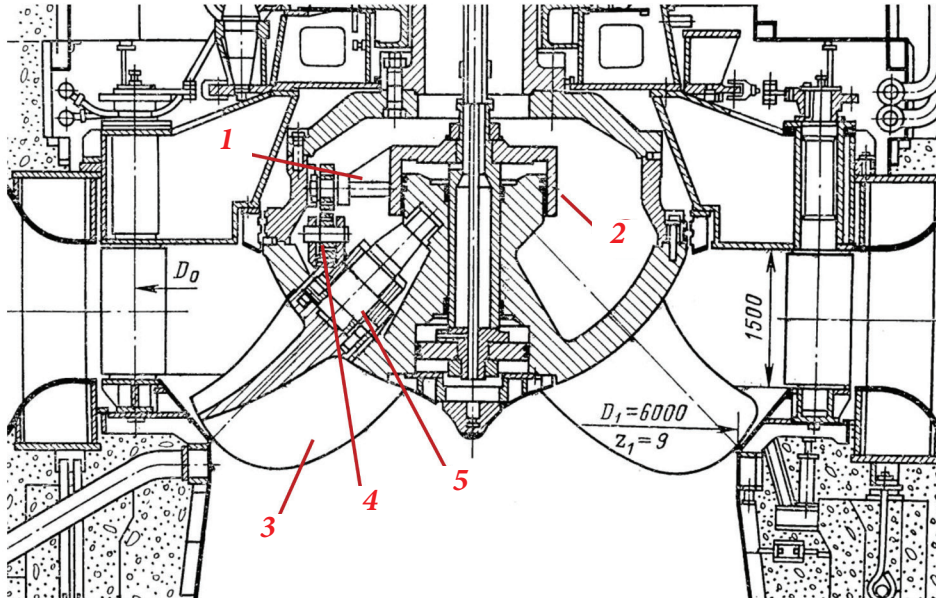
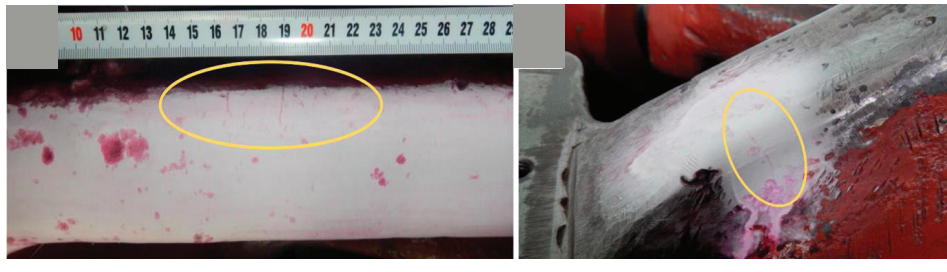


Рис. 1. Фрагмент сборочного чертежа рабочего колеса: *1* – луч крестовины, *2* – цилиндрическая центральная часть крестовины; *3* – лопасть рабочего колеса; *4* – рычаг; *5* – цапфа



а *б*

Рис. 2. Дефекты на лучах крестовины: *а* – в виде сетки поверхностных трещин (овалом отмечена зона наиболее явных трещин); *б* – трещина на луче крестовины № 6 (овалом отмечена трещина)

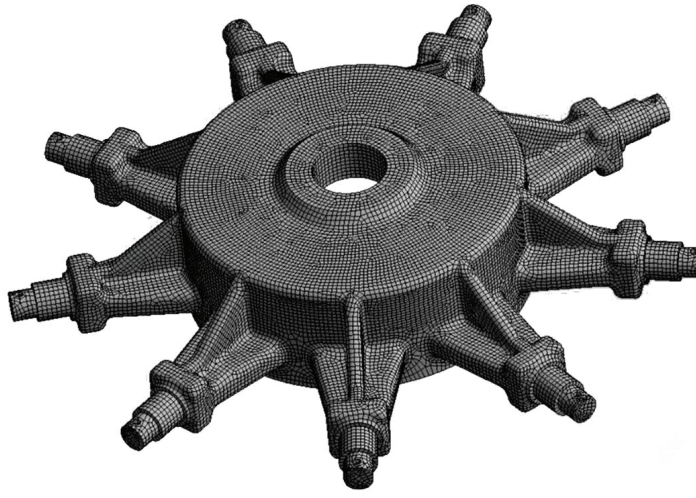
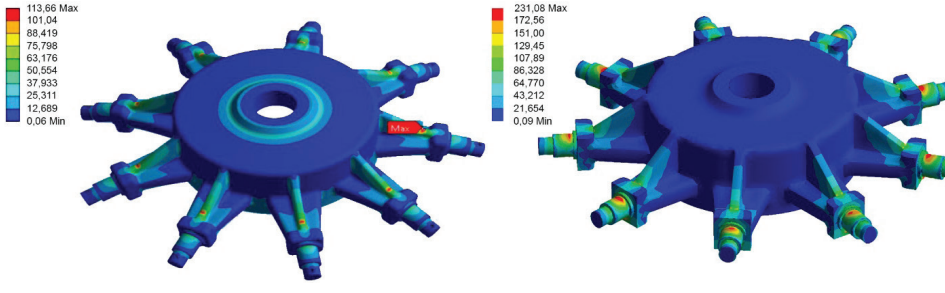


Рис. 3. Конечно-элементная аппроксимация математической модели крестовины рабочего колеса



а *б*

Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений Мизеса в материале крестовины: *а* – расчет без учета работы ГРАММ; *б* – расчет при учете работы ГРАММ

За весь период эксплуатации до момента установки системы ГРАРМ (2008 г.) дефектов на крестовине или самом РК не фиксировалось. Впервые трещины обнаружены во время проведения капитального ремонта в 2014 г. При контроле неразрушающими методами выявлены поверхностные трещины в виде сетки на верхних гранях лучей (вертикальных ребрах жесткости) крестовины (рис. 2 цв. вклейки), а также трещина протяженностью до 26 мм и глубиной до 5 мм. Дефекты устранены методом выборки металла, способом, описанным в [5].

В связи с тем, что ГА на момент обнаружения дефектов отработал нормативный срок службы [6], для определения причин возникновения трещин проведены дополнительные исследования, направленные на определение возможности дальнейшей безопасной эксплуатации оборудования. Для этого проведено лазерное сканирование проточной части гидротурбины [7] и проверка отклонений в относительных положениях лопастей рабочего колеса с целью определения влияния данного отклонения на повреждения крестовины.

Для проверки прочности и несущей способности крестовины при воздействии штатной нагрузки в форме перестановочных усилий, возникающих при выполнении операций регулирования агрегатом, построена математическая модель крестовины РК в программном комплексе “*ANSYS*” и проведены расчеты напряженно-деформируемого состояния элементов оборудования. Общий вид математической модели, аппроксимированной сеткой конечных элементов, приведен на рис. 3 цв. вклейки.

Нагрузки от перестановочных усилий прикладывались к каждой лапе крестовины; полученные эквивалентные напряжения в металле представлены на рис. 4*а* цв. вклейки. Выполненный расчет показал, что напряжения в сечении луча с наименьшим моментом инерции не превосходят предел текучести стали 20ГСЛ [9]. Коэффициент запаса по прочности равен 4,7, что больше минимального отраслевого коэффициента запаса по прочности 1,7. При этом важно отметить, что расчеты выполнялись из расчета 700 пусков/остановок в год (согласно инструкции по эксплуатации гидротурбины и механической части генератора) [10]. Исходя из полученных результатов исследований, оборудование не полностью выработало свой ресурс и было допущено к дальнейшей эксплуатации.

При проведении капитального ремонта в 2020 г. методами неразрушающего контроля обнаружены множественные трещины на рабочих поверхностях галтельных переходов в сопряжении луча и посадочного диаметра, которые имеют протяженность, охватывающую всю рабочую поверхность узла. Месторасположение и протяженность обнаруженных трещин позволили сделать вывод об усталостном характере выявленных дефектов. За основную версию принято предположение, что данные нарушения напрямую связаны с работой ГРАРМ, увеличением числа пусков, остановок и нахождением гидроагрегата в неблагоприятном режиме работы при наборе и сбросе мощности. Повторный расчет НДС крестовины рабочего колеса выполнялся уже с прогнозом работы системы ГРАРМ (рис. 4*б* цв. вклейки).

Расчеты показали, что при учете множественных пусков-остановок при работе ГРАРМ фиксируется увеличение максимальных растягивающих напряжений в 2 раза, при этом они достигают предельных величин для металла данной марки. На рассмотренном примере крестовины, учитывая протяженность трещин, их усталостный характер и отсутствие остаточного ресурса, принято решение о замене крестовины рабочего колеса на новую ввиду невозможности ремонта.

Основные выводы

По результатам проделанной работы определена необходимость:

1. Учета режимов работы гидроэнергетического и гидросилового оборудования при частичной или полной замене узлов и элементов;
2. Учета влияния ГРАРМ на режимы работы гидроагрегатов (количество пусков/остановок) при расчете остаточного ресурса конструктивных элементов гидротурбин;
3. Выполнения комплексных расчетных исследований отдельных элементов оборудования и гидротехнических сооружений для подтверждения возможности безопасной замены, модернизации или эксплуатации оборудования;
4. Проведения инструментального контроля и расчетных исследований наиболее ответственных узлов оборудования при работе ГА в системе ГРАРМ;
5. Учета техногенных воздействий на элементы гидротехнических сооружений и узлы оборудования для оценки их прочности и надежности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СТО РусГидро 02.02.060-2011. Гидроэлектростанции. Технические и автоматизированные системы. Условия поставки. Нормы и требования. – Москва : РусГидро, 2011. – 50 с. – Текст : непосредственный.

2. СТО РусГидро 07.01.063-2011. Гидроэлектростанции. Условия предоставления продукции (услуг). Нормы и требования. – Москва : РусГидро, 2011. – 49 с. – Текст : непосредственный.

3. Кривченко, Г. И. Гидравлические машины: Турбины и насосы : учебник для вузов. – Москва : Энергия, 1978. – 320 с. – Текст : непосредственный.

4. СТО РусГидро 02.03.70-2011. Гидротурбины. Общие технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования. – Москва : РусГидро, 2011. – 70 с. – Текст : непосредственный.

5.СТО ЦКТИ 10.049-2013. Устранение дефектов в литых деталях энергооборудования с применением сварки без последующей термической обработки. – Санкт-Петербург : НПО ЦКТИ, 2013. – 32с. – Текст : непосредственный.

6.СТО РусГидро 02.03.77-2015. Гидроэлектростанции. Продление срока службы основного оборудования в процессе эксплуатации. Нормы и требования. – Москва : РусГидро, 2017. – 52 с. – Текст : непосредственный.

7. СТО 17330282.27.140.001 – 2006. Гидроэлектростанции. Методики оценки технического состояния основного оборудования. – Москва : ЕЭС России, 2006. – 378 с. – Текст : непосредственный.

8. Потапова, Л. Б. Механика материалов при сложном напряженном состоянии : как прогнозируют предел. напряжения? / Л. Б. Потапова, В. П. Ярцев. – Москва : Машиностроение-1, 2005. – 242 с. : ил., табл. – ISBN 5-94275-197-8. – Текст : непосредственный.

9. Марочник сталей и сплавов / составитель Ю. Г. Драгунов [и др.] ; под редакцией Ю. Г. Драгунова и А. С. Зубченко. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2015. – 1215 с. : табл. – ISBN 978-5-94275-788-5. – Текст : непосредственный.

10. СТО 17330282.27.140.005-2008. Гидротурбинные установки. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. – Москва : ЕЭС России, 2008. – 86 с. – Текст : непосредственный.

ANTONOV Anton Sergeevich[1,2], candidate of technical sciences, chief engineer for equipment and hydraulic structures; KARABLIN Nikita Pavlovich[1], chief engineer for turbine and hydro-mechanical equipment; FEDOSEEV Ivan Aleksandrovich[1], chief of the department of non-destructive inspection

STRESS-STRAIN STATE OF RUNNER CROSS HEAD METAL BY CHANGING PROJECT LOADS

[1]JSC «Design, survey and research institute «Hydroproject» named after. S. Y. Zhuka»-"Research institute of energy structures"
2, Volokolamskoe highway, Moscow, 125993, Russia. Tel.: +7 (495) 727-36-05;
e-mail:a.antonov@hydroproject.ru, n.karablin@hydroproject.ru, i.fedoseev@hydroproject.ru
[2]Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russia. Tel.: +7 (495) 781-80-07;
e-mail: Antonov.An.S@yandex.ru
Key words: turbine equipment, runner cross head, complex control of hydroelectric installation, defect, inspection, stress-strain state, computational research, technical condition, residual life.

In the article, using the example of a runner cross head metal the change in design load during the operation of a hydropower unit in the complex control of hydroelectric installation is shown and the recommended guidelines are proposed of non-destructive control and calculation of stress-strain state of residual life of the most critical equipment units during the operation in it to reduce economic damage of operation organization.

REFERENCES

1. STO RusHydro 02.02.060-2011. Gidroelektrostantsii. Tekhnicheskie i avtomatizirovannye sistemy. Usloviya postavki. Normy i trebovaniya [Hydropower stations. Engineering and mechanized systems. Term of delivery. Standards and requirements]. Moscow, RusHydro, 2011, 50 p.

2. STO RusHydro 07.01.063-2011. Gidroelektrostantsii. Usloviya predostavleniya produktsii (uslug). Normy i trebovaniya [Hydropower stations. Terms of service. Standards and requirements]. Moscow, RusHydro, 2011, 49 p.

3. Krivchenko G. I. Gidravlicheskie mashiny: Turbiny i nasosy [Hydraulic Machines: Turbines and Pumps] : uchebnik dlya vuzov. Moscow, Energiya, 1978, 320 p.

4. STO RusHydro 02.03.70-2011. Gidroturbiny. Obschie tekhnicheskie usloviya na kapitalny remont. Normy i trebovaniya [Turbines. Overhaul general specification. Standards and requirements]. Moscow, RusHydro, 2011, 70 p.

5. STO TsKTI 10.049-2013. Ustranenie defektov v litykh detalyakh energooborudovaniya s primeneniyem svarki bez posleduyuschey termicheskoy obrabotki [Elimination of defects in cast parts of power equipment using welding without subsequent heat treatment]. Saint-Petersburg, TsKTI, 2013, 32 p.

6. STO RusHydro 02.03.77-2015. Gidroelektrostantsii. Prodlenie sroka sluzhby osnovnogo oborudovaniya v protsesse ekspluatatsii. Normy i trebovaniya [Hydropower stations. Extending the service life of the main equipment during operation. Standards and requirements]. Moscow, RusHydro, 2017, 52 p.

7. STO 17330282.27.140.001 – 2006. Gidroelektrostantsii. Metodiki otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya osnovnogo oborudovaniya [Hydropower stations. Methods for assessing the technical condition of the main equipment]. Moscow, EES Rossii, 2006, 378 p.

8. Potapova L. B., Yartsev V. P. Mekhanika materialov pri slozhnom napryazhyonnom sostoyanii. Kak prognoziruyut predelnye napryazheniya? [Mechanics of materials in a complex stress state: how to predict the ultimate stress?]. Moscow, Mashinostroenie-1, 2005, 242 p.: il., tabl. – ISBN 5-94275-197-8.

9. Dragunov Yu G., Zubchenko A. S., et al. Marochnik staley i splavov [Steels and alloys grade]. – 4-e izd., pererab. i dop. Moscow, Mashinostroenie, 2015. 1215 p.: tabl. – ISBN 978-5-94275-788-5.

10. STO 17330282.27.140.005-2008. Gidroturbinnye ustanovki. Organizatsiya ekspluatatsii i tekhnicheskogo obsluzhivaniya. Normy i trebovaniya [Hydropower units. Organization of operation and maintenance. Standards and requirements]. Moscow, EES Rossii, 2008, 86 p.

© А. С. Антонов, Н. П. Караблин, И. А. Федосеев, 2022
Получено: 24.01.2022 г.

УДК 621.311.21 (470.341)

А. В. ФЕВРАЛЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры гидротехнических и транспортных сооружений

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЧАЛКОВСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ ПЬЯНЕ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

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: Ичалковская ГЭС, река Пьяна, срок окупаемости.

Приведены сведения об Ичалковской ГЭС и реке Пьяне; выполнены расчеты по определению параметров ГЭС; оценен срок окупаемости затрат в восстановление ГЭС.

Ичалковская ГЭС была построена в 1951 г., в 1960 гг. заброшена, восстановлена в 1994 г. (рис. 1). Параметры ГЭС составляли [1]: установленная мощность 250 кВт, среднегодовая выработка электроэнергии 1,2 млн кВт·ч/год, расчетный напор 2,7 м. В 2016 г. в ходе сильного половодья плотина ГЭС была разрушена, водохранилище опорожнено, станция выведена из эксплуатации и разграблена (рис. 2). Это фактически единственная ГЭС из примерно 150 существовавших на малых реках Горьковской (теперь Нижегородской) области, которую еще можно ввести в эксплуатацию.

Рис. 1. Ичалковская ГЭС после восстановления, 1994 г. Здание ГЭС

Ичалковская ГЭС может быть восстановлена в более современном виде, чем в 1994 г. Однако целесообразность восстановления требует оценки его эффективности. Эта оценка предлагается в настоящей статье. Оценка основывается на имеющихся данных, хотя реально необходимо обследование створа и оставшихся сооружений.

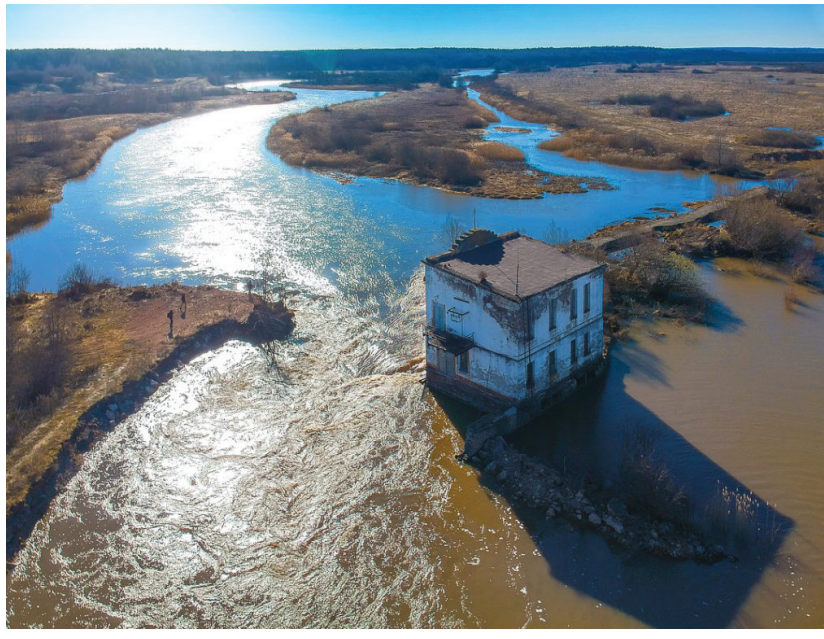


Рис. 2. Ичалковская ГЭС после разрушения плотины в 2016 г.

Река Пья́на − левый приток Суры. Устье реки находится в 116 км от устья Суры. Длина реки – 436 км, площадь бассейна – 8 060 км². Среднегодовой расход воды в устье – 25 м³/с.

Створ ГЭС располагается на расстоянии около 260 км от устья, площадь водосбора в створе примерно 3 500 км². При модуле стока, равном 4,7 л / (с· км²) [2], среднемноголетний расход воды в створе ГЭС составит $Q_{мн}$ = 16,5 м³/с, годовой сток – 520 млн м³. Распределение стока, принятое по [2], дано в табл. 1.

Таблица 1

Внутригодовое распределение стока реки Пьяны в створе ГЭС

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Проценты годового стока	2	1	5	76	5	2	2	1	1	1	2	2	100
млн м³	10,4	5,2	26	395,2	26	10,4	10,4	5,2	5,2	5,2	10,4	10,4	520
м³/с	3,9	2,2	9,7	152,5	9,7	4,0	3,9	1,9	2,0	1,9	4,0	3,9	16,5

Обоснование установленной мощности ГЭС выполнено по формуле [3]:

$$N_у = 9{,}81\eta Q_{мн}\mu_{расч}H_{расч}\text{, кВт,} \quad (1)$$

где η ≈ 0,8 – КПД ГЭС; $\mu_{расч}$ – модульный коэффициент, соответствующий оптимальному расчетному расходу, $\mu_{расч}$ = 0,35–0,65 в соответствии с [3]; $H_{расч}$ − расчетный напор, м.

Оптимальный расчетный расход для рассматриваемой территории составляет 0,4–0,65 среднемноголетнего расхода [3]. Расчетный напор определяется разностью уровней бьефов. Ичалковская ГЭС была создана по схеме так называемого руслового гидроузла, в котором уровень верхнего не превышает бровки берега, т. е. находится в пределах русла. При такой схеме пойма не затапливается, а сброс мак-

симальных расходов осуществлялся через набросную плотину и по пойме. Поэтому напор Ичалковской ГЭС составлял всего 2,7 м, что соответствует глубине русла.

Таким образом, установленная мощность будет:

$$N_у = 227 \text{ кВт}.$$

Русловая схема ГЭС имеет недостаток, заключающийся в том, что работа ГЭС обеспечивается только в межень. В половодье уровни бьефов практически сравниваются, и напор ГЭС становится равным нулю. Таким образом, сток половодья в производстве электроэнергии не участвует. Исходя из распределения в табл. 1, можно получить долю стока, используемую для выработки электроэнергии:

$$W_{исп} = 520 \cdot 10^6 - 395{,}2 \cdot 10^6 = 124{,}8 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

Выработка электроэнергии определяется зависимостью [4]:

$$Э_0 = \eta H_{расч} W_{исп}/367, \text{ кВт}\cdot, \quad (3)$$

где $H_{расч}$, м; $W_{исп}$, м^3.

При известных параметрах выработка электроэнергии составит

$$Э_0 = 0{,}75 \cdot 10^6 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год}.$$

На ГЭС предполагается установка двух агрегатов «МНТО ИНСЭТ» (г. Санкт-Петербург) [5]. При этом конструкция здания ГЭС может быть, как на рис. 3.

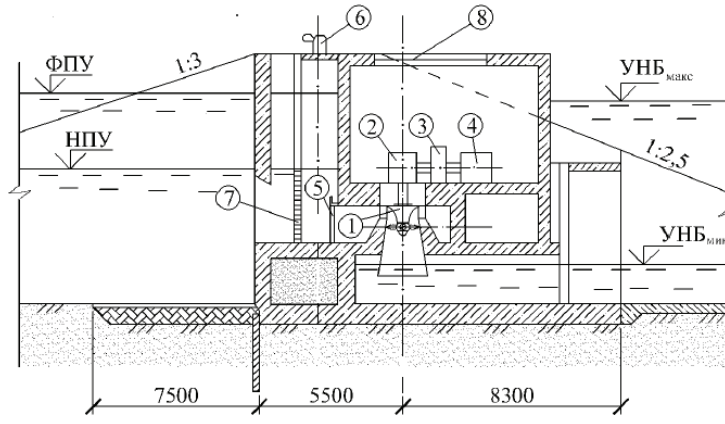


Рис. 3. Схема здания Ичалковской ГЭС: *1* – гидротурбина Пр10-120; *2* – мультипликатор; *3* –противоразгонное устройство; *4* – гидрогенератор; *5* – оперативный затвор; *6* – привод оперативного затвора; *7* – сороудерживающая решетка; *8* – герметичная крышка люка

Оценка эффективности восстановления Ичалковской ГЭС может быть выполнена по формуле [4]:

$$T_{ОК} = K/(Ф - И), \quad (4)$$

где Ф – годовой экономический результат; K – первоначальные затраты; И – годовые текущие затраты; $T_{ОК}$ – срок окупаемости.

Эффективность обеспечивается, если вычисленный срок окупаемости не превысит приемлемый для инвестора срок.

Экономическим результатом эксплуатации ГЭС в данном случае является снижение затрат инвестора ГЭС на приобретение электроэнергии из сетей Нижновэнерго; при этом экономический результат выражается как:

$$Ф = ц_Э Э_0, \quad (5)$$

где $ц_Э$ – тариф на электроэнергию.

Текущие затраты определяются в виде доли первоначальных затрат:

$$И = \alpha K, \quad (6)$$

здесь $\alpha = 0{,}02$ год$^{-1}$ [4].

Первоначальные затраты определены по аналогам. В результате получена величина первоначальных затрат в ценах 2021 г. в размере $K = 47{,}4$ млн руб.

Результаты расчета срока окупаемости даны в табл. 2.

Таблица 2

Срок окупаемости восстановления Ичалковской ГЭС

Тариф на электроэнергию, руб./(кВт·ч)	Выработка электроэнергии, млн кВт·ч/год	Экономический результат, млн руб./год	Текущие затраты, млн руб./год	Первоначальные затраты, млн руб.	Срок окупаемости, годы
3,98	0,75	2,985	0,948	47,4	23,3

Как следует из табл. 2, срок окупаемости довольно большой, что ставит под сомнение целесообразность восстановления Ичалковской ГЭС. Большой срок окупаемости объясняется значительными первоначальными затратами. Последние оценены по аналогам и поэтому достаточно приближенные. В дальнейшем следует провести проектные проработки по снижению этих затрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Февралев, А. В. Перспективы малой гидроэнергетики в Нижегородской области / Февралев А. В. // Электрические станции, 1996. № 5. – С. 30–34.

2. Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги [Электронный ресурс] / Коллектив авторов под редакцией Георгиевского В. Ю. − Ливны: Издатель Мухаметов Г. В., 2015.

3. Кузнецов, Н. К. Сельскохозяйственные гидроэлектростанции / Н. К. Кузнецов, А. Н. Златковский. – Москва: Сельхозгиз, 1948. – 316 с.

4. Соболь, С. В. Использование водной энергии малых рек: монография / С. В. Соболь, А. В. Февралев. – Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. – 284 с.

5. Молодежный научный форум: общественные и экономические науки. Электронный сборник статей по материалам XXXV студенческой международной заочной научно-практической конференции № 6 (35), Июнь 2016 г. http://www.inset.ru/r/obor.htm.

FEVRALYOV Arkady Valentinovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of hydraulic and transport structures

ON THE EXPEDIENCY OF RESTORING THE ICHALKOVSKAYA HYDROELECTRIC POWER STATION ON THE PYANA RIVER IN THE NIZHNY NOVGOROD REGION

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: Ichalkovskaya HPP, Pyane River, payback period.

Information about Ichalkovskaya HPP and the Piana River is given; calculations were made to determine the parameters of the HPP; the payback period of expenses for the restoration of the hydroelectric power plant is estimated.

REFERENCES

1. Fevralyov A. V. Perspektivy maloy gidroenergetiki v Nizhegorodskoy oblasti [Prospects for small hydropower in the Nizhny Novgorod region] // Elektricheskie stantsii [Power Technology and Engineering]. 1996, № 5. – P. 30–34.

2. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki rek basseyna Verkhney Volgi [Main hydrological characteristics of the rivers of the Upper Volga basin] : nauchno-prikladnoy spravochnik / pod redaktsiey Georgievskogo V. Yu. – Livny: Izdatel Mukhametov G. V., 2015. 129 p.

3. Kuznetsov N. K, Zlatkovskiy A. N. Selskokhozyaystvennye gidroelektrostantsii [Agricultural hydroelectric power plants]. Moscow: Selkhozgiz, 1948. – 316 p.

4. Sobol S. V., Fevralyov A. V. Ispolzovanie vodnoy energii malykh rek [Use of water energy of small rivers]: monografiya. – Nizhegorod. gos. arkhit.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2009, 284 p. – ISBN 978-5-87941-631-2.

5. Obschestvennye i ekonomicheskie nauki [Public and economic sciences] Studencheskiy nauchny forum: sbornik statey po materialam XXXV studench. mezhdunar. zaochnoy nauchno-praktich. konferentsii, iyun 2016 g. 2016. № 6 (35). – URL: http://www.inset.ru/r/obor.htm (data obrascheniya 20.10.2021).

© А. В. Февралев, 2022

Получено: 28.12.2021 г.

УДК 628.385

Э. Р. МИХЕЕВА[1], канд. биол. наук, науч. сотр. лаборатории ресурсосберегающих биотехнологий; И. В. КАТРАЕВА[2], канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; Д. Л. ВОРОЖЦОВ[1], канд. хим. наук, науч. сотр. лаборатории ресурсосберегающих биотехнологий

АНАЭРОБНАЯ ПЕРЕРАБОТКА МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ С ПОЛУЧЕНИЕМ МЕТАНОВОДОРОДНОГО БИОГАЗА (БИОГИТАНА)

[1]ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского»
Россия, 603022, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, д. 23. Тел.: (831) 462-31-47; факс: (831) 462-31-47; эл. почта: biomikheeva@gmail.com
[2]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-87; факс: (831) 280-84-01; эл. почта: eco-nngasu@yandex.ru; lab4-5@mail.ru
Ключевые слова: двухступенчатая анаэробная ферментация, непрерывный процесс, метановодородный биогаз, биогитан, молочная сыворотка.

Представлены результаты исследования по переработке молочной сыворотки путем двухступенчатой анаэробной ферментации с получением метановодородного биогаза (биогитана). Процесс проводился при мезофильно-термофильных условиях. Суммарная эффективность снижения ХПК: при двухступенчатой анаэробной ферментации молочной сыворотки составила 99,5 %: на стадии мезофильного кислотогенеза – 13,2 %, а на стадии термофильного метаногенеза – 86,3 %. Общий энергетический выход метановодородного биогаза составил 73,73 кДж/л•сутки, или 6,49 кДж/г ХПК при гидравлическом времени удержания в кислотогенном реакторе 8 часов и 2 суток в метаногенном реакторе. Предварительная термическая обработка (90 °С, 30 мин) мезофильного инокулята кислотогенного реактора не обеспечила полноценную инактивацию метаногенов в инокуляте.

Чрезвычайно опасным является поступление в водные объекты недостаточно очищенных сточных вод, образующихся при производстве творога, твердых сыров, казеина, так как технология их производства связана с образованием высококонцентрированного жидкого отхода – молочной сыворотки (МС), которая зачастую сбрасывается на предприятиях в систему канализации, что приводит к резкому возрастанию концентрации органических веществ в сточной воде и снижению pH до 4,5 [1]. Ежегодное производство молока в России составляет более 30 млн т, при этом удельное образование МС оценивается в 0,8-0,9 л на литр переработанного молока [2–4].

Благодаря высокому содержанию лактозы (45–50 г/л), белков (6–8 г/л), липидов (4–5 г/л), а также входящих в состав молока макро- и микроэлементов, водо- и жирорастворимых витаминов, МС можно использовать в качестве недорогого сырья для производства биотоплива, в частности метановодородного биогаза (биогитана) путем анаэробной ферментации [5].

Метан уже широко используется в промышленности и на транспорте, тогда как использование водорода в качестве возобновляемого и устойчивого топлива все еще находится в стадии разработки, в основном из-за дорогостоящего разделения,

очистки, хранения и транспортировки [6–7]. Таким образом, интересным и перспективным является сочетание преимуществ H_2 и CH_4. Эта смесь называется гитаном (содержание H_2 от 10 до 25 %) и считается одной из основных альтернатив ископаемому топливу для современных практических применений [5–7].

Целью работы было получение метановодородного биогаза (биогитана) из молочной сыворотки методом двухступенчатого анаэробного сбраживания.

Материалы и методы

Нативная МС от производства творога была взята на одном из молокозаводов Нижегородской области. Ее физико-химические свойства представлены в работе Михеевой Э. Р. и соавт. [7]. Для экспериментов использовали МС с $ХПК_{исх}$ = 9 200 мг/л.

Автоматизированная установка (рис. 1) включала два аппарата из полипропилена, имеющих рабочий объем жидкости 900 мл. Аппараты работали как затопленные биофильтры со скоростью восходящего потока жидкости 3 м/ч, которая создавалась с помощью насоса рециркуляции. В качестве загрузочного материала, размещенного на полиэтиленовой сетке, были использованы кусочки полиуретановой пены размером 0,9×0,9×0,9 см. Кислотогенный аппарат (RH) работал при мезофильных условиях (37±1) °С с гидравлическим временем удержания (ГВУ) 10 ч, метаногенный реактор (RM) – в термофильном режиме (55±1) °С с ГВУ 2 суток. Для RH был использован инокулят из анаэробного реактора, в котором проводился процесс непрерывного темнового анаэробного сбраживания МС, инактивацию метаногенов проводили термически (90 °С, 30 мин). В RM был загружен инокулят из анаэробного аппарата, в котором шел процесс анаэробного сбраживания комбикорма в термофильном режиме.

Объемное производство биогаза в реакторах измеряли счетчиками газа *MilliGascupper* (*Ritter*, Германия). Определение газового состава H_2, CO_2 и CH_4 проводили методом газовой хроматографии (*Shimadzu GC*-2010), содержание ХПК – арбитражным методом, для определения pH использовался pH-метр *WTW pH* 3110 *SET*.

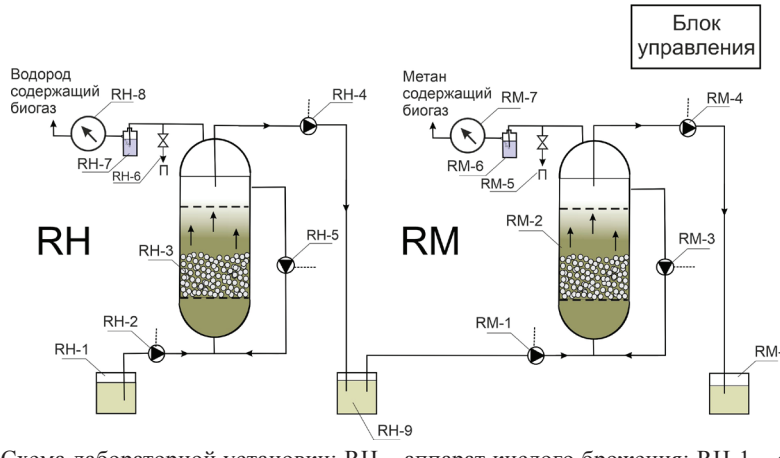


Рис. 1. Схема лабораторной установки: RH – аппарат кислого брожения: RH-1 – емкость с исходным субстратом; RH-2 – насос подачи субстрата; RH-3 – корпус аппарата с загрузочным материалом; RH-4 – насос откачки сброженного субстрата; RH-5 – насос рециркуляции; RH-6 – пробоотборник биогаза; RH-7 – гидрозатвор; RH-8 – счетчик биогаза; RH-9 – емкость сброженного субстрата после кислого брожения; RM – аппарат метанового брожения: RM-1 – насос подачи субстрата; RM-2 – корпус аппарата с загрузочным материалом; RM-3 – насос рециркуляции; RM-4 – насос откачки сброженного субстрата; RM-5 – пробоотборник биогаза; RM-6 – гидрозатвор; RM-7 – счетчик биогаза; RM-8 – емкость сброженного субстрата после метанового брожения

Результаты и их обсуждение

В течение первых 5 суток (период адаптации реактора) протекания процесса анаэробного сбраживания в реакторе RH наблюдали снижение скорости образования биогаза и, соответственно, скорости образования водорода (рис. 2). На 6-е сутки эксперимента в составе биогаза было выявлено 12 об% метана, несмотря на то что предварительно была проведена термическая инактивация метаногенов в инокуляте. За счет резкого кратковременного увеличения нагрузки на аппарат (ГВУ 6 ч) удалось быстро снизить содержание метана в биогазе, на 10-е сутки его количество составило 4 об%. Состав биогаза в процессе анаэробного сбраживания в кислотогенном аппарате RH был следующим: 25–31 об% водорода, 69–75 об% углекислого газа, 0–12 % метана.

В период адаптации реактора к подаваемому субстрату в первые 3 суток значение pH постепенно снижалось с 5,60 до 5,32, затем оно поднялось и оставалось на уровне 5,75–5,83. В период резкого подъема нагрузки на реактор RH pH снизилось до минимального значения 4,21, затем увеличилось и стабилизировалось в дальнейшем на уровне 5,65±0,05.

На стадии кислого брожения в реакторе RH средняя скорость образования водорода составляла 786 мл/л·сутки, выход водорода 35 мл/г ХПК, а его содержание в составе биогаза составило в среднем 28,6 %. Значение ХПК на данной ступени снизилось на 13,2 %.

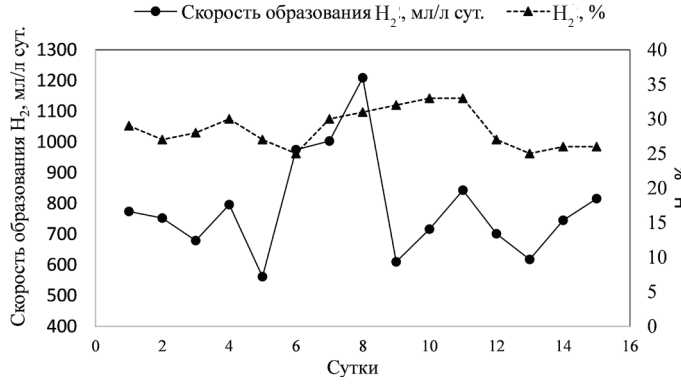


Рис. 2. Скорость образования водорода (мл H_2/л сутки) в реакторе кислого брожения RH и его содержание в биогазе (%)

Процесс метанового брожения (вторая ступень процесса анаэробной ферментации) проводили в реакторе RM с ГВУ 2 суток, в который подавался сброженный субстрат после RH аппарата с ХПК = 8 200 мг/л, нагрузка составляла 4,1 кг ХПК/м^3·сутки. Процесс метанообразования был стабильным, среднее значение pH составляло 8,68, содержание метана в биогазе 74,5 % (рис. 3). Скорость метанообразования постепенно увеличивалась и стабилизировалась на уровне 1 560 мл CH_4/л·сутки. Эффективность удаления ХПК на второй ступени составила 86,3 %.

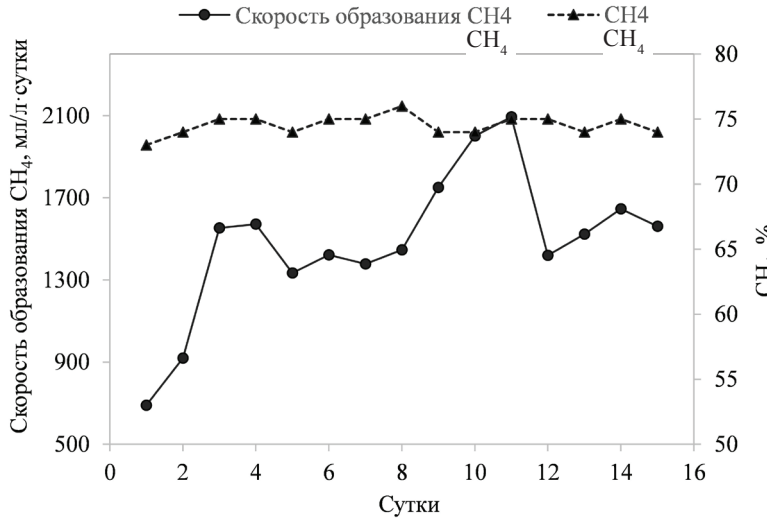


Рис. 3. Скорость образования метана (мл CH_4/л сутки) в реакторе метанового брожения RM и его содержание в биогазе (%)

Таким образом, в результате проведенного эксперимента суммарная эффективность снижения ХПК в процессе двухступенчатой анаэробной ферментации молочной сыворотки составила 99,5 %. Общий энергетический выход метановодородного биогаза составил 73,73 кДж/л·сутки, или 6,49 кДж/г ХПК.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-79-10153).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матейко, Н. В. Анализ сточных вод молочной отрасли / Н. В. Матейко. – Текст : непосредственный // Репозиторий БНТУ. – 2017. – С. 155–160.

2. Очистка сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности / С. М. Шифрин, П. В. Иванов, Б. Г. Мишуков, Ю. А. Феофанов. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 272 с. – Текст : непосредственный.

3. Свириденко, Ю. Я. Использование молочной сыворотки и локальная очистка стоков / Ю. Я. Свириденко, Э. Ф. Кравченко, О. А. Яковлева. – Текст : непосредственный // Молочная промышленность. – 2008. – № 11. – С. 58–60.

4. Сакаш, Г. В. Очистка сточных вод предприятий по переработке молока / Г. В. Сакаш, А. Ф. Колова, Т. Я. Пазенко. – Текст : непосредственный // Вестник Красноярского университета. – 2016. – № 8. – С. 97–102.

5. Controlling methane and hydrogen production from cheese whey in an EGSB reactor by changing the HRT / Ramos L. R., Menezes C. A., Soares L. A., Sakamoto I. K., Amâncio Varesche M. B., Silva E. L. // Bioprocess and Biosystems Engineering. – 2019. – doi.org/10.1007/s00449-019-02265-9.

6. States and challenges for high-value biohythane production from waste biomass by dark fermentation technology / Liu Z, Zhang C, Lu Y, Wu X, Wang L, Wang L, Han B, Xing X. H. // Bioresours Technol. – 2013. – № 135. – P. 292–303.

7. The Start-Up of Continuous Biohydrogen Production from Cheese Whey: Comparison of Inoculum Pretreatment Methods and Reactors with Moving and Fixed Polyurethane Carriers/ Mikheeva E. R., Katraeva I. V., Kovalev A. A., Kovalev D. A., Nozhevnikova A. N.,

Panchenko V., Ugo Fiore, Litti Y. V. // Appl. Sci. – 2021. – № 11(2). – P. 510. – https://doi.org/10.3390/app11020510.

MIKHEEVA Elza Ravilevna[1], candidate of biological sciences, researcher, laboratory of resource-saving biotechnologies; KATRAEVA Inna Valentinovna[2], candidate of technical sciences, associate professor of the chair of water supply, sewage, engineering ecology and chemistry; VOROZHTSOV Dmitry Leonidovich[1], candidate of chemical sciences, researcher, laboratory of resource-saving biotechnologies

ANAEROBIC DIGESTION OF MILK WHEY FOR METHANE-HYDROGEN BIOGAS (BIOHYTHANE) PRODUCTION

[1]Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
23, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603022, Russia. Tel.: +7 (831) 462-31-47; fax: +7 (831) 462-31-47; e-mail: biomikheeva@gmail.com
[2]Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-87; fax: +7 (831) 280-84-01; e-mail: eco-nngasu@yandex.ru; lab4-5@mail.ru
Key words: two-step anaerobic digestion, continuous process, methane-hydrogen biogas, biohythane, milk whey.

The article presents the results of a study on the processing of whey by two-stage anaerobic fermentation with the production of methane-hydrogen biogas (biohythane). The process was carried out under mesophilic-thermophilic conditions. The total efficiency of COD reduction during two-stage anaerobic fermentation of whey was 99,5 %: at the stage of mesophilic acidogenesis – 13,2 %, and at the stage of thermophilic methanogenesis – 86,3 %. The total energy yield of methane-hydrogen biogas was 73,73 kJ/l•day, or 6,49 kJ/g COD, with a hydraulic retention time in the acid reactor of 8 hours and 2 days in the methanogenic reactor. Preliminary heat treatment (90 °C, 30 min) of the mesophilic inoculum of the acidogenic reactor did not provide complete inactivation of methanogens in the inoculum.

REFERENCES

1. Mateyko N. V. Analiz stochnykh vod molochnoy otrasli [Dairy Wastewater Analysis] // Repozitoriy BNTU (Belorus. nats. tekhnich. un-t) [BNTU repository]. – 2017. – P. 155–160.

2. Shifrin S. M., Ivanov P. V., Mishukov B. G., Feofanov Yu. A. Ochistka stochnykh vod predpriyatiy myasnoy i molochnoy promyshlennosti [Wastewater treatment for meat and dairy industries]. – Moscow: Lyogkaya i pischevaya promyshlennost, 1981, 272 p.

3. Sviridenko Yu. Ya., Kravchenko E. F., Yakovleva O. A. Ispolzovanie molochnoy syvorotki i lokalnaya ochistka stokov [Use of whey and local wastewater treatment] // Molochnaya promyshlennost [Dairy industry]. – 2008. – № 11. – P. 58–60.

4. Sakash G. V., Kolova A. F., Pazenko T. Ya. Ochistka stochnykh vod predpriyatiy po pererabotke moloka [Wastewater treatment of milk processing enterprises] // Vestnik Krasnoyarskogo Universiteta [Bulletin of the Krasnoyarsk University]. – 2016. – № 8. – P. 97–102.

5. Ramos L. R., Menezes C. A., Soares L. A., Sakamoto I. K., Amâncio Varesche M. B., Silva E. L. Controlling methane and hydrogen production from cheese whey in an EGSB reactor by changing the HRT / Bioprocess and Biosystems Engineering. 2019. doi.org/10.1007/s00449-019-02265-9.

6. Liu Z., Zhang C., Lu Y., Wu X., Wang L., Wang L., Han B., Xing X. H. States and challenges for high-value biohythane production from waste biomass by dark fermentation technology / Bioresours Technol. 2013. 135. – P. 292–303.

7. Mikheeva E. R., Katraeva I. V., Kovalev A. A., Kovalev D. A., Nozhevnikova A. N., Panchenko V., Ugo Fiore, Litti Y. V. The Start-Up of Continuous Biohydrogen Production from Cheese Whey: Comparison of Inoculum Pretreatment Methods and Reactors with Moving and Fixed Polyurethane Carriers / Appl. Sci. 2021, 11(2), P. 510; https://doi.org/10.3390/app11020510.

© Э. Р. Михеева, И. В. Катраева, Д. Л. Ворожцов, 2022
Получено: 24.01.2022 г.

УДК 72.01

А. А. ЯКОВЛЕВ, д-р архитектуры, проф. кафедры архитектурного проектирования; А. В. ЗАХАРЧУК, соискатель уч. степени канд. архитектуры кафедры архитектурного проектирования

ФОРМИРОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ ОБ ИДЕЕ ЗАИМСТВОВАНИЯ ПРИРОДНОГО АНАЛОГА В АРХИТЕКТУРЕ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: oootma@inbox.ru; angelazaharchuk@gmail.com
Ключевые слова: обзор литературы, природный аналог, теоретическая база знаний, архитектурное проектирование, теория и история архитектуры.

Представлен аналитический обзор литературы, который включает в себя основные знания и понятия, причины и следствия научного исследования, тем самым создавая необходимые направленности в области исследуемой деятельности; существующий практический и научный опыт, на реальных и концептуальных примерах.

Введение

Для выявления предпосылок формирования явления «природной» архитектуры и развития идеи природного аналога в архитектурном творчестве в статье предложен анализ научной литературы в четырех основных направлениях: роль концепций и развитие концептуальной архитектуры; основы теории становления и развития науки бионики, ее взаимосвязи с архитектурой и роль в архитектурном процессе, изучение терминологии и основных понятий, обзор авторских теорий, концепций и идей, тенденций и направлений в архитектуре, основанных на идее природы (бионики, органики); трактовки и определения природы в архитектуре, идея природы в архитектурном творчестве; методики исследования, нацеленные на изучение творческих концепций с целью анализа, заключений, обоснований опыта.

Научно-теоретические основы изучения концепций, реализующих идею природного аналога в архитектуре

Первое направление – роль концепций и развитие концептуальной архитектуры. В работах с разных сторон исследуется проблема развития теоретического мышления архитекторов в концептуальном творчестве, идеи заимствования природного аналога как научного явления. Тема концепций, анализ авторских концепций и идей архитектурно-художественного синтеза, принципы и аналогии (прототипы) в развитии архитектурной идеи, эстетические теории современности в концепциях под лозунгом «навстречу природе», с изучением культурных, эстетических, художественных и других аспектов отражены в научных трудах авторов Раппапорта А. Г., Дуцева М. В., Курбатовой Н. В., Вытулаевой К. О., Темниковой О. А., Бурлакова К. В., Заславской А. Ю. [1–5].

Становление концептуальной архитектуры России Коротич А. В. связывает с такими архитекторами как В. Татлин, И. Леонидов, К. Мельников, Н. Ладовский, В. Кринский и наряду с этим приводит понятие «архитектор-концептуалист» как личность, «обладающую ярко выраженным формотворческим талантом».

Кроме этого, приводит существенное отличие архитектурной деятельности как процесс «от идеи до ее реализации», разделяя творческие концепты на два уровня: общетеоретический и практический [6].

Иконников А. В. рассматривает развитие утопий и их воздействие на архитектуру от античности до XX столетия, использует такие формулировки как *«архитектурная утопия или фантазия»,* которая в 80-х годах прошлого века в России приобретает новое направление *«бумажной или концептуальной архитектуры»,* «создававшей свои парадоксальные образы на основе фантастических допущений в использовании специфических средств архитектуры» [7].

У Добрициной И. А. «*...в концептуальной сфере тяготеет архитектура, усваивающая интерпретационный способ мышления...*», используются такие понятия как *«концепция архитектурной критики», «философская концепция архитектуры», «концептуальные проекты и постройки», «концепции автоматизации архитектурной формы»*, характеризуя тем самым поворот архитектурного мышления под влиянием развития философии, науки и техники в XX веке [8].

Второе направление – основы теории становления и развития науки бионики, ее взаимосвязи с архитектурой и роль в архитектурном процессе.

Научные интересы профессора Г. Е. Кричевского в работе «Бионика, учимся мудрости у природы» – использование биоматериалов и биомиметика. По его определению: «биомиметика базируется на самоорганизации в процессе роста организмов с целью формирования специфических функций за счет сложных, разнообразных структур» [9].

В науке важную роль занимают труды об «архитектурной бионике» Ю. С. Лебедева как исчерпывающее научное объяснение значимости бионики в архитектуре, инженерии, а также оправдывает появление таких направлений, как «техническая бионика», «архитектурно-строительная бионика» с приведением примеров и фактических данных, исторических предпосылок, результатов экспериментального проектирования [10].

Наряду с анализом практики, раскрывается смысл, содержание и методологические стороны новой науки, бионики, по определению Лебедева, системы научных знаний, соединяющей научно-исследовательскую часть с одновременным исполнением практического замысла, не только выводящей законы, но и одновременно выражающей их в конкретной материальной форме, рассматриваются возможности живой природы в решении проблем формообразования, тектоники и конструктивного, технического обеспечения, красоты и гармонии архитектурных форм, большое внимание уделяется синтезу архитектуры и живого природного окружения, открывающему путь к сохранению природы и организации оптимальной среды существования человека.

В работе Сапрыкиной Н. А. о теории формообразования в архитектуре, в сравнении статики и динамики, рассматриваются современные тенденции в развитии архитектурной формы и ее изменяемость относительно искусственной среды обитания; архитектура рассматривается как живой организм, «чутко реагирующий на потребности людей»; определены понятия: *«бионическая архитектура»* как «бионическое освоение формы архитектурных объектов на основе принципов живой природы»; *«архитектурная бионика»* – наука, синтезирующая научно-исследовательскую и практическую деятельность, которая использует принципы организации живой природы при создании искусственной среды обитания» [11, с. 15].

В работе Денисенко Е. В. приводятся такие характеристики, как *«идеи «единства», «согласованности», «корреляции» и «интеграции»,* которые используются для выражения организованных отношений между частями биологического организма, а комплексными критериями вычленяется *рост и развитие* как отражение живой природности применяемых в архитектуре элементов: *трансформация и модульность* организации архитектурного объекта [12, с. 9–13]. В работе Гридюшко А. Д. предлагается наиболее полное исследование единства подходов к развитию природной и архитектурной сред, изучен и систематизирован опыт проектирования и строительства объектов и планировочных структур с применением БМ (биомиметических принципов) проектирования, в числе которых: *«адаптация, открытость, вариативность, минимизация информации, устойчивость, формирование мезопространства, историчность, взаимосвязь компонентов, рост»* [13, с. 17].

Третье направление – трактовки и определения природы в архитектуре, идея природы в архитектурном творчестве. Изучение литературы автобиографического характера позволит систематизировать полученную информацию по теме исследования в полной мере, провести объективную оценку и создать обобщенную структуру благодаря текстовым, графическим, видео- и аудиоматериалам, а также позволит выявить механизмы развития авторского мышления архитекторов. Для этого проводится сравнение концепций А. Гауди, Ф. Л. Райт, А. Аалто, П. Солери, С. Калатрава, З. Хадид, В. Каллебо, архитекторов Асадовых и др., включая проекты и их историю, особенности и основные характеристики (архитектурные, конструктивные, градостроительные и др.).

Четвертое направление – методология представления механизмов реализации авторской концепции и системного анализа в исследовании творческих концепций.

В работах Шипициной О. А, Гудковой Т. В. Репиной Е. А., Янковской Ю. С. изучены методики исследования архитектурной мысли, выраженной в тексте. Рассмотрены вопросы выявления концептуальной архитектурной мысли в архитектурном объекте, а также уровни ее развития; перечислены основные задачи при освоении творческого метода архитектора: мировоззренческие, творческие, профессионально-ориентирующие, научно-теоретические; изучены разнообразия возможных методов и приемов творческой работы, используемых архитектором; сформулированы категории спонтанности в архитектурном проектировании; изучены концепции и методы, учитывающие эту категорию в проектной практике современной архитектуры; проведена классификация творческих методов, выполнена их адаптация к учебному архитектурному творческому процессу и предложена их систематизация [14, 15].

Выводы

1. В контексте архитектурной теории и практики часто изучаемы возможности потенциала современного архитектурного творчества, базирующиеся на оригинальности и уникальности структуры природной формы, однако, концепции рассматриваются либо с точки зрения современных направлений в архитектуре, либо связаны с творчеством отдельных архитекторов, поэтому представляется интересным изучение концепций с позиции выявления аспектов, влияющих на эволюцию архитектурной идеи (мысли), что позволит определить способы реализации архитектурного замысла в рамках исследуемой темы.

2. Темы бионики и архитектурной бионики сформулированы достаточно четко, однако, часто исследования базируются на изучении формы, законов формообразования, морфологии, формообразующих принципах и подходах,

основанных на заимствовании природных аналогов (образцов живой и неживой природы), тогда как область концептуализма как содержания и развития творческой мысли остается неосвещенной или освещается частично с точки зрения культуры, истории, философии.

3. Обзор научных публикаций как отечественных, так и зарубежных говорит о несомненном интересе к исследуемой теме, что способствует появлению новых научных направлений в концепциях архитекторов и развития архитектурно-инженерной мысли, поэтому представляется обоснованным выявление общей идеи использования природного аналога в творческих концепциях архитекторов конца XIX – начала XXI веков, с целью попытки обобщения схожих направлений в архитектуре на разных этапах развития.

БИБЛИОГРАФИЧСЕКИЙ СПИСОК

1. Бурлаков, К. В. Особенности топологического формообразования в архитектуре рубежа XX–XXI веков : 05.23.20 : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Бурлаков Константин Витальевич. – Самара, 2011. – 133 с. – Текст : непосредственный.

2. Вытулаева, К. О. Пространственные эксперименты в новейшей архитектуре : 17.00.04 : диссертация на соискание кандидата исскуствоведения / Вытулева Ксения Олеговна.– Москва, 2010. – 243 с. – Текст : непосредственный.

3. Дуцев, М. В. Концепция художественной интеграции в новейшей архитектуре : 05.23.20 : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Дуцев Михаил Викторович. – Нижний Новгород, 2014. – 642 с. – Текст : непосредственный.

4. Заславская, А. Ю. Особенности органического подхода в архитектуре конца XX – начала XXI века : 18.00.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Заславская Анна Юрьевна. – Нижний Новгород, 2008. – 191 с. – Текст : непосредственный

5. Раппапорт, А. Г. Наследие архитектурной мысли / А. Г. Раппапорт. – Текст : электронный // Электронная библиотека «Архи.ру». – URL: https://archi.ru/lib/publication.html?id=1850569412&fl=5&sl=1 (дата обращения: 05.12.2021).

6. Коротич, А. В. Актуальные проблемы современной концептуальной архитектуры России / А. В. Коротич. – Текст : непосредственный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2012. – № 1. – С. 49–53.

7. Иконников, А. В. Утопическое мышление и архитектура / А. В. Иконников. – Москва : Архитектура С, 2004. – 400 с. – ISBN 5-9647-0010-1. – Текст : непосредственный.

8. Добрицына, И. А. От постмодернизма – к нелинейной архитектуре: Архитектура в контексте современной философии и науки / И. А. Добрицына, – Москва : Прогресс-традиция, 2004. – 416 с. – ISBN 5-89826-178-8. – Текст : непосредственный.

9. Кричевский, Г. Е. Бионика, учимся мудрости у природы : учебное пособие / Г. Е. Кричевский. – Москва : Сам полиграфист, 2015. – 151 с. – (Красота в природе и технике спасёт мир?!).– ISBN 978-5-00077-271-3 – Текст : непосредственный.

10. Лебедев, Ю. С. Архитектурная бионика / Ю. С. Лебедев. – Москва : Стройиздат, 1990. – 270 с. – Текст : непосредственный.

11. Сапрыкина, Н. А. Основы динамического формообразования в архитектуре : учебник для вузов / Н. А. Сапрыкина. – Москва : Архитектура-С, 2005. – 312 с. – (Специальность «Архитектура»). – ISBN 5-9647-0042-X. – Текст : непосредственный.

12. Денисенко, Е. В. Принципы формирования архитектурного пространства на основе биоподходов : 05.23.20 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Денисенко Елена Владимировна. – Казань, 2013. – 24 с. – Текст : непосредственный

13. Гридюшко, А. Д. Биомиметические принципы в архитектурном проектировании : 05.23.21 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры /

Гридюшко Анна Дмитриевна ; Московский архитектурный институт. – Москва, 2013. – 35 с. – Текст : непосредственный.

14. Шипицына, О. А. Архитектуроведение и архитектурная критика : учебное пособие / О. А. Шипицына. – 2-е изд., испр. и доп. – Екатеринбург : Архитектон, 2012. – 336 с. – ISBN 5-7408-0037-4. – Текст : непосредственный.

15. Янковская, Ю. С. Обыденное и профессиональное мышление в архитектурно-композиционном процессе : 18.00.02 : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Янковская Юлия Сергеевна. – Екатеринбург, 2000. – 159 с. – Текст : непосредственный.

YAKOVLEV Andrey Aleksandrovich, doctor of architecture, professor of the chair of architectural design; ZAKHARCHUK Anzhela Vladimirovna, applicant for the candidate of architecture title of the chair of architectural design

SCIENTIFIC AND THEORETICAL KNOWLEDGE BASE ABOUT THE IDEA OF NATURAL ANALOGUE IN ARCHITECTURE

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83; e-mail: oootma@inbox.ru; angelazaharchuk@gmail.com
Key words: literature review, natural analogue, theoretical knowledge base, architectural design, theory and history of architecture.

The article presents an analytical review of literature, which includes basic knowledge and concepts, causes and consequences of scientific research, thereby creating the necessary directions in the field of the investigated activity; existing practical and scientific experience, based on real and conceptual examples.

REFERENCES

1. Burlakov K. V. Osobennosti topologicheskogo formoobrazovaniya v arkhitekture rubezha XX–XXI vekov [Features of topological shaping in architecture at the turn of the XX–XXI centuries]: 05.23.20 : diss...kand. arkh. – Samara. – 2011. – 133 p.

2. Vytulaeva K. O. Prostranstvennye eksperimenty v noveyshey arkhitekture [Spatial experiments in the latest architecture]: 17.00.04 : diss...kand. isskust. – Moscow. – 2010. – 243 p.

3. Dutsev M. V. Kontseptsiya khudozhestvennoy integratsii v noveyshey arkhitekture [The concept of artistic integration in the latest architecture]: 05.23.20 : diss…kand. arkh. – Nizhny Novgorod. – 2014. – 642 p.

4. Zaslavskaya A. Yu. Osobennosti organicheskogo podkhoda v arkhitekture kontsa XX – nachala XXI veka [Features of the organic approach in architecture of the late XX – early XXI century]: 18.00.01: dis...kand. arkh. – Nizhny Novgorod. – 2008. – 191 p.

5. Rappaport A. G. Nasledie arkhitekturnoy mysli [The heritage of architectural thought] // Elektronnaya biblioteka “Arkhi.ru” – URL: https://archi.ru/lib/publication.html?id=1850569412&fl=5&sl=1 (data obrascheniya: 05.12.2021).

6. Korotich A. V. Aktualnye problemy sovremennoy kontseptualnoy arkhitektury Rossii [Actual problems of modern conceptual architecture of Russia] // Akademicheskiy vestnik UralNIIproekt RAASN. – 2012. – № 1. – P. 49–53.

7. Ikonnikov A. V. Utopicheskoe myshlenie i arkhitektura [Utopian thinking and architecture] / Moscow: Arkhitektura S, 2004. – 400 p. – ISBN 5-9647-0010-1.

8. Dobritsyna I. A. Ot postmodernizma – k nelineynoy arkhitekture: Arkhitektura v kontekste sovremennoy filosofii i nauki [From Postmodernism to Nonlinear Architecture: Architecture in the Context of Contemporary Philosophy and Science]. – Moscow : Progress-

traditsiya, 2004. – 416 p. – ISBN 5-89826-178-8.

9. Krichevsky G. E. Bionika, uchimsya mudrosti u prirody [Bionics, learning wisdom from nature]: uchebnoe posobie. – Moscow : Sam poligrafist, 2015. – 151 p. – (Krasota v prirode i tekhnike spasyot mir?!). – ISBN 978-5-00077-271-3.

10. Lebedev Yu. S. Arkhitekturnaya bionika [Architectural bionics] / Moscow: Stroyizdat, 1990. – 270 p.

11. Saprykina N. A. Osnovy dinamicheskogo formoobrazovaniya v arkhitekture [Fundamentals of Dynamic Shaping in Architecture]: uchebnik dlya vuzov. – Moscow : Arkhitektura-S, 2005. – 312 p. – (Spetsialnost «Arkhitektura»). – ISBN 5-9647-0042-X.

12. Denisenko E. V. Printsipy formirovaniya arkhitekturnogo prostranstva na osnove biopodkhodov [Principles of formation of an architectural space based on biological approaches]: 05.23.20 : avtoref. dis...kand. arkhitektury. – Kazan, 2013. – 24 p.

13. Gridyushko A. D. Biomimeticheskie printsipy v arkhitekturnom proektirovanii [Biomimetic principles in architectural design]: 05.23.21 : avtoref. dis. kand. arkh. – Moscow. – 2013. – 35 p.

14. Shipitsyna O. A. Arkhitekturovedenie i arkhitekturnaya kritika [Architectural studies and architectural criticism]: uchebnoe posobie. – 2-e izd., ispr. i dop. – Ekaterinburg: Arkhitekton, 2012. – 336 p. – ISBN 5-7408-0037-4.

15. Yankovskaya Yu. S. Obydennoe i professionalnoe myshlenie v arkhitekturno-kompozitsionnom protsesse [Every day and professional thinking in the architectural and compositional process]: 18.00.02 : dis...kand. arkh. – Ekaterinburg. – 2000. – 159 p.

© А. А. Яковлев, А. В. Захарчук, 2022
Получено: 25.11.2021 г.

УДК 72

В. А. ТИШКОВ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры; Е. Ю. АГЕЕВА, д-р филос. наук, проф. кафедры архитектуры

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ РЕНОВАЦИИ: ПРИЕМЫ И СРЕДСТВА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57; эл. почта: ag_eu@bk.ru
Ключевые слова: архитектурно-строительная реновация, функциональная направленность реновации, архитектурно-конструктивная направленность реновации, архитектурно-композиционная и архитектурно-художественная направленность реновации зданий.

Внедрение современных технологий в практику реновации зданий позволяет проанализировать существующие средства и приемы реновации. При этом четко выделяются направленности реновации как архитектурно-строительного процесса. Это изменения функционального решения, архитектурно-конструктивные решения и изменения композиционного и художественного свойств.

Тема реновации достаточно обширна и затрагивает многие аспекты жизни людей. В среде строительства реновация позволяет решить проблемы, которые не могут решить капитальный ремонт или реставрация. Зарождение приемов реновации в строительстве произошли при решении проблем устаревания

промышленных территорий, построенных в разных странах в периоды аграрной революции и подъема промышленного производства. Отработанные схемы были успешно применены и в жилищной сфере, и в исторических зданиях, многие из которых являются памятниками архитектуры. Реновация как процесс обновления и улучшения имеет обширный спектр различных средств и приемов в разных направлениях реновации, например, полное восстановление исторического облика, смена функционального назначения здания, замена инженерных сетей, адаптация здания под современные требования с целью его дальнейшей эксплуатации.

Обращаясь к нормативным документам, можно найти следующее: в СП 417.13330.2012 «Свод правил. Здания для учреждений социального обслуживания. Правила реконструкции» в разделе «Термины и определения» дано следующее определение понятия «реновация здания»: это комплекс взаимосвязанных строительных работ, включающий в себя полную реконструкцию объекта, его дальнейшую адаптацию к новым потребностям, изменение функционального назначения.

В документе «Генеральная схема расселения на территории Российской Федерации (основные положения)», одобренная Правительством РФ в 1994 году, слово «реновация» встречается единожды и относится к путям сохранения памятников истории, культуры, архитектуры. Если обратиться к более свежим документам, то в распоряжении Правительства РФ от 26.01.2016 N 80-р (ред. от 18.10.2018) «Стратегия развития жилищно-коммунального хозяйства в Российской Федерации на период до 2020 года» также встречается термин «реновация». «Целью государственной политики в сфере ликвидации аварийного жилищного фонда является создание постоянно действующей системы реновации жилищного фонда, основанной на принципах государственной поддержки социально незащищенных категорий граждан и реализации прав собственников при переселении из аварийного жилищного фонда».

Реновация (лат. *renovatio*) – обновление. Из многих определений можно вынести обобщенное понятие реновации. Реновация обозначает процесс улучшения, реконструкции, реставрации без разрушения целостности структуры.

Реставрация (лат. *restavratio* – восстановление) – восстановление, возобновление чего-либо в первоначальном (или близком к первоначальному) виде (архитектурные памятники, произведения искусства и т. д.). Реставрация памятников архитектуры – это процесс восстановления и подновления подлинных памятников архитектурного наследия, поврежденных, искаженных или разрушенных с учетом их исторического прошлого и аутентичности. Реставрация, наряду с элементами консервации и ремонта, предусматривает изменение существующего вида памятника для более полного раскрытия его художественных качеств, а также исключение более поздних малоценных архитектурно-планировочных наслоений, пристроек и надстроек. Реставрация может быть фрагментарной и целостной. При этом последняя отличается от фрагментарной реставрации не масштабом производимых работ, а целью – восстановлением памятника в его изначальном состоянии.

На памятниках архитектуры могут производиться такие виды работ как реставрация, реконструкция и реновация. В последние годы к ним добавились ревитализация и реституция.

Реставрация, реконструкция, а также ревитализация и реституция могут быть элементами, входящими в состав взаимосвязанных работ реновации, так и каждый из этих элементов может рассматриваться как самостоятельный вид работ.

К СТАТЬЕ В. А. ТИШКОВА, Е. Ю. АГЕЕВОЙ «МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ РЕНОВАЦИИ: ПРИЕМЫ И СРЕДСТВА»

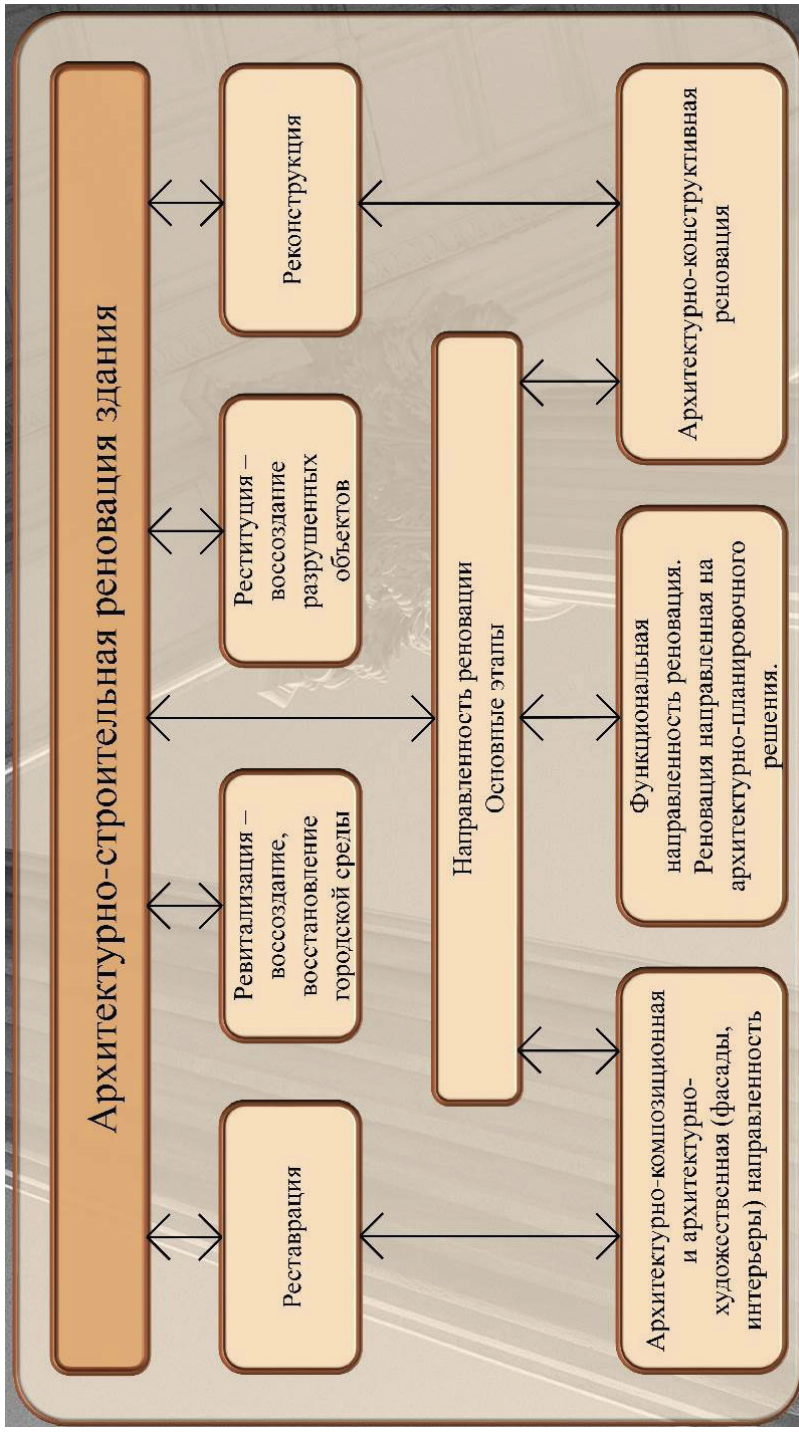


Рис. 1. Структура взаимосвязи элементов реновации и направленности реновации

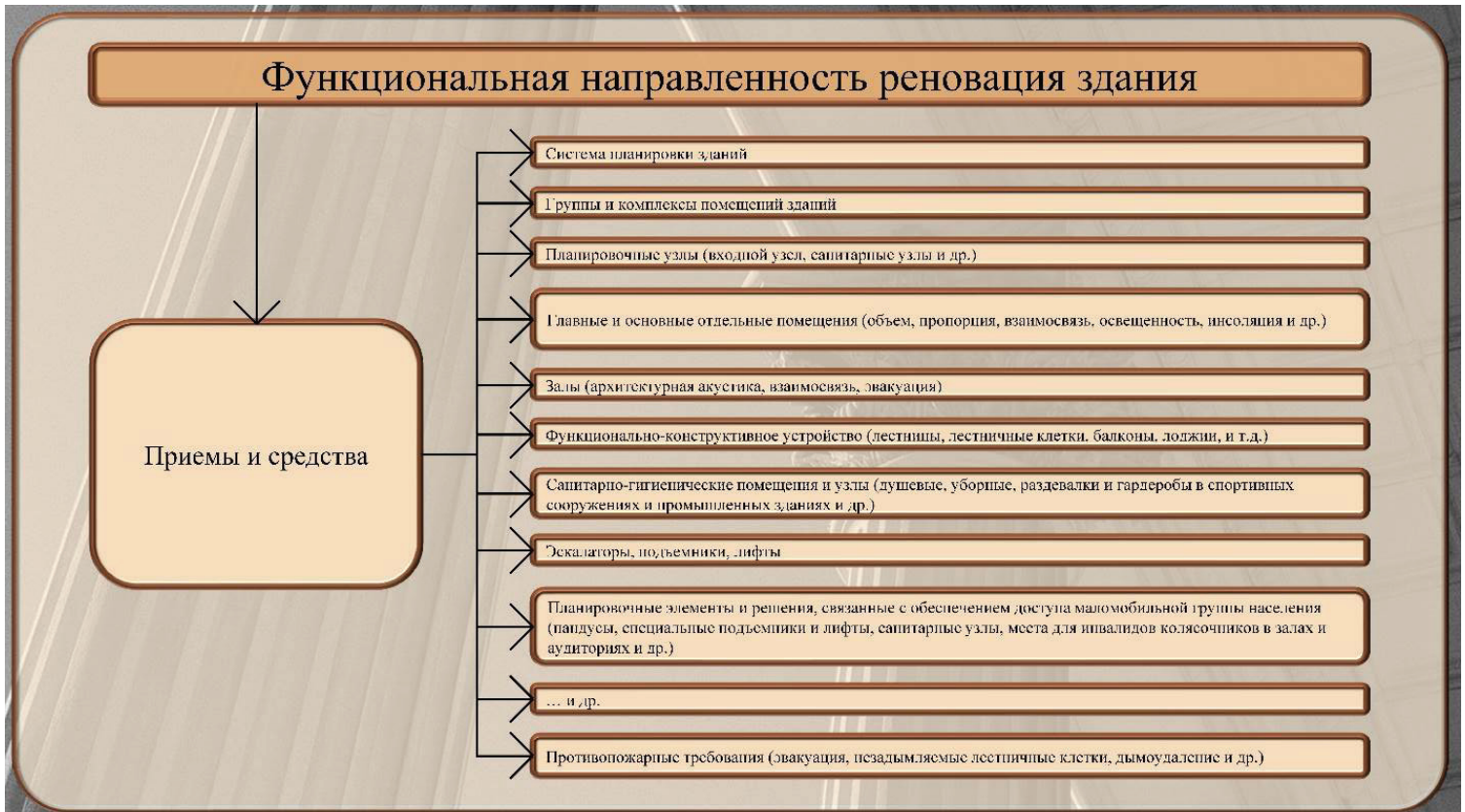


Рис. 2. Приемы и средства функциональной направленности реновации зданий

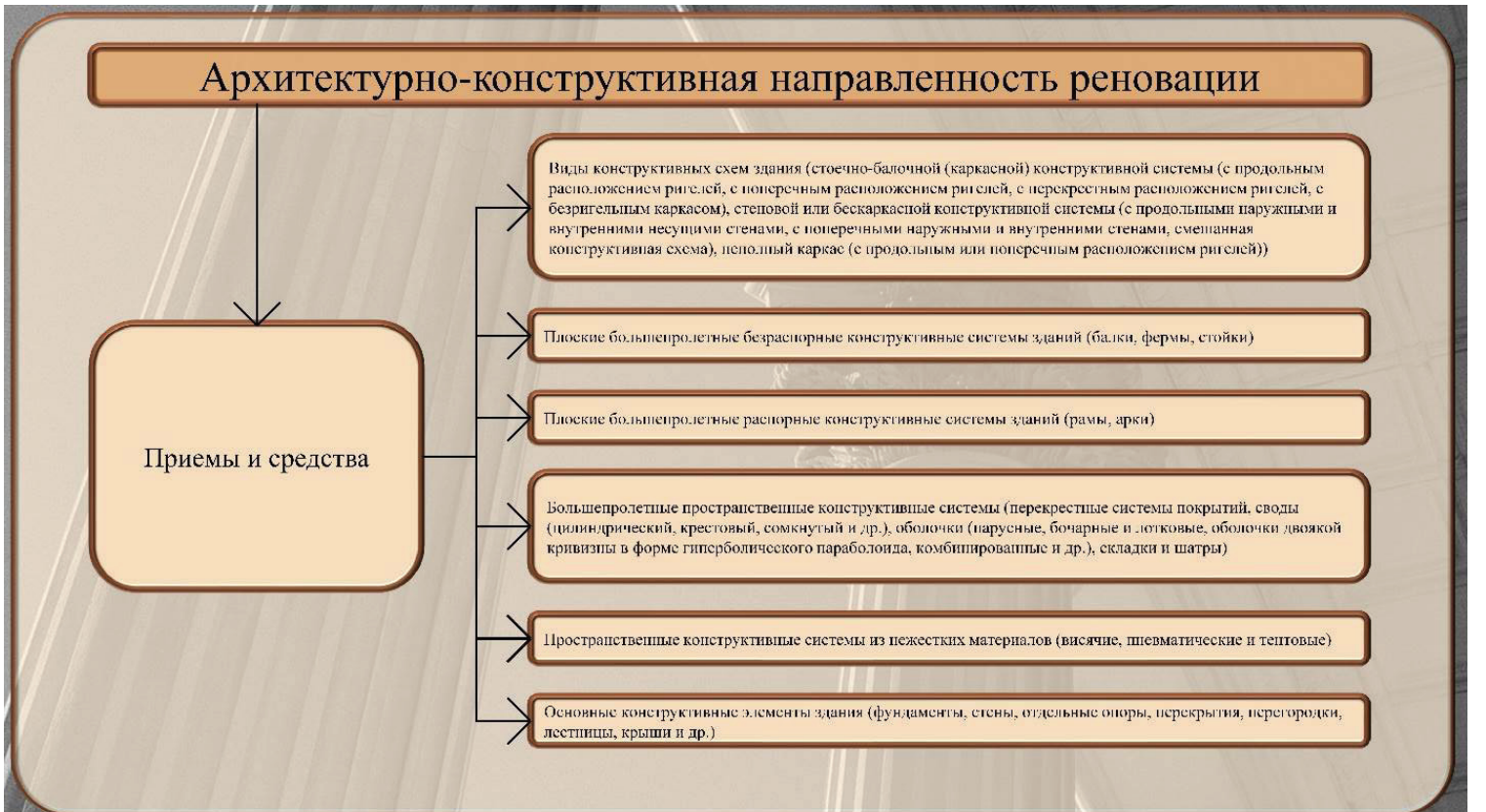


Рис. 3. Приемы и средства архитектурно-конструктивной направленности реновации

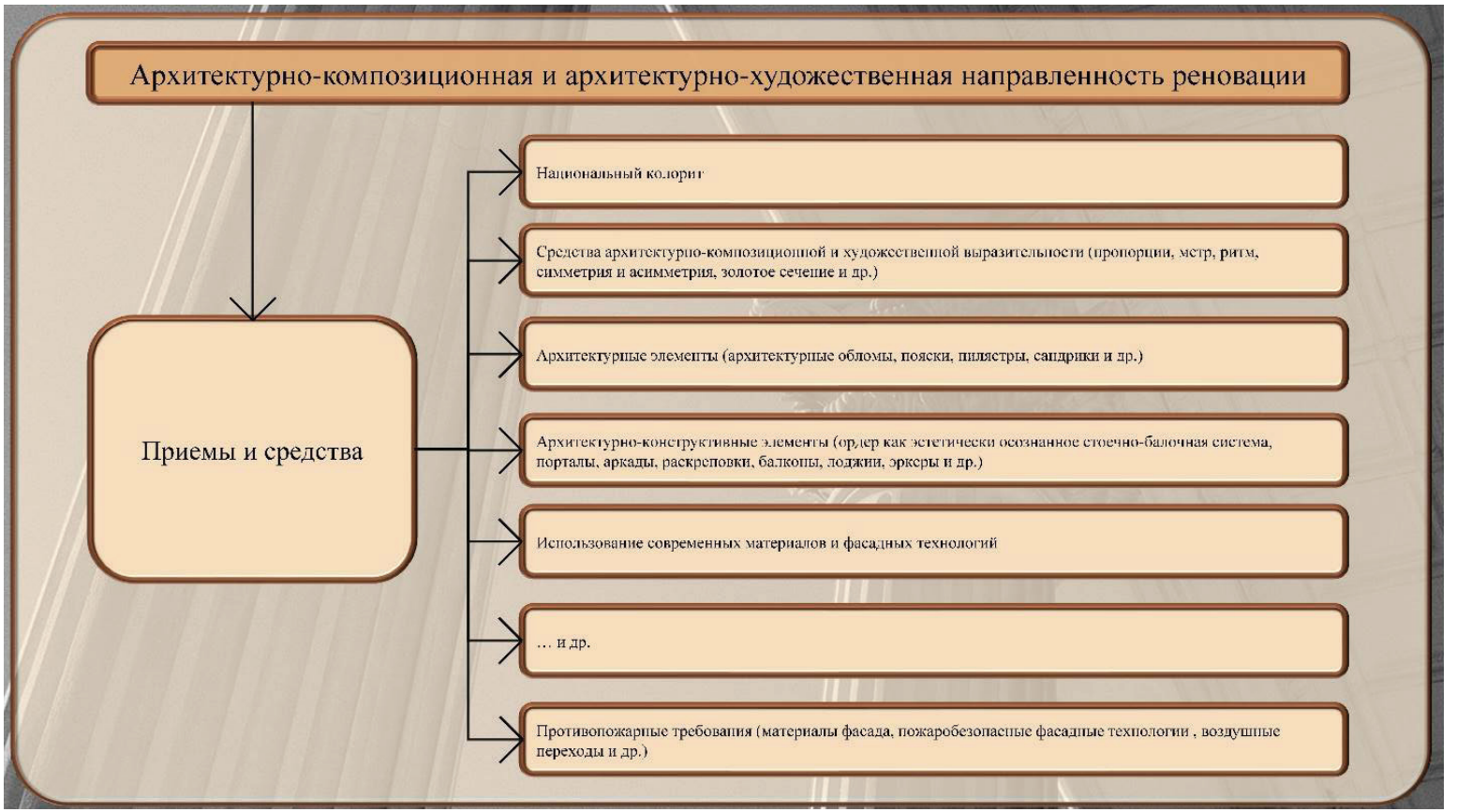


Рис. 4. Приемы и средства архитектурно-композиционной и архитектурно-художественной направленности реновации

Архитектурно-строительную реновацию как процесс улучшения, реконструкции, реставрации без разрушения целостности структуры зданий можно рассматривать как хорошо известную триаду в архитектуре, в которой можно выделить три направления (этапа) реновации:

1) архитектурно-композиционная и архитектурно-художественная направленность реновации;

2) функциональная направленность реновации, т. е. реновация, направленная на архитектурно-планировочное решение;

3) архитектурно-конструктивная направленность реновации.

На рис. 1 цв. вклейки показана структура взаимосвязи элементов реновации и направленности реновации.

Функциональная направленность реновации или реновация, направленная на архитектурно-планировочное решение.

Данный этап тесно связан с изменением функционального назначения и адаптации здания или сооружения к новым потребностям. Для достижения целей, поставленных при выполнении функционального этапа архитектурно-строительной реновации зданий и сооружений можно выделить ряд приемов и средств, направленных на изменения, связанные со сменой функции здания. На данном этапе используются традиционные, а также новые приемы и средства решения задач объемно-планировочного и архитектурно-планировочного решений, например:

– система планировки;

– группы и комплексы помещений зданий;

– планировочные узлы (входной узел, санитарные узлы и др.);

– главные и основные отдельные помещения (объем, пропорции, взаимосвязь, освещенность, инсоляция и др.);

– залы (архитектурная акустика, видимость, эвакуация);

– функционально-конструктивные устройства (лестницы, лестничные клетки, балконы, лоджии и т. д.);

– санитарно-гигиенические помещения и узлы (душевые, уборные, раздевалки и гардеробы в спортивных сооружениях и промышленных зданиях и др.);

– эскалаторы, подъемники, лифты;

– планировочные элементы и решения, связанные с обеспечением доступа маломобильной группы населения (пандусы, специальные подъемники и лифты, санитарные узлы, места для инвалидов колясочников в залах и аудиториях и др.);

– физико-технические задачи (архитектурная акустика, защита от шума, естественное освещение, инсоляция и др.);

– противопожарные требования (эвакуация, незадымляемые лестничные клетки, дымоудаление и др.).

На рис. 2 цв. вклейки показаны приемы и средства функциональной направленности реновации здания.

Архитектурно-конструктивная направленность реновации. Этап, связанный с усилением, укреплением, заменой конструкций с использованием современных технологий. Для реновации на этом этапе можно выделить следующие приемы и средства:

– виды конструктивных схем здания: стоечно-балочная (каркасная) конструктивная система с продольным расположением ригелей, поперечным расположением ригелей, перекрестным расположением ригелей, безригельным каркасом; стеновая или бескаркасная конструктивная система с продольными

наружными и внутренними несущими стенами, поперечными наружными и внутренними стенами; смешанная конструктивная схема; неполный каркас с продольным или поперечным расположением ригелей;

– плоские большепролетные безраспорные конструктивные системы зданий (балки, фермы, стойки);

– плоские большепролетные распорные конструктивные системы зданий (рамы, арки);

– большепролетные пространственные конструктивные системы: перекрестные системы покрытий; своды (цилиндрический, крестовый, сомкнутый и др.); оболочки (парусные, бочарные и лотковые); оболочки двоякой кривизны, в форме гиперболического параболоида, комбинированные и др.); складки и шатры;

– пространственные конструктивные системы из нежестких материалов (висячие, пневматические и тентовые);

– основные конструктивные элементы здания: фундаменты, стены, отдельные опоры, перекрытия, перегородки, лестницы, крыши и др.;

– физико-технические задачи (защита от шума, звукоизоляция, теплотехника и др.).

На рис. 3 цв. вклейки показаны приемы и средства архитектурно-конструктивной направленности реновации.

Архитектурно-композиционная и архитектурно-художественная направленность реновации. Данный этап связан с вопросами сохранения, обновления архитектурного образа объекта. Первоочередные задачи на этом этапе направленны на сохранение облика архитектурного объекта, отражающего заложенный при проектировании замысел и идею. Также на этом этапе рассматриваются задачи по частичному или полному видоизменению здания с целью подчеркивания особенностей нового функционального использования. Приемы и средства при архитектурно-композиционной направленности реновации здания:

– национальный колорит;

– средства архитектурно-композиционной и художественной выразительности (пропорции, метр, ритм, симметрия и асимметрия, золотое сечение и др.);

– архитектурные элементы (архитектурные обломы, пояски, пилястры, сандрики и др.);

– архитектурно-конструктивные элементы (ордер как эстетически осознанная стоечно-балочная система, служащая как средство архитектурно-художественной выразительности зданий) и как конструктивная система (порталы, аркады, раскреповки, балконы, лоджии, эркеры и др.);

– использование современных материалов и фасадных технологий;

– противопожарные требования (материалы фасада, пожаробезопасные фасадные технологии, воздушные переходы и др.).

На рис. 4 цв. вклейки показаны приемы и средства архитектурно-композиционной и архитектурно-художественной направленности реновации.

Итак, методологической основой архитектурно-строительной реновации стал системно-структурный подход, позволяющий рассматривать процесс реновации во взаимосвязи различных элементов (видов работ) структуры (реконструкции, реставрации, ревитализации и реституции). Каждый из элементов реновации или несколько их видов могут быть элементами, входящими в состав взаимосвязанных работ реновации, а также самостоятельными видами работ.

Каждое направление реновации имеет свои приемы и средства, характерные для данного этапа работ.

Представленная методологическая направленность архитектурно-строительной реновации является неким инструментом и проводником, который позволит шире и детально, относительно полно и системно производить анализ реализованных реновраций зданий и сооружений, а также осуществлять поиск современных решений для создания новых архитектурно-конструктивных проектов реновраций зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альфажр Мохамад Абдул Карим. Проблемы сохранения исторического облика здания при комплексной реновации памятника архитектуры / Альфажр Мохамад Абдул Карим. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2016. – № 9. – С. 91–95.

2. Заграевский, С. В. Культурно-историческая среда российских городов. Способы ее сохранения / С. В. Заграевский. – Текст : непосредственный // Территория и планирование. – 2011. – № 2(32). – С. 4–13.

3. Агеева, Е. Ю. Проблемы и опыт реновации неэксплуатируемых исторических промышленных зданий и сооружений / Е. Ю. Агеева. – Текст непосредственный // «Актуальные проблемы современной архитектуры, градостроительства и дизайна» в рамках XXVIII международного смотра-конкурса лучших выпускных квалификационных работ по архитектуре, дизайну и искусству : сборник трудов научной конференции, 06-13 октября 2019 г. / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2019. – С. 16–20.

4. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству 21 августа 2003 г. № 153 : дата введения 2003-08-21. – URL: http://www.consultant.ru (дата обращения : 15.03.2021). – Режим доступа : Консультант-Плюс. Законодательство. ВерсияПроф. – Текст : электронный.

5. Салагор, И. Р. Особенности реновации исторических зданий / И. Р. Салагор, Э. Ж. Жолдошбаева. – Текст : непосредственный // Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития : материалы Шестой Международной научно-практической онлайн-конференции, 11-12 апреля 2019 г. / Братский государственный университет. – Братск, 2019. – С. 377–381.

6. Фурсина, Ю. В. Опыт реконструкции зданий в странах Европы и сравнение с реновацией в России / Ю. В. Фурсина, С. О. Иванова, А. Н. Леонова. – Текст : непосредственный // Бюллетень науки и практики / Bulletin of Science and Practice. – 2019. – № 5. – С. 241–246.

7. Ресурс объектов редевелопмента, реновации, реконцепции и реконструкции. – URL: http://www.redeveloper.ru/redeveloperskie-proekty/realise_actual/tsentr-dlya-pozhilykh-lyudey-v-leshchno-polsha. – Текст: электронный.

TISHKOV Vladimir Aleksandrovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of architecture; AGEEVA Elena Yurevna, doctor of philosophic sciences, professor of the chair of architecture

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF ARCHITECTURAL AND CIVIL ENGINEERING RENNOVATION: TECNIQUIES AND MEANS

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: architectural and civil engineering renovation, functional focus of renovation, architectural-constructive focus of renovation, architectural-compositional and architectural-artistic focus of renovation of buildings.

The introduction of modern technologies into practice of renovation of buildings enables architects to analyze the existing means and techniques of renovation. At the same time the focus of renovation as an architectural and civil engineering process is clearly distinguished and means the changes of the functional solution, architectural-constructive solutions and changes of compositional and artistic character.

REFERENCES

1. Alfazhr Mohamad Abbdul Karim. Problemy sokhraneniya istoricheskogo oblika zdaniya pri kompleksnoy renovatsii pamyatnika arkhitektury [Problems of preserving the historical appearance of the building during the complex renovation of the architectural monument] // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov]. 2016. № 9. P. 91–95.

2. Zagraevsky S. V. Kulturno-istoricheskaya sreda rossiyskikh gorodov. Sposoby eyo sokhraneniya [Cultural and historical environment of Russian cities. Ways of its saving] // Territoriya i planirovanie [Territory and planning]. 2011. № 2(32). P. 4–13.

3. Ageeva E. Yu. Problemy i opyt renovatsii neekspluatiruemykh istoricheskikh promyshlennykh zdaniy i sooruzheniy [Problems and experience of renovation of unused historical industrial buildings and structures]. Aktualnye problemy sovremennoy arkhitektury, gradostroitelstva i dizayna [Actual problems of modern architecture, urban planning and design] v ramkakh XXVIII mezhdunarodnogo smotra-konkursa luchshikh vypusknykh kvalifikatsionnykh rabot po arkhitekture, dizaynu i iskusstvu. Sbornik trudov nauch. konferentsii, 06-13 oktyabrya 2019 g. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2019. P. 16–20.

4. SP 13-102-2003. Pravila obsledovaniya nesuschikh stroitelnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy [Rules of inspection of load-bearing building structures of buildings and structures] : svod pravil : utverzhd. i vved. v deystvie postanovleniem Federalnogo agentstva po stroit-vu i zhilischno-kommun. khoz-vu 21 avgusta 2003 g. № 153 : data vved. 2003-08-21. – URL: http://www.consultant.ru (data obrascheniya : 15.03.2021). – Rezhim dostupa : Konsultant-Plyus. Zakonodatelsyvo. VersiyaProf.

5. Salagor I. R., Zholdoshbaeva E. Zh. Osobennosti renovatsii istoricheskikh zdaniy [Features of renovation of historical buildings] // Problemy ekonomiki i upravleniya stroitelstvom v usloviyakh ekologicheski orientirovannogo razvitiya [Problems of economics and construction management in the context of environmentally oriented development]. Materialy Shestoy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy onlayn-konferentsii 11-12 aprelya 2019 g. Bratskiy gos. un-t. Bratsk, 2019. P. 377–381.

6. Fursina Yu. V., Ivanova S. O., Leonova A. N. Opyt rekonstruktsii zdaniy v stranakh Evropy i sravnenie s renovatsiey v Rossii [Experience of reconstruction of buildings in Europe and comparison with renovation in Russia] // Byulleten nauki i praktiki [Bulletin of Science and Practice]. 2019. № 5. P. 241–246.

7. Resurs obektov redevelopmenta, renovatsii, rekontseptsii i rekonstruktsii [Resource of objects of redevelopment, renovation, reconception and reconstruction]. – URL: http://www.redeveloper.ru/redeveloperskie-proekty/realise_actual/tsentr-dlya-pozhilykh-lyudey-v-leshchno-polsha.

© В. А. Тишков, Е. Ю. Агеева, 2022
Получено: 27.12.2021 г.

УДК 72.035(470.341-25)

А. С. ШУМИЛКИН, канд. архитектуры, доц. кафедры истории архитектуры и основ архитектурного проектирования

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ ПО РАЗВИТИЮ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОБЪЕКТОВ ЦЕНТРОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ГОРОДОВ

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: историко-градостроительная среда, кластерно-территориальный подход, комплексная реставрация, приспособление для современного использования.

Рассматриваются научные основы, подходы и тенденции в сфере сохранения историко-культурного наследия. Формулируются стратегии актуализации объектов культурного наследия центров исторических городов (кластерно-территориальный подход, точечный подход). Анализируется современная практика восстановления уникального историко-культурного потенциала городского пространства.

Современная стратегия сохранения наследия рассматривает его как фундаментальную категорию, лежащую в основе поддержания национальной культуры и самобытности страны, а также формирования устойчивого культурно-ландшафтного пространства.

В рамках традиционной парадигмы сформировались два подхода к определению историко-культурной ценности памятников архитектуры. Антикварный подход дал основу развитию во второй половине XIX в. метода археологической реставрации (основоположники Д. Рескин, У. Моррис), безусловным приоритетом которого является историческая подлинность памятника. Основанная на антикварном подходе теория консервации предполагает бережное отношение к историческим наслоениям, признаваемым ценными как отражение этапов бытования памятника (Замок Эстли в Уоркшире, XII в.; восстановлен в 2010-х гг., арх. бюро *Witherford Watson Mann Architects.*).

Принципиально противоположный антикварному эстетический подход развивает методы стилистической реставрации, сформировавшейся в XIX в. (основоположник Э. Э. Виолле-ле-Дюк). Это направление базировалось на идее творческого воссоздания памятников на определенный период времени в формах, считающихся наиболее ценными с точки зрения архитектора-реставратора (Замок Пьерфон во Франции; восстановлен в XIX в., арх. Э. Э. Виолле-ле-Дюк). Направление стилистической реставрации во многом определило развитие отечественной реставрационной деятельности, полем для которой стали разрушенные уникальные архитектурные ансамбли и памятники.

Научная реставрация в начале XXI в. опирается на комплексный подход к сохранению наследия, характеризующийся признанием ценности позднейших наслоений и безусловным стремлением к научному обоснованию форм восстанавливаемых элементов. Приоритетная направленность сохранения памятников связана с приспособлением объектов культурного наследия для современного использования. Наряду с задачей сохранения стилевых и типологических особенностей архитектуры, обусловленных подлинным

материалом памятника, ключевым условием продления жизни исторического здания является его включение в развивающееся городское пространство.

Одной из актуальных задач является сохранение городских культурных ландшафтов, которые требуют особых подходов к их актуализации в условиях развития исторических центров мегаполисов. Важным направлением является развитие кластерно-территориального подхода к сохранению историко-культурного наследия на базе концепции культурного ландшафта (сохранение наследия на уровне структурно-типологических образований: крепостных и монастырских архитектурных ансамблей, усадебно-промышленных комплексов, градостроительных образований и т. д.). Данный подход предполагает комплексные работы по реорганизации масштабного фрагмента городского пространства с актуализацией современного «прочтения» его объектов и образно-художественным обогащением архитектурной среды. Важной задачей кластерно-территориального подхода является усиление градоформирующей роли, выявление и сохранение исторического каркаса градостроительного образования.

Одним из примеров реализации данного направления стали масштабные мероприятия 2020 – 2021 гг. по восстановлению архитектурно-исторического облика Нижнего Новгорода, осуществленные нижегородскими архитектурно-реставрационными организациями в рамках подготовки к 800-летию древнего города. Крупные работы были проведены на объектах Нижегородского Кремля – памятника федерального значения. Градоформирующая роль Кремля как древнейшего оборонного сооружения в сочетании с уникальным природным ландшафтом обеспечила приоритет сохранения памятника в единстве культурного, архитектурного, природно-ландшафтного каркаса.

Значительные работы были связаны с реставрацией и приспособлением для современного использования крупных архитектурных объектов Кремля. Дом военного губернатора (Нижегородский Кремль, корпус 3) – представительное трехэтажное здание, расположенное в северо-восточной части кремля на бровке холма. Его возведение в 1836 г. (по проекту архитектора И. И. Шарлеманя) было связано с обширными градостроительными преобразованиями первой половины XIX в., осуществленными в Н. Новгороде по указанию императора Николая I. В период ремонтов и приспособления здания в стиле позднего классицизма под художественный музей в конце XX в. были проведены перепланировки, заложены отдельные проемы, частично утрачен внутренний художественный декор.

Проектное решение по приспособлению здания для современного использования под функции музея предусматривало ремонтно-реставрационные работы по инженерным сетям, по отдельным помещениям и художественным интерьерам, восстановительные работы по крыше здания (реставрационные решения: ООО «Асгард») (рис. 1, 2 цв. вклейки).

В контексте развития современного культурного пространства Н. Новгорода значимым стал комплексный проект реставрации и приспособления Здания Присутственных мест (Нижегородский Кремль, корпус 2).

Строительство памятника относится к периоду важнейших градостроительных изменений конца XVIII в. – перепланировки Нижнего Новгорода на основе первого регулярного плана. Построенное в 1782–1785 гг. по проекту нижегородского губернского архитектора Я. А. Ананьина, здание заняло ответственное положение, организовав западную сторону плац-парадной площади и речную панораму кремля. В начале XIX в., а затем в советский период корпус получил значительные перестройки и перепланировки. В настоящее время протяженное трехэтажное

К СТАТЬЕ А. С. ШУМИЛКИНА «НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ ПО РАЗВИТИЮ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОБЪЕКТОВ ЦЕНТРОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ГОРОДОВ»

Рис. 1. Реставрация и приспособление для современного использования Дома военного губернатора (Нижегородский Кремль, корпус 3). Фото 2021 г.

Рис. 2. Реставрация и приспособление для современного использования Дома военного губернатора (Нижегородский Кремль, корпус 3). Дизайн-проект интерьеров

Рис. 3. Здание Присутственных мест – Нижегородская государственная филармония (Нижегородский кремль, корпус 2). Фото 2021 г.

Рис. 4. Здание Присутственных мест – Нижегородская государственная филармония (Нижегородский кремль, корпус 2). Дизайн-проект интерьеров

Рис. 5. Казармы гарнизонного батальона (Нижегородский кремль, корпус 10). Фото 2021 г.

Рис. 6. Казармы гарнизонного батальона (Нижегородский кремль, корпус 10). Проект. Подсветка фасадов

Рис. 7. Здание водочного завода в г. Рязани (ул. Павлова, д. 5) до проведения реставрационных работ. Фото 2015 г.

Рис. 8. Здание водочного завода в г. Рязани (ул. Павлова, д. 5) после проведения реставрационных работ. Фото 2020 г.

здание, расположенное в западной части территории Нижегородского Кремля, является крупной архитектурно-пространственной доминантой в структуре кремлевского ансамбля. Часть здания занимает Нижегородская государственная академическая филармония им. М. Ростроповича (рис. 3 цв. вклейки).

В рамках работ по сохранению объекта культурного наследия был разработан проект реставрации памятника и дизайн-проект интерьеров здания филармонии (реставрационные решения: ООО «Асгард»; дизайн-проект: АБ «ГОРА»), (рис. 4 цв. вклейки). Проект реставрационных работ предполагал раскрытие частично заложенных исторических проемов, воссоздание по историческим аналогам деревянных дверных заполнений. Сохранение памятника предусматривало реставрацию части художественных интерьеров, восстановление декоративной отделки помещений, замену поздних перегородок.

Крупные реставрационно-восстановительные работы были проведены на Казармах гарнизонного батальона (Нижегородский Кремль, корпус 10). Здание, выстроенное на рубеже XVIII – XIX вв. как составная часть комплекса административных сооружений, заняло ответственное градостроительное положение в центральной части кремлевского ансамбля. В 1830-х гг. здание казарм было перестроено в связи с масштабной реконструкцией территории «крепости» и размещением в нем военных частей. Во второй половине XIX в. и в советское время здание казарм неоднократно ремонтировалось, что привело к изменению планировки и архитектурного облика фасадов. В настоящее время здание является выразительным образцом архитектуры классицизма в Нижнем Новгороде и имеет большую историко-градостроительную ценность в ансамбле Кремля.

Основными задачами проекта являлось выявление художественной и исторической ценности памятника, сохранение и реставрация его архитектурного облика (рис. 5 цв. вклейки). Важным условием стало приспособление здания под современную функцию административно-выставочного центра с максимальным приближением объемно-планировочной структуры к исторической. Реставрационные работы предусматривали восстановление композиции и реставрацию архитектурных элементов фасадов (рис. 6 цв. вклейки). В рамках работ по сохранению объекта культурного наследия разработан дизайн-проект интерьеров помещений (реставрационные решения: ООО «Асгард»; дизайн-проект: АК "*MISH studio*"). Приведенные примеры сохранения объектов культурного наследия характеризовались изменением преобладающей функциональной направленности с административной на выставочную, что соответствовало задачам современного развития территории Кремля.

Другое направление актуализации наследия связано с точечным восстановлением памятников, приобретающих роль новых градоформирующих и смысловых доминант в структуре городского пространства. Одним из знаковых примеров является уникальный памятник индустриального наследия – водонапорная башня В. Г. Шухова, расположенная в городе Выксе Нижегородской области на территории ОАО «Выксунский металлургический завод». Башня относится к числу шести сооружений на территории области, связанных с именем выдающегося инженера-конструктора В. Г. Шухова. Являясь частью исторического усадебно-промышленного комплекса Выксы, водонапорная башня принадлежит к главным достопримечательностям индустриального наследия области XX в.

Цель реставрации и приспособления заключалась в музеефикации памятника – выдающегося достижения инженерной мысли с уникальной историко-культурной, научной и художественной значимостью (проект реставрации: ООО «Асгард»).

Расположенная на отдалении от исторического городского центра восстановленная башня формирует новую точку развития историко-культурного потенциала региона.

Исторические промышленные здания и комплексы составляют обширный пласт архитектурного наследия России второй половины XIX – начала XX вв. Значителен их потенциал в формировании современного городского пространства. Примером из актуальной практики восстановления памятников промышленной архитектуры стала комплексная реставрация здания водочного завода в исторической части города Рязани (ул. Павлова, д. 5). Здание входило в состав архитектурного комплекса, выполненного в формах эклектики конца XX в.

К моменту проведения реставрационных работ памятник утратил крышу и перекрытие верхнего этажа одного из ризалитов. Кладка стен и декор фасадов были частично разрушены. Внутренние конструкции находились в аварийном состоянии (рис. 7 цв. вклейки).

Проектом реставрации памятника был предусмотрен полный комплекс ремонтно-реставрационных работ: демонтаж аварийных перекрытий, укрепление кладки стен, устройство новых перекрытий и путей междуэтажного сообщения, реставрация открытой кирпичной лицевой кладки, элементов фасадного декора, ковки, восстановление кровли здания в ее первоначальных геометрических параметрах, воссоздание светового фонаря и исторических вентиляционных шахт на крышах ризалитов, комплексное приспособление инженерных систем здания под офисную функцию (проект реставрации: ООО «Асгард»). Важно отметить сохранение принципиальной структуры и масштаба внутреннего пространства, разделенного поперечными стенами, с возможностью свободной планировки при помощи временных перегородок. Реставрационно-восстановительные работы позволили раскрыть новые возможности исторических форм здания, находившегося в заброшенном состоянии. Это не только дало импульс развитию его социокультурного, эстетического и экономического потенциала, но и послужило преобразованию многолетней лакуны на карте исторического центра в градоформирующий элемент городского пространства (рис. 8 цв. вклейки).

Аналогичные задачи актуальны во многих регионах страны. Выход из проблемного периода рубежа XX – XXI вв. характеризуется положительными тенденциями в деятельности по сохранению объектов культурного наследия. Развиваются различные стратегии восстановления и актуализации памятников в исторической городской ткани: кластерно-территориальный подход, точечный подход. При существующей вариативности подходов современная научная архитектурная реставрация опирается на комплексный метод, обеспечивающий продление жизни памятника при минимальном вмешательстве в его историческую ткань.

Проведение комплексных реставрационных работ позволяет восстановить градоформирующее и историко-культурное значение памятников в структуре центров городов, дает импульс развитию уникального исторического потенциала городских пространств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баталов, А. Путь эволюции категорий. Отношение к достоверности формы и подлинности материалов в отечественной реставрации XIX – начала XX века / А. Баталов. – Текст : непосредственный // Живой город: Pro et contra. О московской реставрации. – Москва, 2010. – С. 140–145.

2. Душкина, Н. О. Реконструкция архитектурных сооружений: метаморфозы теории

и перспективы сохранения наследия / Н. О. Душкина. – Текст : непосредственный // Поиски идентичности. Реставрация, восстановление, воссоздание : материалы XIV Чтений, посвященных памяти Л. А. Лелекова (1934 – 1988). – Москва, 2002. – С. 39–40.

3. Кульчинская, Е. Д. Новые роли памятников архитектуры / Е. Д. Кульчинская. – Текст : непосредственный // Архитектурное наследие на рубеже XX и XXI веков. Проблемы реставрации и охраны наследия : сборник / Российская академия архитектуры и строительных наук, Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства ; под редакцией А. С. Щенкова. – Изд. 2-е. – Москва, 2014. – 144 с. – ISBN 978-5-9710-0622-0.

4. Матвеев, Б. М. Деконструкция архитектурного наследия / Б. М. Матвеев. – Санкт-Петербург : Политехника-сервис, 2012. – 423 с. : ил. – ISBN 978-5-905687-63-1. – Текст : непосредственный.

5. Памятники архитектуры в Советском Союзе : очерки истории архитектурной реставрации / под редакцией А. С. Щенкова. – Москва: Памятники исторической мысли, 2004. – 696 с. : ил. – ISBN 5-88451-146-9. – Текст : непосредственный.

6. Швидковский, Д. О. Пространство мирового зодчества : научное издание / Д. О. Швидковский. – Москва : Архитектура-С, 2017. – 560 с. : ил. – ISBN 978-5-9647-0305-1. – Текст : непосредственный.

7. Щенков, А. С. Реконструкция исторической застройки в Европе во второй половине XX века: Историко-культурные проблемы / А. С. Щенков. – Москва: ЛЕНАНД, 2011. – 280 с. – ISBN 978-5-9710-0384-7. – Текст : непосредственный.

8. Шумилкин, А. С. Шуховская башня в г. Выксе Нижегородской области. Реставрация памятника федерального значения / А. С. Шумилкин – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2018. – № 3. – С. 151 – 156.

SHUMILKIN Aleksandr Sergeevich, candidate of architecture, associate professor of the chair of history of architecture and fundamentals of architectural design

SCIENTIFIC FOUNDATIONS AND PRACTICAL EXAMPLES ON THE DEVELOPMENT OF THE HISTORICAL AND CULTURAL POTENTIAL OF THE OBJECTS OF THE CENTERS OF HISTORICAL CITIES

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: historical and urban environment, cluster-territorial approach, comprehensive restoration, adaptation for modern use.

The scientific foundations, approaches and trends in the field of preservation of historical and cultural heritage are considered. Strategies of actualization of cultural heritage objects of the centers of historical cities (cluster-territorial approach, point approach) are formulated. The modern practice of restoring the unique historical and cultural potential of urban space is analyzed.

REFERENCES

1. Batalov A. Put evolyutsii kategoriy. Otnosheniye k dostovernosti formy i podlinnosti materialov v otechestvennoy restavratsii XIX – nachala XX veka [The path of evolution of categories. Attitude to the authenticity of the form and authenticity of materials in the domestic restoration of the XIX – early XX century] // Zhivoy gorod: Pro et contra. O moskovskoy restavratsii. Moscow. 2010. P. 140 –145.

2. Dushkina N.O. Rekonstruktsiya arkhitekturnykh sooruzheniy: metamorfozy teorii i

perspektivy sokhraneniya naslediya [Reconstruction of architectural structures: metamorphoses of the theory and prospects of heritage preservation] // The search for identity. Restoration, restoration, recreation. Materials of the XIV Readings dedicated to the memory of L. A. Lelekov (1934–1988). Moscow, 2002. P. 39–40.

3. Kulchinskaya E. D. Novyye roli pamyatnikov arkhitektury [New roles of architectural monuments] // Arkhitekturnoye naslediye na rubezhe XX i XXI vekov. Problemy restavratsii i okhrany naslediya [Architectural heritage at the turn of the XX and XXI centuries. Problems of restoration and heritage protection]. Rossiyskaya akademiya arkhitektury i stroitelnykh nauk. Nauchno-issledovatelskiy institut teorii i istorii arkhitektury i gradostroitelstva. Pod red. A.S. Shenkova. Izd. 2. Moscow, 2014, 144 p.

4. Matveyev B. M. Dekonstruktsiya arkhitekturnogo naslediya [Deconstruction of architectural heritage]. SPb., Politechnica-service, 2012, 423 p., ill.

5. 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. Shenkova. M.: Pamyatniki istoricheskoy mysli, 2004. 696 p: il.

6. Shvidkovsky D. O. Prostranstvo mirovogo zodchestva [The space of World Architecture]. Moscow, «Architecture-S», 2017, 560 p., ill.

7. Shchenkov A. S. Rekonstruktsiya istoricheskoy zastroyki v Evrope vo vtoroy polovine XX veka: istoriko-kul'turnye problemy [Reconstruction of historical buildings in Europe in the second half of the XX century: historical and cultural problems]. Moscow, LENAND Publ., 2011, 280 p.

8. Shumilkin A. S. Shukhovskaya bashnya v g. Vykse Nizhegorodskoy oblasti. Restavratsiya pamyatnika federalnogo znacheniya [Shukhov Tower in Vyksa, Nizhny Novgorod region. Restoration of a monument of federal significance] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.- stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2018. № 3. P. 151–156.

© А. С. Шумилкин, 2022
Получено: 10. 11. 2021 г.

УДК 72.01

Ю. И. ТАРАСОВА, канд. искусствоведения, доц. кафедры архитектуры

ИННОВАЦИИ В АРХИТЕКТУРНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СРЕДЕ

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А. Д. Крячкова»
Россия, 630099, г. Новосибирск, Красный проспект, д. 38. Тел. (383) 209-17-50, доб. 1424; эл. почта: yitarasova@nsuada.ru
Ключевые слова: инновация, инновационность, архитектура, устойчивая архитектура, эко-архитектура.

Рассмотрен термин «инновация». Представлены ключевые инновации XXI века, отражающие новый этап технологического развития общества. Определены категории и направления инноваций, оказывающих существенное влияние на формирование архитектурно-пространственной среды и ее особенности. Инновации наделяют архитектурные объекты и пространственную среду инновационным свойством (инновационностью).

XXI столетие отмечено переходом к новому VI технологическому укладу и инновационному развитию общества. Внедрение инноваций в различные

сферы жизнедеятельности стало распространенным и необходимым явлением в конкурентно-ориентированной среде [1]. Наблюдаемая интенсивность их внедрения приводит к закономерному ускорению темпов технологического развития. В то же время и стремительный темп инновационно-технологического развития требует все большего количества нововведений.

Согласно теории циклов русского экономиста Н. Д. Кондратьева и утверждению академика РААСН В. И. Травуша, в 2015–2020 годах завершился этап развития новых технологий и наступил период применения инновационных продуктов [2]. Достигнутая концентрация нововведений и их тотальное распространение в социуме формирует соответствующую пространственную среду – территориальную, градостроительную, архитектурную (экстерьерную и интерьерную) и т. д. и требования к ней. Архитектурно-пространственная среда трансформируется под воздействием такого внедрения, получая определенные новые характеристики и качество, совокупность которых можно назвать одним свойством – инновационным, или инновационностью.

Инновационность указана в структуре территориального кластера (далее – кластер), который рассмотрен как планировочный элемент (структурная единица) территориально-пространственной организации среды в условиях распространения кластерного подхода в ее формировании и развитии территорий [3]. Такой подход нашел широкое применение на практике в мире и в России в настоящее время. Согласно предложенной структуре кластера, инновационность является обязательным свойством каждого его элемента, в общей сложности сводящаяся к четырем: производство, наука, образование и инфраструктура[1] [4, 5]. Совокупность инновационных свойств элементов кластера позволяет достичь синергетического эффекта, что обеспечивает долгосрочную перспективу его функционирования и развития [2].

Опираясь на предложенную структуру кластера и распространение кластерного подхода в формировании пространственной среды, становится актуальным исследование инноваций, оказывающих влияние на объекты архитектурно-градостроительной сферы. Это влияние проявляется на разных составляющих архитектуры объекта – местоположении, функциональном зонировании, архитектурно-планировочных, объемно-пространственных и т. п. решениях. Так, существенные и очевидные изменения или трансформации наделяют архитектурные объекты и среду специфичными характеристиками, определяющими их инновационность.

Инновация (лат. *Innovatio* – обновление, новшество, нововведение) – конечный результат научно-технического или иного творчества, приводящего к существенному изменению жизнедеятельности человека, общества, природы[2] [6]. Инновация, именно как обновление уже имеющихся, сформированных характеристик чего-либо или одной из них, то есть привнесение нового в их качество, наиболее точно определяет этот термин.

---

[1]Под инфраструктурой подразумевается совокупность территорий и объектов, обеспечивающих проживание и досуг населения – это жилые комплексы и здания; объекты социального назначения – детские сады, поликлиники; культурно-развлекательные и досуговые услуги и пр. Инфраструктура производственная отнесена к соответствующему элементу.

[2]Инновации обычно подразделяются на продуктовые и процессные. Продуктовые инновации предполагают применение новых или усовершенствованных материалов и получение принципиально новых продуктов. Процессные инновации означают новые методы организации и управления. Инновация тесно связана с понятием интеллектуальная собственность (патент, изобретение, полезная модель, промышленный образец, товарный знак, лицензирование).

Упорядочим понимание современных инноваций. Основным критерием для их классификации и структурирования является соответствующий этап технологического развития общества, связанный с новыми возможностями науки, технологий и техники. Формированию новых возможностей способствует ряд предпосылок – исторических, культурных, экономических, социальных и иных факторов, в том числе мировых вызовов и глобальных проблем, провоцирующих новый скачок в развитии. В этом контексте рассмотрим только современный – инновационный технологический этап, связанный с информационно-коммуникационными и нано-технологиями. Его начало приходится на нулевые годы XXI столетия (ориентировочно с 2004 г.) [2].

Отметим какого рода инновации и наиболее важные из них вошли в нашу жизнь только в 2021 году: «зеленый» водород, литий-металлический аккумулятор, гибридный автомобиль и электрокар, матричная РНК-вакцина, биоимплант, экзоскелет *Rewalk*, нейросеть-трансформер *GPT*-3, *Wi-Fi* 6 и 5*G*, голосовой поиск и помощники, виртуальная и дополненная реальность (*VR* и *AR*; например, *Oculus rift*), 3*D*-печать и т. п., искусственные воспоминания и др., телепортация[3].

Самыми значимыми направлениями среди достижений и нововведений начала текущего столетия стали: альтернативные источники энергии (водородное топливо), электрические автомобили и беспилотная техника и оборудование, генная и биоинженерия (искусственные органы и протезирование), виртуальная и дополненная реальность, аддитивные технологии, искусственный интеллект, информационные технологии и облачные системы, социальные сети, мобильный интернет[4].

Обозначим категории и направления инноваций XXI века в сфере градостроительства и архитектуры:

1. ***Концепция устойчивого развития***[5]: устойчивая архитектура[6], экологический подход и экологическая архитектура, или эко-архитектура[7], «зеленая» архитектура[8];

---

[3]По данным официального сайта РБК: Тренды / Это прорыв: десять самых важных технологий и открытий 2021 года. URL: https://trends.rbc.ru/trends/innovation/606ecf189a79470e64285ce2 (дата обращения: 13.08.2021).

[4]По данным официального сайта «Техника и системы автоматизации» / Самые значимые достижения научно-технического прогресса в XXI веке. URL: https://tsa.su/news/samye-znachimye-dostizhenija-nauchno-tehnicheskogo-progressa-v-xxi-veke/ (дата обращения: 13.08.2021).

[5]***Устойчивое развитие*** (англ. Sustainable Development) – это модель использования ресурсов, которая направлена на удовлетворение потребностей человека при сохранении окружающей среды, так что эти потребности могут быть удовлетворены не только для настоящего, но и для будущих поколений (по материалам учебного пособия: Устойчивое строительство и городской дизайн / под науч. ред. А. Л. Гельфонд, В. Т. Ерофеева, А. А. Ямашкина. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2019. URL: http://openedo.mrsu.ru/pluginfile.php/78172/mod_resource/content/1/Устойчивое%20строительство%20и%20городской%20дизайн.pdf (дата обращения: 29.10.2021)).

[6]***Устойчивая архитектура*** (англ. Sustainable Architecture) − архитектура, имеющая своей программой непротиворечивое единство эстетических позиций автора и времени и социально-экономических, инженерно-технологических и природно-экологических требований, базирующихся на принципах устойчивого развития, полнота воплощения которых определяется принятыми в мировой практике и практике страны требованиями рейтинговых систем оценки устойчивости среды обитания (по Г. В. Есаулову [7]).

[7]***Экологическая архитектура*** – архитектура, основной задачей которой является целенаправленное изменение и создание благоприятной и экологически устойчивой окружающей среды для человека, обеспечивающей комфортное существование, возможность производства и передачи информации (по А. В. Киншту [8]).

[8]***«Зеленая» архитектура*** (англ. Green Architecture): устойчивая (зеленая) архитектура − экологически ориентированная архитектура высоких технологий [7].

2. ***Социальные тренды:*** социо-ориентированная архитектура[9], социо-архитектура[10] или исцеляющая архитектура[11], безопасная архитектурная среда[12] и безопасная архитектура, а также пространства, реализующие условия дистанцирования;

3. ***Новая методология проектирования:*** дигитальная (цифровая) архитектура[13], генеративная архитектура[14], параметрическая (алгоритмическая) архитектура или параметризм[15];

4. ***Инновационное формообразование и современные архитектурные стили:*** бионика[16] и бионическая архитектура или биоархитектура (в настоящее время, включая генную инженерию), или архитектурная бионика – органическая архитектура[17], на стыке с концепцией устойчивого развития и эко-подхода появилась биоклиматическая архитектура[18], кинетическая или динамическая архитектура[19], параметризм (см. сноску 15);

---

[9]***Социо-ориентированная архитектура*** – архитектура, направленная на решение ключевых социальных проблем (например, доступное жилье) и отвечающая на острые потребности и запросы общества (согласно выступлению мексиканского архитектора Микеля Рохкинда, 2014 г.).

[10]***Социо-архитектура*** – архитектура, оказывающая своим, в первую очередь, формообразованием, положительное (оздоравливающее) воздействие на психоэмоциональное состояние человека (согласно фразе психолога Хамфри Осмонда и канадского архитектора Ке Идзуми, 1951 г.).

[11]***Исцеляющая архитектура*** – архитектура, которая лечит (согласно теории Б. Лоусона [9]).

[12]***Безопасная архитектурная среда (БАС)*** – это такая среда, в которой человек может жить без опасения за свою жизнедеятельность [10].

[13]***Дигитальная архитектура*** (англ. *Digital* – цифровой) – архитектурное течение, базирующееся на применении компьютерного моделирования, программирования и визуализации при разработке виртуальных и физических структур.

[14]***Генеративная архитектура*** – архитектура, полученная в результате определенных алгоритмов, основанных на ранее полученных данных и системы принятия решений, созданной архитектором (согласно магистру архитектуры Майклу Хансмэйеру, занимающемуся исследованиями на кафедре архитектуры в Швейцарском Технологическом Институте в Цюрихе).

[15]***Параметризм*** (англ. *Parametricism*), также параметрическая архитектура, алгоритмическая архитектура – направление в современной архитектуре, «новый стиль постиндустриального общества», «стиль цифровой эпохи»; архитектурное формообразование на основе заданного алгоритма и параметров. Параметрический объект – это система, в которой применяются динамические элементы, основанные на тесселяции, сплайнах и математических преобразованиях, и все они связаны между собой параметрически, за счет чего достигается гибкость создаваемой системы (согласно архитектору Патрику Шумахеру, 2008 г. [11]).

[16]***Бионика*** (англ. *Bionics*) – наука, изучающая возможности использования в технике кибернетических, конструкционных и энергетических принципов, реализованных в живых организмах (по данным медицинской энциклопедии).

[17]***Органическая архитектура*** – архитектура, которая следует природной, «органической» целесообразности, а форма сооружений определяется их назначением и условиями среды, подобно форме естественных организмов (по данным словаря Большой Российской энциклопедии. URL: https://bigenc.ru/fine_art/text/2683481 (дата обращения: 03.11.2021).

[18]***Биоклиматическая архитектура*** (англ. *Bioclimatic Architecture*) – архитектура, в которой применяются технологии, обеспечивающие комфортные условия с учетом климатических особенностей региона [12].

[19]***Кинетическая (динамическая) архитектура*** – направление архитектуры, в котором части здания могут изменяться относительно друг друга, не нарушая общей целостности структуры.

5. ***Информационные технологии проектирования:*** *BIM*[20] или ТИМ[21] -моделирование, ГИС-технологии, беспилотное и лазерное сканирование;

6. ***Аддитивные технологии:*** 3*D*-печать, инновационные материалы и прототипирование;

7. ***Виртуальная и дополненная реальность*** в архитектуре и др.

Тема ***устойчивого развития,*** первой группы (категории) инновационных направлений не так нова: появилась еще в XX веке (ориентировочно с 1950-х гг.) [13]. Тем не менее в настоящее время она приобретает особенно важное значение и распространение в сфере архитектуры и строительства и актуализируется с учетом появившихся современных технологий (согласно докладу В. И. Травуша на собрании РААСН об основных направлениях внедрения инноваций в архитектуру, градостроительство, в том числе территориальное планирование, строительство и др. [2]). В общей сложности ***устойчивый подход*** реализуется во взаимодействии трех компонентов:

– ***экологического***,
– ***социального*** и
– ***экономического*** (см. рисунок) [14].

Концепция устойчивого развития по С. А. Евтееву и Р. А. Перелету [14]

Согласно представленной схеме концепции, становится очевидным тесная связь устойчивого развития и экологического подхода в архитектуре. Отметим, что ***эко-архитектура*** реализуется за счет следующих составляющих:

– ***климат*** (рационализация решений в архитектуре с учетом специфичных климатических факторов),
– ***энергия*** (энергоэффективное потребление и возобновляемые источники) и
– ***материалы*** (экологичные материалы и способы их производства).

---

[20]***BIM*** (англ. *Building Information Model*) – информационная модель здания.
[21]***ТИМ*** – технологии информационного моделирования.

В контексте эко-подхода активно развивается ***«зеленая» архитектура***, сочетающая в себе и реализующая многие факторы – единство с окружающей средой, микроклимат, экологичность отделочных материалов и т. д. Применение «зеленых» технологий опирается на различные системы оценки и экологической сертификации [7].

Таким образом, реализуя компоненты устойчивого развития, составляющие эко-подхода и «зеленые» технологии, формируется устойчивая архитектура с минимальным воздействием на окружающую среду: климато-ориентированная, энергосберегающая, озелененная, безопасная и экономичная. В нашем понимании устойчивость в архитектуре должна раскрываться и на каждой стадии жизненного цикла архитектурного объекта и пространственной среды: концепция, проект, строительство, эксплуатация и утилизация – по аналогии с этапами жизни человека: зарождение, рождение, становление, жизнь и смерть. И на каждом этапе должно поддерживаться гармоничное и дружелюбное взаимодействие с окружающей средой.

Современные ***социальные тренды*** второй группы инновационных направлений дополняют концепцию устойчивого развития и вносят определенные запросы к архитектурно-пространственной среде.

Новая ***методология проектирования*** базируется на математических алгоритмах построения форм и напрямую влияет на следующую группу инноваций – ***формообразование*** и соответствующие особенности архитектурного облика. Следует отметить, что роль архитектора в процессе проектирования меняется: он, являясь управленцем алгоритмов, становится творцом расчетной системы, а не самой создаваемой пространственной оболочки и среды [15]. Однако заключительный выбор ее параметров и качеств, в том числе архитектурно-художественных, как и их оценка остается за человеком-архитектором. В свою очередь ***информационные, аддитивные и др. технологии*** являются инструментами управления и внесения исходных параметров в расчетную систему.

Проведенный анализ и обзор инноваций XXI столетия позволил выявить направления и категории новшеств в сфере архитектуры и градостроительства, что может лечь в основу дальнейшей их классификации, стать основой для структурного исследования особенностей архитектурно-пространственной среды и ее инновационности, а также послужить разработке термина «инновационная архитектура».

Современный этап технологического развития общества породил множество инноваций во всех сферах жизнедеятельности, ряд из которых оказывает существенное влияние на архитектурно-пространственную среду [16]. Ускорение и интенсивность внедрения инноваций поспособствовало обновлению и изменению ее облика, появлению принципиально новых качеств и характерных черт, специфика которых отразит и сохранит образ VI нано-технологического уклада человечества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коклан, Д. Знания, инновации и творческий потенциал как основа экономического развития в XXI в. / Д. Коклан, Дж О' Коннел, И. Мерфи ; перевод С. А. Нагорновой (СГСЭУ). – Текст : электронный // Вестник международных организаций. – 2010. – № 3 (29). – С. 21–32. – URL: https://www.hse.ru/data/2011/03/22/1211134041/знания.pdf (дата обращения: 20.08.2021).

2. Травуш, В. И. Инновации и архитектура. Как стать творцом и новатором? / В. И. Травуш. – Текст : электронный // Актуально. – 2010. – № 4. – С. 7–16. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsii-i-arhitektura-kak-stat-tvortsom-i-novatorom/viewer (дата обращения: 13.08.2021). – (На основе доклада : Травуш, В. И. Архитектура и инновации (сессия Общего собрания РААСН 20 мая 2010 года) // Архитектура и строительство Москвы. – 2010. – Том 551, № 3. – С. 4–10. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_15219024_86003091.pdf (дата обращения: 10.11.2021).

3. Тарасова, Ю. И. Кластер как структурная единица территориально-пространственной организации среды в России / Ю. И. Тарасова, А. В. Киншт. – Текст : электронный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – № 6. – С. 66–74. – URL: https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/515/498 (дата обращения: 13.08.2021).

4. Тарасова, Ю. И. Территориальный кластер в градостроительном планировании России / Ю. И. Тарасова, А. В. Киншт. – Текст : электронный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – № 21 (4). – С. 22–34. URL: https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/592/567 (дата обращения: 13.08.2021).

5. Гашенко, А. Кластер и преобразование городского пространства / А. Гашенко, Ю. Тарасова. – Текст : электронный // Проект байкал. – 2021. – № 18 (67). – С. 76–81. – URL: https://www.projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/1758 (дата обращения: 13.08.2021).

6. Инновация. – Текст : электронный. // Большая Российская энциклопедия (БРЭ) : официальный сайт. – URL: https://bigenc.ru/economics/text/2012242 (дата обращения: 17.08.2021).

7. Есаулов, Г. В. Устойчивая архитектура – от принципов к стратегии развития / Г. В. Есаулов. – Текст : электронный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 6. – С. 9–24. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivaya-arhitektura-ot-printsipov-k-strategii-razvitiya/viewer (дата обращения: 28.10.2021).

8. Киншт, А. В. Экология и средовой подход как часть профессиональных знаний архитектора и градостроителя / А. В. Киншт // Региональные архитектурно-художественные школы. – 2017. – № 1. – С. 200–204. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sredovoy-podhod-i-okruzhayuschaya-sreda-v-arhitekture-i-gradostroitelstve-ekologicheskiy-vzglyad (дата обращения: 29.10.2021). – Текст : электронный.

9. Lawson, B. Healing Architecture / B. Lawson // Arts & Health. – 2010. – № 2. – P. 95–108.

10. Каримуллин, Т. А. Безопасный город в экстремальном мире. Постановка проблемы. Модель / Т. А. Каримуллин, Г. Н. Айдарова. – Текст : непосредственный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 2 (16). – С. 26–37.

11. Schumacher, P. Parametricism – A New Global Style for Architecture and Urban Design / P. Schumacher // AD Architectural Design – Digital Cities[d]. – London, 2008. –Vol. 79, № 4 (Параметризм – Новый Глобальный Стиль для Архитектуры и Городского Дизайна / перевод П. Белого). – URL: https://patrikschumacher.com/Texts/Parametricism_Russian%20text.html (дата обращения: 29.10.2021).

12. Уморина, Ж. Э. Технологические особенности бионической архитектуры / Ж. Э. Уморина. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2019. – № 3. – С. 69–77.

13. Ремизов, А. Н. Экоустойчивая архитектура как процесс / А. Н. Ремизов. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2016. – № 4. – С. 48–51.

14. Евтеев, С. А. Наше будущее: доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию (МКОСР) / С. А. Евтеев, Р. А. Перелет. – Москва : Прогресс, 1989. – 376 с. – Текст : непосредственный.

15. Сасскинд, Д. Будущее без работы. Технологии, автоматизация и стоит ли их бояться / Д. Сасскинд ; под редакцией А. Дунаева. – Москва : Individuum, 2020. – 352 с. – ISBN 978-5-6044959-4-0. – Подробнее на livelib.ru: https://www.livelib.ru/book/1005578212-buduschee-bez-raboty-tehnologii-avtomatizatsiya-i-stoit-li-ih-boyatsya-deniel-sasskind.

16. Сапрыкина, Н. А. Новые подходы к формированию архитектурного пространства:

инновационные концепции / Н. А. Сапрыкина. – Текст : электронный // Архитектура: наследие, традиции и инновации : материалы Международной научной конференции, 26-27 февраля 2019 года. – Москва, 2019. – URL: https://archi.ru/elpub/91994/novye-podkhody-k-formirovaniyu-arkhitekturnogo-prostranstva-innovacionnye-koncepcii (дата обращения: 28.12.2021).

TARASOVA Yuliya Igorevna, candidate of art history, associate professor of the chair of architecture

INNOVATIONS IN THE ARCHITECTURAL-SPATIAL ENVIRONMENT

Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts
38, Krasny prospekt St., Novosibirsk, 630099, Russia. Tel. +7 (383) 209-17-50 (+ 1424); e-mail: yitarasova@nsuada.ru

Key words: innovation, innovativeness, architecture, sustainable architecture, eco-architecture.

The term «innovation» is considered. Key innovations of the 21st century are presented, reflecting a new stage in the technological development of society. The categories and directions of innovations that have a significant impact on the formation of the architectural and spatial environment and its features have been determined. Innovation endows architectural objects and spatial environment with an innovative property (innovativeness).

REFERENCES

1. Coquelin D., O'Connell J., Murphy I. Znaniya, innovatsii i tvorcheskiy potentsial kak osnova ekonomicheskogo razvitiya v XXI v. [Knowledge, innovation and creativity as the basis for economic development in the 21st century]: perevod S. A. Nagornovoy (SGSEU). Vestnik mezhdunarodnykh organizatsiy [International Organisations Research Journal], 2010, № 3 (29). P. 21–32. – URL: https://www.hse.ru/data/2011/03/22/1211134041/знания.pdf (data obrascheniya: 20.08.2021).
2. Travush V. I. Innovatsii i arkhitektura. Kak stat tvortsom i novatorom? [Innovation and architecture. How do you become a creator and innovator?]. Aktualno, 2010, № 4, P. 7–16: na osnove doklada V. I. Travusha «Arkhitektura i innovatsii» [Architecture and innovation]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsii-i-arhitektura-kak-stat-tvortsom-i-novatorom/viewer (data obrascheniya: 13.08.2021). – (na osnove doklada: Trevush V. I. Arkhitektura i innovatsii (sessiya Obschego sobraniya RAASN 20 maya 2010 goda). Arkhitektura i stroitelstvo Moskvy, 2010. Vol. 551, № 3. P. 4–10. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_15219024_86003091.pdf (data obrascheniya: 10.11.2021).
3. Tarasova Yu. I., Kinsht A. V. Klaster kak strukturnaya edinitsa territorialno-prostranstvennoy organizatsii sredy v Rossii [Cluster as a structural unit of the territorial-spatial organization of the environment in Russia]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta, 2018, № 6. P. 66–74. – URL: https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/515/498 (data obrascheniya: 13.08.2021).
4. Tarasova Yu. I., Kinsht A. V. Territorialny klaster v gradostroitelnom planirovanii Rossii [Territorial cluster in urban planning in Russia]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta, 2019, №. 21 (4). P. 22–34. URL: https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/592/567 (data obrascheniya: 13.08.2021).
5. Gashenko A., Tarasova Yu. Klaster i preobrazovanie gorodskogo prostranstva [Cluster and urban transformation]. Proekt baikal, 2021, № 18 (67). P. 76–81. – URL: https://www.projectbaikal.com/index.php/pb/article/view/1758 (data obrascheniya: 13.08.2021).
6. Innovatsiya [Innovation]. Bolshaya Rossiyskaya entsiklopediya (BRE). – URL: https://bigenc.ru/economics/text/2012242 (дата обращения: 17.08.2021).

7. Esaulov G. V. Ustoychivaya arkhitektura – ot printsipov k strategii razvitiya [Sustainable architecture – from principles to development strategy]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta, 2014, № 6. P. 9–24. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivaya-arhitektura-ot-printsipov-k-strategii-razvitiya/viewer (data obrascheniya: 28.10.2021).

8. Kinsht A. V. Ekologiya i sredovoy podkhod kak chast professionalnykh znaniy arkhitektora i gradostroitelya [Ecology and environmental approach as part of the professional knowledge of an architect and urban planner]. Regionalnye arkhitekturno-khudozhestvennye shkoly [Regional architectural and art school], 2017, № 1. P. 200–204. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sredovoy-podhod-i-okruzhayuschaya-sreda-v-arhitekture-i-gradostroitelstve-ekologicheskiy-vzglyad (data obrascheniya: 29.10.2021).

9. Lawson B. Healing Architecture, Arts & Health. 2010, 2:2. P. 95–108.

10. Karimullin T. A., Aydarova G. N. Bezopasny gorod v ekstremalnom mire. Postanovka problemy. Model [Safe city in an extreme world. Formulation of the problem. Model]. Izvestiya Kazan. gos. arkhitektur.-stroit. un-ta [News of the Kazan State University of Architecture and Engineering], 2011, № 2 (16). P. 26–37.

11. Schumacher P. Parametricism – A New Global Style for Architecture and Urban Design. AD Architectural Design - Digital Cities [d], London, 2008, Vol. 79, № 4 (Parametrizm – Novy Globalny Stil dlya Arkhitektury i Gorodskogo Dizayna: perevod P. Belogo). – URL: https://patrikschumacher.com/Texts/Parametricism_Russian%20text.html (data obrascheniya: 29.10.2021).

12. Umorina Zh. E. Tekhnologicheskie osobennosti bionicheskoy arkhitektury [Technological features of bionic architecture]. Vestnik Belgorod. gos. tekhnolog. un-ta im V. G. Shukhova [The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov], 2019, № 3. P. 69–77.

13. Remizov A. N. Ekoustoychivaya arkhitektura kak protsess [Sustainable architecture as a process]. Zhilischnoe stroitelstvo [Housing Construction], 2016, № 4. P. 48–51.

14. Evteev S. A., Perelet R. A. Nashe buduschee [Our future]. Doklad Mezhdunarodnoy komissii po okruzhayuschey srede i razvitiyu (MKOSR), Moscow, Progress, 1989, 376 p.

15. Sasskind D. Buduschee bez raboty. Tekhnologii, avtomatizatsiya i stoit li ikh boyatsya [The future is out of work. Technology, automation and should you be afraid of them], pod red. A. Dunaeva. Moscow : Individuum, 2020, 352 p. ISBN 978-5-6044959-4-0. – Podrobnee na livelib.ru: https://www.livelib.ru/book/1005578212-buduschee-bez-raboty-tehnologii-avtomatizatsiya-i-stoit-li-ih-boyatsya-deniel-sasskind.

16. Saprykina N. A. Novye podkhody k formirovaniyu arkhitekturnogo prostranstva: innovatsionnye kontseptsii [New approaches to the formation of architectural space: innovative concepts]. Arkhitektura: nasledie, traditsii i innovatsii. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii 26-27 fevralya 2019. Moscow, 2019. – URL: https://archi.ru/elpub/91994/novye-podkhody-k-formirovaniyu-arkhitekturnogo-prostranstva-innovacionnye-koncepcii (data obrascheniya: 28.12.2021).

© Ю. И. Тарасова, 2022
Получено: 11.12.2021 г.

УДК 72.01

Е. Ю. ВИТЮК, канд. архитектуры, начальник НИЧ, доц. кафедры архитектурного проектирования

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК КАТАЛИЗАТОР РАЗВИТИЯ ПОДХОДОВ К АРХИТЕКТУРНОМУ ФОРМООБРАЗОВАНИЮ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный архитектурно-художественный университет» Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 23. Тел.: (343) 371-33-69, факс: (343) 371-57-32; эл. почта: help_nir@mail.ru
Ключевые слова: архитектурная типология, формообразование, информационное моделирование, цифровой морфогенез, оптимизация формы.

Рассмотрена перспектива изменений в области архитектурного формообразования и, как следствие, архитектурной типологии с учетом темпов развития и внедрения процесса цифрового морфогенеза в архитектурное проектирование.

Информационное моделирование в архитектуре, градостроительстве, дизайне и изобразительном искусстве за последнее десятилетие совершило мощный скачок вперед, снабдив профессиональное сообщество множеством разнообразных инструментов осуществления моделирования, проектирования, анализа, управления процессом проектирования и строительства и др. Подобный феномен тотальной цифровизации всех этапов деятельности в архитектурно-художественной сфере, а также возможности дальнейшего управления объектами в процессе их строительства и эксплуатации и координировании действий всех участников процесса, безусловно, требует особого внимания, детального изучения, что позволит прогнозировать дальнейшее развитие информационного моделирования и его детализацию, даст понимание потенциальных сфер применения его инструментария.

К настоящему моменту данный вопрос находится под контролем государства, что выражено в утвержденных приоритетах Стратегии научно-технического развития Российской Федерации, в национальных проектах и программах как федерального, так и регионального уровней. В частности, много внимания уделено развитию *Building Information Modeling (BIM)*, практическая ценность которого заключается в разработке различного программного обеспечения, многократно облегчающего труд архитектора и других специалистов, задействованных в процессах проектирования и эксплуатации зданий и сооружений, а также взаимодействию между участниками этих процессов.

Information Modeling (IM) или, если перейти на русский язык, информационно-математическое моделировании (ИММ) позволяет осуществлять единовременную обработку и учет огромного количества информации, связанной с требованиями к качеству создаваемого продукта: его соответствия требованиям внешней среды; потребителя; внутренним процессам, т. е. функциям, для реализации которых он и создается; требованиям к прочности и надежности конструкций изделия; контроль закладываемых параметров для соблюдения возможности реального изготовления продукта и т. д. К этому добавляется информация от смежных специалистов с их требованиями к принимаемым решениям. И в завершении немаловажную роль играет эстетический аспект, т. е. приятный внешний вид продукта, что пока не

может измерять и контролировать ЭВМ, но посредствам ИММ такая возможность должна быть доступна проектировщику. Благодаря различным средствам 3*D*-моделирования и графическим программам процесс художественного формообразования изменился, поскольку возможности в этой сфере многократно возросли, а затраты времени на изготовление объемно-пространственной модели и чертежей к ней сократились. Это оказало влияние на появление в конце XX – начале XXI вв. большого количества сооружений с пластичными скульптурными формами и активным применением бионического морфогенеза, что впоследствии может привести к созданию нового глобального архитектурного стиля. Нечто подобное наблюдается и в других областях творческой сферы: дизайне (например, усложнилась пластика автомобильного дизайна), скульптуре, ювелирном искусстве. Конечно, до появления данного подхода к проектированию все эти задачи также стояли перед людьми творческих профессий, и они их реализовывали в процессе создания здания, сооружения, промышленного изделия или предмета изобразительного искусства, но на решение данных вопросов уходило гораздо больше ресурсов, ввиду чего та оптимизация, которая стала возможна благодаря внедрению ИММ, и ее значимость для развития экономики страны (и Мира в целом) не вызывает сомнения. Актуальность развития этой сферы настолько велика, что целые институты активно разрабатывают все новые и новые инструменты ИММ, внедряя их в повседневную жизнь в виде всевозможных «умных» устройств, робототехники, программного обеспечения.

Так, *BIM* позволяет создавать модели полного цикла существования объекта – от стадии проектирования до стадии эксплуатации и «смерти» (утилизации) здания, благодаря возможности загружать и обрабатывать большие объемы графической и неграфической информации. Однако отдельный интерес вызывает вопрос применения этого инструмента и других средств ИММ в работе с формой, с поверхностью за счет возможности учитывать большее количество внешних факторов, загружаемых в модель, и влияния таких инструментов на развитие архитектурного формообразования. Делается это ввиду того, что основным объектом как теории, так и практики архитектуры, по мнению автора, является именно форма. *BIM* дает новые инструменты формообразования, на чем необходимо сфокусироваться архитекторам и специалистам в области информационных технологий, развивая этот инструментарий далее, обогащая среду *BIM* для дальнейшего совершенствования процесса разработки оптимальной формы (причем с учетом региональных особенностей: климата, рельефа, типов почв, доступных строительных материалов и т. п.; функционального назначения объекта; экологической и экономической эффективности сооружения и др.).

Исследованиям процессов ИММ и их внедрения в область архитектуры посвящены работы таких ученых, инженеров и практиков, как: А. В. Гинзбург, В. Н. Бабич, В. В. Талапов, В. В. Полуэктов, Д. Аксомитас, К. Палларья, и др. [1–5]. Все они рассматривают информационное моделирование как инструмент оптимизации деятельности архитектора и систему консолидации в режиме реального времени решений, принимаемых различными специалистами, участвующими в процессе проектирования, строительства и эксплуатации будущего объекта. *BIM* применяется в том числе для определения экономической целесообразности строительства, для экспертизы проектной документации. Кроме того, данный инструмент нашел применение не только в случаях нового строительства, но и при реконструкции историко-культурного наследия.

Сегодня уже нет сомнения в дальнейшем развитии выбранного подхода,

при котором целостное представление о здании будет формироваться не только в представлении главного архитектора проекта, но и других заинтересованных лиц, не имеющих соответствующих знаний и/или навыков объемно-пространственного мышления.

Однако указанными возможностями *BIM* не стоит ограничиваться. Важным вопросом также является влияние развития ИММ на развитие формообразования в архитектуре и, соответственно, архитектурной типологии. Рассмотрим его более подробно.

ИММ имеет важную отличительную черту от многих других подходов к формообразованию объектов: возможность сбора, систематизации, обработки огромного количества самой разнообразной информации с выстраиванием взаимосвязей или зависимостей между различными данными, что во многом способствует переходу от набора условий к созданию конкретной поверхности из набора определенных точек. Именно это позволяет говорить о применении ИММ в сферах архитектурно-художественной деятельности и, что весьма интересно и важно, позволяет реализовать совершенно новые подходы к разработке формы.

В качестве примера рассмотрим деятельность исследовательского института *ICD ITKE* и уникальный результат, воплотившийся в архитектурный объект (рис. 1). Суть проведенного эксперимента заключается в формировании алгоритма движений водяного паука при постройке жилища, разработки программы и робота для повторения этого алгоритма. При длительном наблюдении и фиксации каждого движения насекомого была разработана программа, позволяющая в пространстве определять необходимые координаты для создания формы искусственного объекта, в данном случае – павильона.

Данный эксперимент является результатом междисциплинарного взаимодействия и влияния экологического подхода на развитие идей архитектурного формообразования. Здесь сплелись воедино архитектура, робототехника и информатика, математика, биология, инженерия.

Еще одним интересным примером является разработка Гарварда – новый строительный материал, изготавливаемый из измельченных раковин моллюсков и 3*D*-печать на его основе (рис. 2) [6]. Используя метод 3*D*-печати и робота с экструзированной системой, позволяющей создавать материал с разными свойствами при печати, группа инженеров разработала новый экологически чистый строительный материал, который после истечения срока его эксплуатации не навредит окружающей среде. Весьма интересны бионические формы, получаемые при печати. По сути, здесь мы имеем дело с расшифровкой «узора» сложных переплетений волокон растений, разработкой алгоритма, способного выполнить необходимые движения в пространстве для повторения системы соединения волокон.

На основе данного подхода в лаборатории Массачусетского технологического института профессор Нери Оксман реализовала свои дизайн-идеи по изготовлению одежды, масок, шелкового павильона, проекта “*Aguahoja*” и др., что можно обозначить как активное развитие цифрового морфогенеза, невозможного без ИММ. В процессе своей работы профессор использует моделирование роста живых организмов – построение алгоритмов, имитирующих естественные процессы деления клеток, роста организма, т. е. получения конечной координаты каждой точки поверхности искусственного объекта в пространстве, основываясь на прогностической модели [6–8].

Представленные примеры свидетельствуют о новом тренде в архитектуре и

дизайне, который можно обозначить как «природные технологии». Это – революция в формообразовании, ведь за основу взяты не правильные геометрические формы, не пропорциональные системы, не эстетические предпочтения и видение конкретного человека и даже не функциональные процессы, для реализации которых создается объект, а принципы роста формы самой Природы.

Примером взаимодействия математического моделирования и архитектурного формообразования является Биоклиматическая архитектура. При таком подходе к получению формы объекта ключевую роль играет принцип сохранения энергии: «…проектирование и строительство зданий должно быть проведено таким образом, чтобы свести к минимуму необходимость расхода тепловой и электрической энергии на их отопление, охлаждение и кондиционирование» [9, с. 46]. ИММ способствует разработке моделей (планировочных и объемно-пространственных решений, а иначе говоря, геометрических фигур и тел), с применением которых можно провести эксперимент по взаимодействию внутренних пространств объекта и внешних факторов природной среды (например, инсоляции, ветровой нагрузки и пр.), выстроив тем самым взаимосвязь между формой объекта и снижением агрессивного на нее воздействия внешних нагрузок. Либо выстроить направления движения внутренних потоков воздуха для поиска оптимальных планировочных решений, направленных на создание естественной аэрации помещений. Также можно симулировать потоки звука, движение людей при эвакуации из здания, нагрузки на объект во время чрезвычайных ситуаций, вызванных явлениями природы, и т. п. Такая геометрическая модель становится основой для принятия архитектурно-планировочных решений, направленных на создание внутри здания микроклимата без применения инженерных систем и устройств; оптимизацию путей эвакуации; выбор точек размещения устройств, усиливающих конструкцию и пр., т. е. биоклиматическая архитектура – это разработка оптимизированной модели системы внутренних пространств и наружной оболочки, базирующейся на заданных алгоритмах макро- и микроуровней.

Биоклиматическая методика активно используется архитектором Луисом де Гарридо. Он выделяет в ней три основных этапа [10]:

– сбор климатологических данных (вместе с остальной информацией, необходимой для проектирования конкретного здания);

– создание соответствующих биоклиматических проторешений;

– использование наиболее подходящих архитектурно-биоклиматических стратегий.

Рассмотрим его подход более детально на примере проекта жилого дома (рис. 3–5). Посредством программного обеспечения архитектор подбирает оптимальную форму объекта для обеспечения беспрепятственного проникновения солнечных лучей во внутренние пространства в зимнее время и защиты сооружения от перегрева в летнее. Планировки этажей выполнены таким образом, что обеспечивают естественную циркуляцию воздуха без использования принудительной вентиляции (холодный воздух из подвальных помещений попадает в центральное пространство дома, нагревается и поднимается выше, к кровле). Этому способствует расположение лестницы, формирующей атриум и создающей тем самым своеобразную вытяжную систему. Материалы, используемые во внутренней отделке помещений, обладают характеристиками, способствующими отражению и пропуску солнечного света для создания естественного освещения всех помещений дома.

Для получения оптимальной формы здания архитектор разрабатывает

модель с применением сведений о климате, выстраивая взаимосвязи между направлениями солнечных лучей и ветров и расположением точек, образующих поверхность будущего сооружения, в пространстве. Применение в данном процессе компьютерных программ позволяет ускорить процесс моделирования и увеличить количество вариантов проторешений.

Процесс цифрового морфогенеза становится весьма популярен ввиду его относительной простоты по сравнению с ручным исполнением при проектировании сложных форм, одновременном учете большого количества данных, а также за счет получения эффектного с точки зрения эстетики результата. Важным является и тот аспект, что внесение изменений в полученное архитектурное решение также становится более легким и доступным с возможностью сохранения всех вариантов и упрощением процесса их сравнения. Именно поэтому на сегодняшний день в этом направлении появляются все новые и новые ветви: биоклиматическая архитектура, пассивное здание, бионическое формообразование, параметрическая архитектура, дигитальная архитектура и т. д.

Рождение новых методов получения архитектурной формы естественным образом приводит к развитию архитектурной типологии.

Архитектурная типология в своем классическом понимании представляет собой классификацию объектов архитектуры по общим признакам: функциональному назначению; типам; объемно-планировочным параметрам; закономерностям формообразования; градостроительным функциям и требованиям к ним; эксплуатационным качествам (рис. 6). Если опираться на работу С. Г. Змеула, то классификация дается по следующим характеристикам [11, 12]: функциональному назначению; по времени и характеру эксплуатации; этажности; конструктивному решению; объемно-планировочному решению; строительным материалам и технологиям.

Ввиду расширения спектра «закономерностей формообразования» посредствам возможностей ИММ требуется внести корректировку в данную классификацию, выделив новые подгруппы.

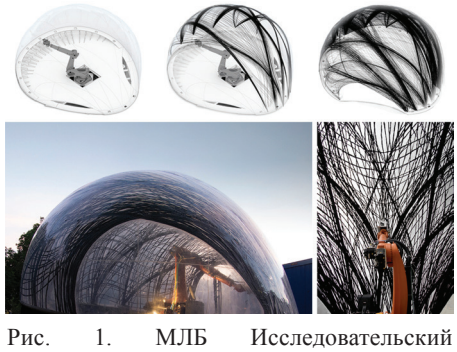


Рис. 1. МЛБ Исследовательский ITKE павильон, 2014–2015 гг., Аким Менгес (*Achim Menges*), Институт вычислительного дизайна (ICD) в Университете Штутгарта (источник: http://icd.uni-stuttgart.de/?cat=6])

Рис. 2. 3*D*-печать конструкции на основе хитина (*Hardy, E IBUKU MIT* architecture, 2016 oct.19 7-429) (Источник: https://www.icmimarlikdergisi.com/2018/05/14/mit-dijital-olarak-uretilen-su-bazli-yenilenebilir-malzemeyi-gelistiriyor/)

Рис. 3. Проект жилого дома, арх. Л. Гарридо [10]

Задачей архитектурной типологии как науки является изучение влияния климата, архитектурной светотехники и акустики, требований санитарной гигиены и др. на форму и структуру зданий и сооружений, через решение которой происходит в том числе определение тенденций и перспектив совершенствования искомых моделей для зданий разного типа. А. Л. Гельфонд в своей работе уже во введении указывает на «универсальные факторы», оказывающие воздействие на «формирование архитектуры»: социальные, экономические, экологические, градостроительные, функциональные, композиционные, объемно-планировочные, конструктивные, архитектурно-художественные [13, с. 4], а также предлагает введение нового определения – «сквозная архитектурная типология», указывая на необходимость способности к трансформации объекта под воздействием новых требований [13, с. 194].

К настоящему моменту под влиянием развития ИММ значительные изменения претерпевают выделенные типологические классы: «конструктивные решения», «объемно-планировочные решения», «строительные материалы и технологии». Приведенные в данном разделе примеры являются подтверждением этого. Полностью меняется сам подход к созданию формы, который под воздействием ставшего весьма популярным в конце XX века экологического подхода (тотальной экологизации), активно приближается к естественному природному принципу формообразования [14–16].

Немало этому способствует междисциплинарность, также ставшая популярным подходом в науке конца XX – начала XXI веков, и синергетический подход, естественным образом сформировавшийся на базе тенденций развития системного и междисциплинарного подходов. Универсальные математические методы обработки информации проникли в различные научные сферы, позволив увидеть ранее скрытые взаимосвязи различных процессов, расширив возможности применения моделирования, создав возможность междисциплинарного переноса моделей.

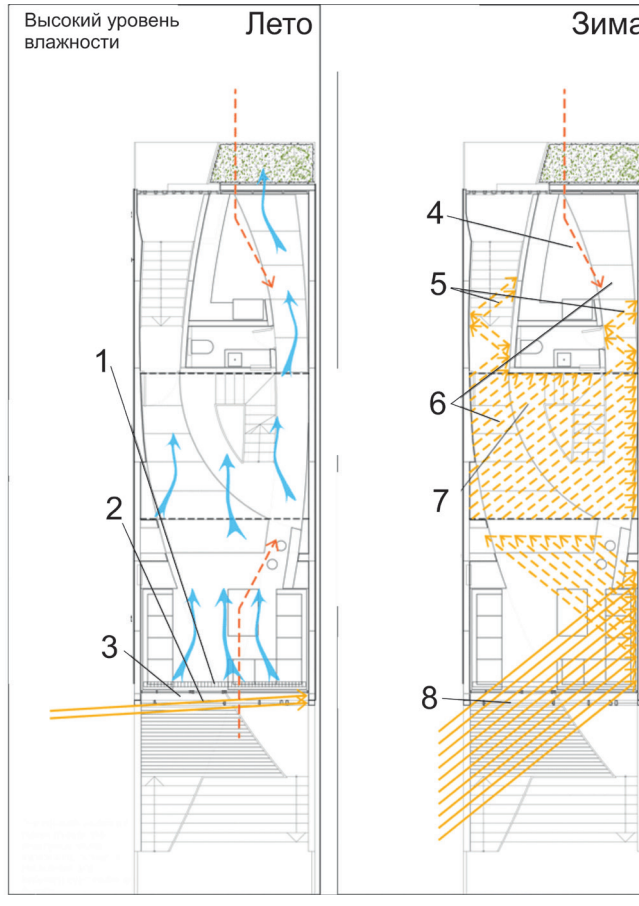


Рис. 4. Циркуляция холодного и теплого воздуха внутри дома (план этажа) (пер. с англ. Витюк Е. Ю.) [10]: 1 – прохладный воздух поступает в дом благодаря архитектурной структуре и системе естественного охлаждения; 2 – деревянные солнцезащитные козырьки защищают южный фасад от прямых солнечных лучей и предотвращают парниковый эффект в здании; 3 – конструкция фасада обеспечивает обзор экстерьера, но предотвращает попадание прямых солнечных лучей в пространство дома; 4 – зимой непрямые солнечные лучи попадают в самые удаленные части дома, обеспечивая естественное освещение; 5 – яркие цвета стен отражают солнечные лучи зимой, что естественным образом позволяет освещать пространства дома; 6 – покрытие в верхнем уровне сделано из стекла, поэтому естественное освещение достигает нижнего уровня без препятствий; 7 – правильная форма дома позволяет максимальному количеству солнечных лучей проникать в дом и естественным образом освещать и обогревать пространства; 8 – особая солнцезащитная конструкция позволяет зимой пропускать максимальное количество солнечного света

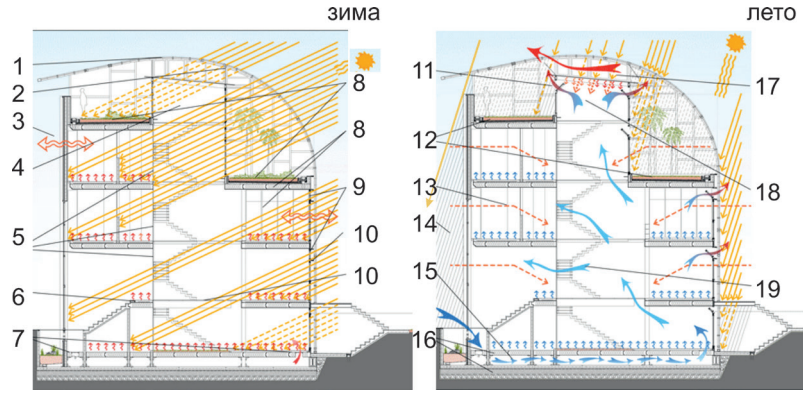


Рис. 5. Циркуляция холодного и теплого воздуха внутри дома, мероприятия по естественному охлаждению, обогреву и освещению пространств (продольный разрез); арх. Л. Гарридо (пер.с англ. Витюк Е. Ю.) [10]: 1 – тепловые солнечные коллекторы для теплой воды; 2 – фотоэлектрические коллекторы для преобразования энергии; 3 – благодаря выбранным материалам стены дышат непрерывно и естественно, что обеспечивает естественную вентиляцию без потерь энергии; 4 – в доме есть крытое внутреннее пространство с наклонным перекрытием, которое улавливает огромное количество солнечного излучения, чтобы освещать центральную часть дома и нагревать ее благодаря парниковому эффекту; 5 – некоторые ограждающие конструкции сделаны из стекла, чтобы прямые солнечные лучи освещали и нагревали помещения там, где это необходимо; 6 – входная зона оснащена полом с подогревом для создания средней температуры между холодом снаружи и внутренним теплом дома; 7 – вентиляционные отверстия закрываются, чтобы холодный воздух не попадал в дом; при необходимости их можно открывать или частично закрывать для вентиляции; 8 – озеленение крыш с высоким уровнем тепловой инерции; 9 – верхние части окон закрыты, чтобы теплый воздух оставался внутри; 10 – солнцезащитное ограждение (жалюзи); 11 – горячий воздух; 12 – «зеленые» перекрытия; 13 – непрямое солнечное освещение; 14 – затененная зона создает и поддерживает прохладный «воздушный карман»; 15 – охлажденный естественным образом воздух попадает и движется через подвальные шахты; 16 – толстые железобетонные конструкции аккумулируют естественную прохладу земли; 17 – двойное покрытие; 18 – непрямое верхнее солнечное освещение; 19 – естественно-охлажденный воздух проходит через внутренние помещения, охлаждая пространства

Рис. 6. Разделы архитектурной типологии: постоянные и изменяющиеся

Вывод. Информационные технологии позволяют обеспечить комплексное решение задач архитектурного проектирования в автоматизированном режиме при значительном сокращении времени принятия проектных решений и их последующей разработки с учетом всех сопутствующих требований, ограничений и факторов. Управление информационными потоками на протяжении всего периода создания архитектурного объекта, включая процессы проектирования и реализации/контроля; возможность извлечения разнообразной информации о спроектированном объекте, а также применение 3*D*-моделирования.

Проектирование архитектурного объекта или градостроительного комплекса (планировочной структуры) выполняется на основе выработанной концептуальной композиции определенного архитектурного пространства, характеризующей авторский замысел относительно используемых форм, элементов, конструкций, их взаимосвязи (с учетом принципов пропорциональности и масштабности), предназначенных для реализации требуемого функционального назначения и смыслового художественного образа. ИММ дает возможность не только получить модель – объемно-пространственное решение, основанное на избранной концепции, но и дать оценку ее соответствия требованиям экологичности, надежности, прочности, функциональности, связности и т. д. Из такой модели можно выделить отдельные блоки – подзадачи – или характеристики будущего объекта для более глубокой разработки (например, подбора конструктивного решения покрытий для сохранения задуманной пластичности формы). Чем более развиты инструменты ИММ, тем быстрее будут протекать сопутствующие проектированию процессы, тем больше свободы получит архитектурная мысль и смелее будут решения по формообразованию, тем точнее будут конструктивные и инфраструктурные решения. В этом и будет реализовываться триада Витрувия «польза – прочность – красота». По сути, ИММ обеспечивает развитие нового инструмента реализации творческого процесса поиска выразительной формы – цифрового морфогенеза. Именно это позволяет утверждать, что информационно-математическое моделирование – это инновационный подход к проектированию, строительству, обеспечению эксплуатации и ремонту объекта, к управлению жизненным циклом объекта. Это новая методология, включающая геометризацию архитектурных форм (архитектурного пространства), параметризацию проектируемого объекта, оптимизацию формы, применение фрактальных принципов формообразования, реализующая синергетический подход.

Полученные результаты позволят расширить арсенал применяемых методов (технологий) в процессах архитектурно-градостроительного проектирования с поиском перспективных решений, отвечающих современным требованиям экологичности, функциональности, технологичности, экономичности, надежности; обеспечат методологическую базу информационно-математического моделирования объектов архитектурно-градостроительной практики.

Компьютерные экспериментальные исследования на основе BIM-технологий способствуют накоплению творческого потенциала, отработке практических приемов проектирования, мотивируют на осмысленную познавательную деятельность.

Методология компьютерного экспериментирования может способствовать оптимизации процессов учета внешних воздействий на объект проектирования, что приведет к сокращению затрат на проведение экспериментов на устойчивость конструкций и адекватность (соответствие) формы с применением дорогостоящего оборудования. Все процессы, силы и воздействия могут быть включены в аналитическую систему, контролирующую процессы моделирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабич, В. Н. Аспекты математизации архитектуры в постнеклассический период / В. Н. Бабич, А. Г. Кремлев. – Текст : электронный // Архитектон: известия вузов. – 2016. – № 1 (53). – URL: http://archvuz.ru/2016_1/2.

2. Гинзбург, А. В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта / А. В. Гинзбург. – Текст : непосредственный // Информационные ресурсы России. – 2016. – № 5(153). – С. 28–31.

3. Полуэктов, В. В. Технологии информационного моделирования (BIM) при архитектурном и градостроительном проектировании / В. В. Полуэктов. – Текст : непосредственный // Архитектурные исследования. – 2016. – № 1(5). – С. 46–55.

4. Талапов, В. В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В. В. Талапов. – Москва : ДМК – Пресс, 2015. – 409 с. – ISBN 978-5-97060-291-1. – Текст : непосредственный.

5. Талапов, В. В. Послесловие к BIM-форуму: кого и кому учить bim-технологиям проектирования / В. В. Талапов, Б. Е. Махиев, А. В. Хапин. – Текст : непосредственный // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – 2019. – № 4. – С. 157–160.

6. Атаева Дж. Нери Оксман: Кафка, броня, шезлонг / Дж. Атаева. – Текст : электронный // Art Electronics. – 2013. – URL: https://artelectronics.ru/posts/neri-oksman-kafka-bronya-shezlong.

7. Bensoussan, H. Neri Oxman: A 3D-printing pioneer and visionary / H. Bensoussan. – URL: https://www.sculpteo.com/blog/2016/10/05/neri-oxman-a-3D-Printing-pioneer-and-visionary/. – Текст : электронный.

8. Hill David J. 3D-Printing Is The Future Of Manufacturing And Neri Oxman Shows How Beautiful It Can Be / David J. Hill. – Текст : электронный // SingularityHub. – 2012. – URL: https://singularityhub.com/2012/06/04/3d-printing-is-the-future-of-manufacturing-and-neri-oxman-shows-how-beautiful-it-can-be/.

9. Марков, Д. И. Стимулы к переменам. Роль энергоэффективной архитектуры в решении глобальных проблем современности / Д. И. Марков. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 3 (32). – С. 44–49.

10. Luis de Garrido: Self Sufficient Architecture. – URL: https://luisdegarrido.com/research/self-sufficient-architecture-luis-de-garrido/. – Текст : электронный.

11. Змеул, С. Г. Архитектурная типология зданий и сооружений : учебник для вузов / С. Г. Змеул, Б. А. Маханько. – Москва : Архитектура-С, 2004. – 240 с. – ISBN 5-274-01249-3. – Текст : непосредственный.

12. Синянский, И. А. Типология зданий / И. А. Синянский, Н. И. Манешина. – Москва : Академия, 2014. – 141 с. – ISBN 978-5-4468-0595-2. – Текст : непосредственный.

13. Гельфонд, А. Л. Архитектурная типология общественных зданий и сооружений : учебное пособие / А. Л. Гельфонд. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2010. – 213 с. – ISBN 978-5-87941-696-1. – Текст : непосредственный.

14. Коротич, А. В. Небоскреб как произведение пластического искусства: монография / А. В. Коротич. – Екатеринбург : Архитектон, 2018. – 405 с. – ISBN 978-5-7408-0224-4. – Текст : непосредственный.

15. Усов, Я. Ю. Архитектурно-планировочные элементы биоклиматических зданий, формирующиеся под влиянием природных условий / Я. Ю. Усов. – Текст : непосредственный // Градостроительство. – 2012. – № 4 (20). – С. 52–54.

16. Этенко, В. П. Экологические проблемы высотных зданий / В. П. Этенко. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2015. – № 12. – С. 41–44.

VITYUK Ekaterina Yurevna, candidate of architecture, Head of the Research department, associate professor of the chair of architectural design

DIGITALIZATION AS A CATALYST OF THE DEVELOPMENT OF APPROACHES TO ARCHITECTURAL FORMATION

Ural State University of Architecture and Art
23, K. Liebknekht St., Yekaterinburg, 620075, Russia. Tel.: +7 (343) 371-33-69; fax: +7 (343) 371-57-32; e-mail: help_nir@mail.ru
Key words: architectural typology, shaping, information modeling, digital morphogenesis, shape optimization.

The article discusses the prospect of changes in the field of architectural shaping and in architectural typology, taking into account the pace of development and implementation of the process of digital morphogenesis in architectural design.

REFERENCES

1. Babich V. N., Kremlev A. G. Aspekty matematizatsii arkhitektury v postneklassicheskiy period [Aspects of the interaction of mathematics and architecture in the post-non-classical period]. Arkhitekton: Izvestiya vuzov [Architecton: news of higher educational institutions]. 2016, № 1 (53). – URL: http://archvuz.ru/2016_1/2.
2. Ginzburg A. V. BIM-tekhnologii na protyazhenii zhiznennogo tsikla stroitelnogo obekta [BIM-technologies throughout the life cycle of a construction object] // Informatsionnye resursy Rossii [Information resources of Russia]. 2016, № 5(153). P. 28–31.
3. Poluektov V. V. Tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya (BIM) pri arkhitekturnom i gradostroitelnom proektirovanii [BIM-technologies for architectural and urban design] // Arkhitekturnye issledovaniya [Architectural studies]. 2016, № 1(5). P. 46–55.
4. Talapov V. V. Tekhnologiya BIM: sut i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy [BIM-technology: the essence and features of the implementation of building information modeling]. Moscow, DMK – Press, 2015, 409 p. – ISBN 978-5-97060-291-1.
5. Talapov V. V., Makhiev B. E., Khapin A. V. Posleslovie k BIM-forumu: kogo i komu uchit bim-tekhnologiyam proektirovaniya [Afterword to the BIM-forum: who and to whom to teach design BIM-technologies] / Vestnik vostochno-kazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva [Bulletin of the East Kazakhstan State Technical University named after D. Serikbaev]. 2019, № 4. P. 157–160.
6. Ataeva Dzh. Neri Oksman: Kafka, bronya, shezlong [Kafka, armor, deck chair] / Art Electronics. – 2013. – URL: https://artelectronics.ru/posts/neri-oksman-kafka-bronya-shezlong.
7. Bensoussan H. Neri Oxman: A 3D printing pioneer and visionary // www.sculpteo.com – URL: https://www.sculpteo.com/blog/2016/10/05/neri-oxman-a-3d-printing-pioneer-and-visionary/.
8. Hill David J. 3D-Printing Is The Future Of Manufacturing And Neri Oxman Shows How Beautiful It Can Be / David J. Hill // SingularityHub. – 2012. – URL: https://singularityhub.com/2012/06/04/3d-printing-is-the-future-of-manufacturing-and-neri-oxman-shows-how-beautiful-it-can-be/.
9. Markov D. I. Stimuly k peremenam. Rol energoeffektivnoy arkhitektury v reshenii globalnykh problem sovremennosti [Incentives for change. The role of energy efficient architecture in solving global problems of our time] / Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Civil Engineers Bulletin]. 2012, № 3(32). P. 44–49.
10. Luis de Garrido: Self Sufficient Architecture. – URL: https:// luisdegarrido.com/research/self-sufficient-architecture-luis-de-garrido/.
11. Zmeul S. G., Makhanko B. A. Arkhitekturnaya tipologiya zdaniy i sooruzheniy

[Architectural typology of buildings and structures]: ucheb. dlya vuzov. Moscow, Arkhitektura-S, 2004, 240 p. – ISBN 5-274-01249-3.

12. Sinyansky I. A., Maneshina N. I. Tipologiya zdaniy [Typology of buildings] / Moscow , Akademiya, 2014, 141 p. – ISBN 978-5-4468-0595-2.

13. Gelfond A. L. Arkhitekturnaya tipologiya obschestvennykh zdaniy i sooruzheniy [Architectural typology of public buildings and facilities]: ucheb. pos. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2010, 213 p. – ISBN 978-5-87941-696-1.

14. Korotich A. V. Neboskryob kak proizvedenie plasticheskogo iskusstva [Skyscraper as a work of plastic art] : monografiya . Yekaterinburg, Arkhitekton, 2018, 405 p. – ISBN 978-5-7408-0224-4.

15. Usov Ya.Yu. Arkhitekturno-planirovochnye elementy bioklimaticheskikh zdaniy, formiruyuschiesya pod vliyaniem prirodnykh usloviy [Architectural and planning elements of bioclimatic buildings, formed under the influence of natural conditions] / Gradostroitelstvo [Urban planning]. Moscow, 2012, № 4(20). P. 52–54.

16. Etenko V. P. Ekologicheskie problemy vysotnykh zdaniy [Environmental problems of high-rise buildings] / Zhilischnoe stroitelstvo [Housing construction]. Moscow, 2015, № 12. P. 41–44.

© Е. Ю. Витюк, 2022
Получено: 13.11.2021 г.

УДК 72.035 (470.315)

Н. В. САВЕЛЬЕВА, канд. архитектуры

ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА УСАДЬБЫ И. Е. САКИНА КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX ВВ. В Г. ИВАНОВО

Россия, 153007, г. Иваново, ул. Фрунзе, д. 25, кв. 31. Тел.: (915) 829-85-35; эл. почта: natasha_barkova@inbox.ru
Ключевые слова: усадьба, комплекс, архитектурно-планировочное построение, Иваново, Иваново-Вознесенск, модерн.

Приведен историко-архитектурный анализ дореволюционной усадьбы конца XIX – начала XX вв., принадлежавшей почетному гражданину города Иваново-Вознесенска И. Е. Сакину, представляющий собой один из немногих сохранившихся комплексов дореволюционных жилых владений города. Рассмотрены архитектурно-планировочные преобразования усадьбы и строений, проведен архитектурно-стилевой анализ. Впервые представлены прориси оригинальных архивных чертежей и авторские реконструкции.

Значительное количество исследований, посвященных дореволюционной гражданской архитектуре г. Иваново (до 1871 г. – села Иваново, с 1871 по 1932 гг. – г. Иваново-Вознесенска), фокусируется на отдельных строениях, расположенных по красным линиям застройки улиц [1, 2]. Однако преобладающая часть дореволюционного города имела выраженную сельскую планировочную структуру с владениями без замкнутого контура фронтальной застройки [3]. Таким образом, строения, расположенные за внешней границей наделов, участвовали в формировании фронтальной композиции усадеб со стороны улиц и оказывали влияние на производимые в них архитектурно-планировочные преобразования. При

исследовании сохранившихся фрагментов исторической среды провинциальных городов обычно ветхий и не имеющий ярко выраженных стилевых признаков комплекс строений внутреннего двора остается недооцененным и застраивается. Оставшаяся парадная застройка вырывается из средового контекста, нарушается масштабность, историко-культурная ценность объекта падает, существенно сокращаются перспективные варианты ревалоризации и рефункционализации памятника.

Возможным предупреждением подобной ситуации является выявление, проведение комплексного архитектурного анализа и консервация максимального «пятна» застройки исторической среды. Качественно проведенный анализ восполнит недостаток сведений по малоизученным дореволюционным памятникам и может стать основанием для включения объекта в реестр объектов культурного наследия.

Усадьба И. Е. Сакина – редкий пример уцелевшего дореволюционного жилого владения, сохранившего строения разного функционального назначения и стилевого исполнения. Несмотря на обзорное упоминание жилого дома в краеведческой литературе [4], данное владение комплексно исследуется впервые.

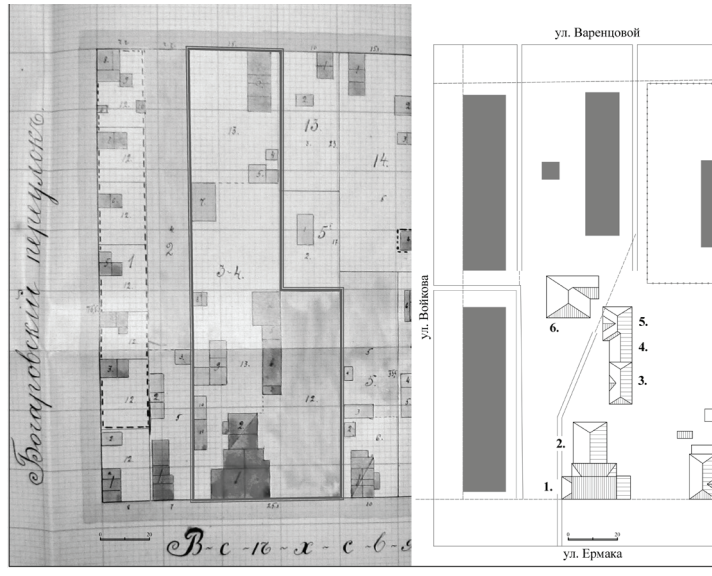
В конце XIX – начале XX вв. усадьба почетного гражданина Иваново-Вознесенска И. Е. Сакина находилась в 21-м квартале по ул. Всехсвятской – главной улице местечка Хуторово, расположенной в Вознесенском Посаде Иваново-Вознесенска и ведущей в старинное село Авдотьино [5].

Усадьба занимала рядовое положение в квартале, до 1900 г. располагалась на прямоугольном участке площадью 5 га с выходом на противоположные улицы – Всехсвятскую и Мельничную (ныне – Ермака и Академика Мальцева, соответственно).

На общем плане участка 1892 г. пространственная организация территории включала 2 функциональные зоны: «зону строений», обращенную на ул. Ермака и расположенную позади нее «зону сада и огорода» с выходом на ул. Академика Мальцева [6]. Позже, в 1903 г., на территории, отведенной под сад, появились жилые и служебные строения [7], а со стороны ул. Всехсвятской к участку было присоединено прямоугольное владение площадью 1500 м^2, отведенное под сад [8]. На период проведения анализа выявлены постройки зоны «строений» и сад справа. Несмотря на застройку советского периода, дореволюционные границы усадьбы визуально дифференцируются, пространственные связи строений сохранены (рис. 1).

Из комплекса усадьбы выявлены: два сблокированных между собой жилых дома, протяженное строение позади домов в глубине участка – торговая лавка и конюшня, строение в глубине участка – каретный сарай.

Жилые дома представлены двумя сблокированными разновременными объемами. Первый, построенный в период с 1900 по 1902 гг., – каменный, в тычковой технике кладки, одноэтажный на цокольном этаже жилой дом с близким к прямоугольному плану (21×18 метров) располагается по красной линии застройки и обращен главным фасадом на ул. Ермака (ул. Ермака, д. 20). Пространственная композиция имеет выверенные пропорции, придающие монументальный парадный облик. Треть высоты занимает отделанный квадровым рустом оштукатуренный цокольный этаж. От первого этажа он отделен широкой наборной раскрепованной профилированной кирпичной тягой. Две трети объема занимает разновысотный первый этаж с вытянутыми вертикально пропорциями элементов. Несмотря на то что в настоящее время первый этаж отделан фасадной каменной пиленой плиткой, а ниши оштукатурены и выкрашены, все исторические архитектурные пластические элементы выглядят не нарушенными. Оси оконных проемов первого и цокольного этажей совпадают.



а *б*

Рис. 1. Общий план усадьбы почетного гражданина Иваново-Вознесенска И. Е. Сакина: *а* – План владения ГАИО Ф.1157. Оп.1. Д.7391, нач. XIX в.; *б* – Современное состояние: *1* – каменный жилой дом на цокольном этаже; *2* – деревянный жилой дом на цокольном этаже; *3* – торговая лавка; *4* – встроенное помещение; *5* – конюшня; *6* – каретный сарай

Композиция главного фасада ассиметричная, состоит из трех разных по высоте и протяженности объемов. Центральная часть смещена влево, выделена ярко выраженным ризалитом в три оконных оси, возвышающимся над остальными частями. Плоскости ризалита и боковых частей первого этажа оформлены по типу уплощенного портика из двух угловых пилястр и венчающего наборного трехчастного антаблемента. При общности пластического решения всех частей, центральный ризалит выглядит более выразительным и проработанным за счет укрупненных пропорций антаблемента, высокой фризовой части с фигурным контуром ниш по оси окон, развитого карниза, дополнительных архитектурных элементов – кронштейнов, «парящих» сандриков, раскрепованных поясков, наличников окон цокольного этажа. Введенная в плоскость ризалита тяга формирует шейки капителей угловых пилястр и связывает элементы плоскостей: проходит через сандрики ризалита на примыкающую справа, чуть более низкую по высоте часть в 4 оконных оси, отсекая начало фризовой части от архитрава, а в левой – выступает наборным элементом карнизной тяги.

Между раскрепованным пояском и полочкой архитрава над окнами ризалита расположены филенки, визуально удлиняющие сандрики, в результате окна ризалита кажутся более высокими и изящными, чем аналогичные по размерам справа. Все плоскости главного фасада визуально связаны между собой проходящей в подоконной части узкой фигурной тягой в два кирпича, формирующей широкий подоконный пояс с вытянутыми прямоугольными нишами, кратными ширине расположенным с ними в осях оконным проемам.

Между оконными проемами первого этажа ризалита и части справа устроены вытянутые прямоугольные вертикальные ниши в полкирпича глубиной.

Оконные проемы фасада первого этажа слева от ризалита получили неоклассическое оформление в виде сдвоенных арочных окон, объединенных общей аркатурной карнизной тягой с замковыми камнями и упрощенным колончатым поясом в виде плоских лопаток в простенках.

Главный парадный вход располагается слева, с торца. Торцевой фасад ассиметричен, с радиальным закруглением со стороны внутреннего двора. Пластическое решение аналогично фасаду данной части строения по ул. Ермака. Возможно, изменены конфигурация и пропорции оконных проемов 1-го этажа над парадным входом и стены, обращенной во двор. Согласно плану, часть проемов цокольного этажа может быть заложена, что невозможно выявить из-за повсеместной облицовки фасада каменной плиткой. Несмотря на утраты и некоторое упрощение пластического решения фасадов торцевых стен, по сравнению с главным фасадом, считывается единое присущее данному объекту стилевое построение. Объем перекрыт разноуровневой многоскатной кровлей.

Согласно архивным материалам, проект главного фасада жилого дома И. Е. Сакина был выполнен Иваново-Вознесенским городским архитектором С. В. Напалковым в 1900 г. [9]. Безусловной ценностью сохранившегося строения является практически полное соответствие здания дореволюционному архитектурному проекту, что в Иваново-Вознесенске было редким явлением, т. к. сопоставление архивных чертежей фасадов с реальными строениями показало переработку большего числа проектов при реализации (рис. 2).

Отличием реального объекта от проекта стало перенесение парадного входа с главного фасада на торцевой и незначительные корректировки фасадов, вероятно, утвержденные «по месту», т. к. предусмотренная проектом планировка изначально предполагала парадный вход слева с торца. Также проектом предусматривались: аттиковая стенка над ризалитом; расширенная над основанием кубоватая крыша с четырьмя выпуклыми скатами килевидного сечения, покрытая металлическими листами, уложенными «шашкой» и увенчанная кованым гребнем; три светелки-люкарны с фигурными сандриками в осях оконных проемов ризалита, парапетные тумбы по осям межоконных простенков и угловых пилястр с коваными ограждениями между ними на фасаде объема справа.

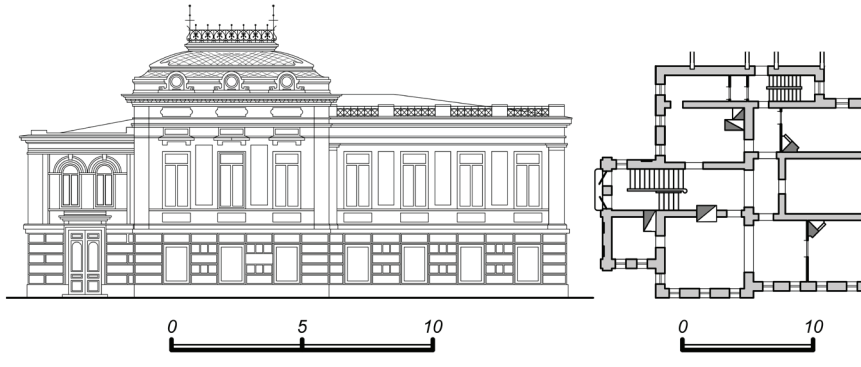


Рис. 2. Прорись чертежа главного фасада и плана 1-го этажа жилого дома И. Е. Сакина иваново-вознесенского архитектора С. В. Напалкова, 1900 г. по материалам ГАИО. Чертеж автора

Согласно планам владения, каменный жилой дом был построен в период с 1900 по 1902 гг. на месте существовавшего деревянного одноэтажного жилого дома, перенесенного на противоположную улицу (не сохранился).

Несмотря на отсутствие части проектных архитектурных элементов и решений, проведенный в 2010-х гг. ремонт, не в полной мере учитывавший архитектурно-стилевое построение, на сегодняшний день жилой дом усадьбы И. Е. Сакина является ярким, самобытным, не имеющим аналогов дореволюционным жилым строением, в котором, в полной мере, отразились индивидуальный авторский почерк иваново-вознесенского зодчего С. В. Напалкова и региональная трактовка господствовавших архитектурных тенденций начала XX в. Это один из немногих уцелевших жилых домов города, выстроенных в стиле модерн. Отход от строгого архитектурного догматизма, свободная интерпретация и синтез стилевых подходов, нарочитая стилизованность и заимствование традиционных архитектурных элементов русской архитектуры позволили зодчему создать уникальный образец провинциальной гражданской архитектуры (рис. 3*а*).

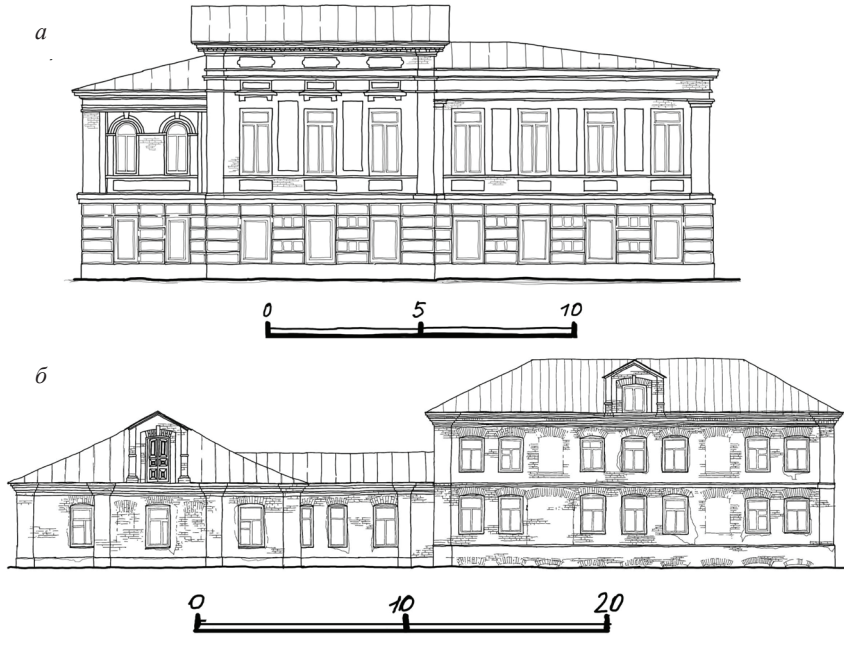


Рис. 3. Строения усадьбы И. Е. Сакина (современное состояние): *а* – главный жилой дом; *б* – торговая лавка и конюшня. Обмеры и рисунок автора

Второй объем представляет собой одноэтажный деревянный жилой дом на каменном подвальном этаже с приямками, с планом прямоугольного очертания 10,5×12,5 метров, отделенный от каменного брандмауэра по задней стене первого дома [9] в границах плана жилого дома от 1892 г. [6]. В настоящее время цоколь облицован шлифованным плитняком, деревянные поверхности стен первого этажа – деревянной профилированной вагонкой под оцилиндровку, наличники не сохранились, объем перекрыт вальмовой кровлей.

Так как проектов строительства, реконструкции или ремонта по данному объекту не выявлено, точную дату постройки установить не удалось.

Общность горизонтальных и вертикальных членений (отметок, простенков, выступающих элементов (выпуск бревен по углам заднего фасада по типу лопаток и т. д.), предполагают близкое по времени строительство обоих домов. Данное обстоятельство позволяет рассматривать и каменный, и примыкающий к нему деревянный дом в виде единого подлежащего охране архитектурного объекта. Оба строения имеют торгово-офисное назначение.

Расположенное в глубине двора (ул. Ермака, д. 20Г), вдоль правой границы участка 1900 г., протяженное каменное строение состоит из двух отдельных, соединенных между собой построек – торговой лавки и конюшни (рис. 3*б*).

Первое строение – торговая лавка минимально соответствует проекту 1902 г. [8]. Построено в 1902–1903 гг. Представляет собой двухэтажное каменное на подвальном этаже прямоугольное в плане строение 6,8×19,5 метров, обращенное главным фасадом в 9 оконных осей во внутренний двор. Плоскости фасадов симметричные, не отштукатурены. Углы здания со всех сторон обрамлены плоскими раскрепованными лопатками на всю высоту, первый и второй этажи отделены узкой кирпичной полочкой прямоугольного профиля. Здание венчает наборный профилированный карниз. Торцевые стены – глухие. Окна первого, второго этажей и приямочные окна подвального этажа – лучкового очертания, без наличников и пластического декора, имеют одинаковые пропорции, ширина простенка составляет чуть больше половины проема. Часть проемов заложена, в т. ч. вход (в кладке видны элементы крепления ставен ворот) и все приямочные окна. Противоположный фасад – с аналогичным архитектурным построением и утратами, за исключением расположенного по оси главного фасада массивного слухового кирпичного окна – люкарны. Вход осуществляется с противоположного фасада. Объем завершен вальмовой кровлей.

Необходимо отметить, что архитектурно-пространственное построение данного объема, а именно: пропорции, соотношение элементов, пластическое решение – больше характерны для традиционных иваново-вознесенских производственных корпусов второй половины XIX в. и абсолютно не типичны для торговых строений начала XX в. [10].

Строение конюшен, построенных в период с 1903 по 1908 гг., имеет малое соответствие проекту 1903 г. [7]. Это одноэтажная кирпичная, компактная постройка на 6 стойл, размером 10×12 метров, обращена главным фасадом во внутренний двор. Главный фасад симметричен. Плоскость поделена лопатками на три неравных прясла: центральное – шире боковых. Вход по центру заложен под окно, как и расположенные по бокам от него узкие окна. В боковых пряслах – крупные окна лучкового очертания, оконная ось слева смещена (рис. 3*б*).

Торцевой фасад поделен лопатками на три части. Оконные проемы к осям не привязаны. Задний фасад поделен лопатками на три равных прясла, в каждом из которых по 2 оконных проема. Оконные проемы крупные, лучкового очертания (изменены на прямоугольное). Объем перекрыт вальмовой кровлей.

Необычным элементом, придающим строению конюшен парадность, является расположенная по центру над карнизом аттиковая стенка в виде укрупненной люкарны с проемом лучкового очертания, обрамленным наличником в кирпич шириной и замковым камнем. Углы люкарны оформлены упрощенными лопатками на высокой базе, сведенными частично сохранившимся наборным карнизом в треугольный фронтон.

По проекту 1903 г. строения конюшни и лавки соединялись деревянным навесом, но в 1908 г. на его месте появилась каменная встройка, перекрытая

двускатной кровлей [11]. Обращенный во внутренний двор фасад встройки западает относительно плоскостей палатки и конюшен, не имеет четкого композиционного расположения оконных проемов в отличии от заднего фасада, лопатки которого повторяют членения фасада конюшни, образовывая с ним единый фронт. Однако здание конюшен и встройки имеют общее завершение в виде наборного профилированного карниза, близкого по профилю строению палатки. Занято жильем.

Строение каретного сарая фланкирует внутреннюю границу участка (ул. Ермака, д. 20В). Это двухэтажное каменное здание, 18×14 метров, расположено в соответствии с планом 1908 г. на месте одноэтажного каменного каретного сарая, конюшен и служб, размещенных вдоль левой границы участка, перекрыто вальмовой кровлей [11]. Обращено главным фасадом во внутренний двор, значительно перестроено. Несмотря на отсутствие выраженных уникальных стилеобразующих признаков, его архитектурная ценность заключается в формировании замкнутого контура жилого двора и поддержании законченной архитектурно-пространственной композиции усадьбы.

Несмотря на то, что каменный жилой дом усадьбы может и должен быть отнесен к образцам аутентичной городской архитектуры, а остальные рассмотренные строения представлены преимущественно рядовыми типами, все они, по отдельности и в общей взаимосвязи, представляют значительный историко-культурный интерес как цельный архитектурный комплекс провинциальной дореволюционной городской купеческой усадьбы конца XIX – начала XX вв.

Проведенный архитектурный анализ усадьбы И. Е. Сакина планируется направить в региональный орган охраны объектов культурного наследия в сопровождении архивных документов и изысканий для рассмотрения возможности внесения данного объекта в реестр выявленных объектов культурного наследия города в виде комплекса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свод памятников архитектуры и монументального искусства России : Ивановская область. – Москва : Наука, 1998. – Часть 1. – 526 с. – ISBN 5-02-011340-9. – Текст : непосредственный.
2. Щеболева, Е. Г. Купеческое строительство Ивановской области : каталог / Е. Г. Щеболева. – Москва : Государственный институт искусствознания, 1998. – Выпуск 1. – 264 с. – Текст : непосредственный.
3. Власюк, А. И. К истории планировочной структуры и архитектуры Иваново-Вознесенска / А. И. Власюк. – Текст : непосредственный // Памятники русской архитектуры и монументального искусства. – Москва : Наука, 1980. – С. 215–235.
4. Тихомиров, А. М. Иваново. Иваново-Вознесенск. Путеводитель сквозь времена / А. М. Тихомиров. – Иваново : Референт, 2011. – 328 с. – ISBN 978-5-902022-43-5.
5. Государственный архив Ивановской области (ГАИО). Фонд 1157. Опись 2. Дело 7391. Квартал № 21, ул. Мельничная, Всехсвятская, Бочаровский переулок г. Иваново-Вознесенска, нач. XX вв. – Текст : непосредственный.
6. Государственный архив Ивановской области (ГАИО). Фонд 2. Опись 1. Дело 2617. Лист 8. Усадебный участок Иваново-Вознесенского временного купца И. Е. Сакина по ул. Всехсвятской с существующими и новыми постройками. 1892 г. – Текст : непосредственный.
7. Государственный архив Ивановской области (ГАИО). Фонд 2. Опись 1. Дело 3905. Лист 14. План усадебной земли Потомственного Почетного Гражданина И. Е. Сакина, находящийся в г. Иваново-Вознесенске, в Вознесенской части, по ул. Всехсвятской и

Мельничной. 1903 г. – Текст : непосредственный.

8. Государственный архив Ивановской области (ГАИО). Фонд 2. Опись 1. Дело 3788. Лист 18. План усадебной земли Потомственного Почетного Гражданина И. Е. Сакина, состоящий в г. Иваново-Вознесенске, в Вознесенской части по ул. Всехсвятской. 1902 г. – Текст : непосредственный.

9. Государственный архив Ивановской области (ГАИО). Фонд 2. Опись 1. Дело 3572. Листы 13-18. Проект постройки нового каменного дома «А» в г. Иваново-Вознесенске, на Всехсвятской улице, домовладельца И. Е. Сакина. 1900 г. – Текст : непосредственный.

10. Гарнова, Н. В. Архитектура производственных строений промышленных усадеб г. Иваново-Вознесенска второй половины XIX – начала XX вв. / Н. В. Гарнова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – № 3. – С. 104–112.

11. Государственный архив Ивановской области (ГАИО). Фонд 2. Опись 1. Дело 4371. Листы 16,17. План усадебной земли Потомственного Почетного Гражданина И. Е. Сакина, в г. Иваново-Вознесенске, в Вознесенской части, по ул. Всехсвятской. 1908 г. – Текст : непосредственный.

SAVELEVA Natalya Vladimirovna, candidate of architecture

HISTORICAL AND ARCHITECTURAL ANALYSIS OF I. E. SAKIN ESTATE OF THE END OF XIX – BEGINNING OF XX CENTURY IN IVANOVO

25, Frunze St., apt. 31, Ivanovo, 153007, Russia. Tel.: +7 (915) 829-85-35; e-mail: natasha_barkova@inbox.ru

Key words: estate, complex, architectural and planning composition, Ivanovo, Ivanovo-Voznesensk, modern.

The article presents a historical and architectural analysis of the pre-revolutionary estate of the late XIX – early XX centuries, belonged to an honorary citizen of Ivanovo-Voznesensk, I. E. Sakin., which is one of the few preserved complexes of pre-revolutionary residential properties of the city. The architectural and planning transformations of the estate and buildings are considered, an architectural and stylistic analysis is carried out. Drawings of original archival documents and author's reconstructions are presented for the first time.

REFERENCES

1. Svod pamyatnikov arkhitektury i monumentalnogo iskusstva Rossii: Ivanovskaya oblast [Catalogue of Russian architectural and artistic monuments: Ivanovo region]. – Moscow : Nauka, 1998. Chast 1. – 526 p. – ISBN 5-02-011340-9.

2. Sheboleva E. G. Kupecheskoe stroitelstvo Ivanovskoy oblasti [Merchant architecture of Ivanovo region]. Katalog.– Moscow : Gosudarstvenny universitet iskusstvoznania, 1998. Vypusk 1. – 264 p.

3. Vlasyuk A. I. K istorii planirovochnoy struktury i arkhitektury Ivanovo-Voznesenska [To the history of Ivanovo-Voznesensk planning structure and architecture]. Pamyatniki russkoy arkhitektury i monumentalnogo iskusstva [Monumetns of Russian architecture and art]. – Moscow : Nauka, 1980. P. 215–235.

4. Tikhomirov A. M. Ivanovo. Ivanovo-Voznesensk. Putevoditel skvoz vremena [Ivanovo. Ivanovo-Vozmesensk. Travel guide through times]. – Ivanovo: Referent, 2011. – 328 p. – ISBN 978-5-902022-43-5.

5. Ivanovo State Archive (GAIO). F.1157. Op.2. D.7391. L.1. Kvartal № 21 ul. Melnichnaya, Vsekhsvyatskaya, Bocharovskiy pereulok g. Ivanovo-Voznesenska, nach. XX v. [Block № 21, Melnichnaya Street, Vsekhsvyatskaya Street, Bocharovskiy lane of Ivanovo-Voznesensk in the beginning of XX century].

6. Ivanovo State Archive (GAIO). F. 2. Op. 1. D. 2617. L. 8. Usadebny uchastok Ivanovo-Voznesenskogo vremennogo kuptsa I. E. Sakina po ul. Vsekhsvyatskoy s suschestvuuschimi i novymi postroykami. 1892 g. [Estate land of Ivanovo-Voznesensk temporary merchant I. E. Sakin on Vsekhsvyatskaya street with existing and new buildings. 1892].

7. Ivanovo State Archive (GAIO). F. 2. Op. 1. D. 3905. L. 14. Plan usadebnoy zemli Potomstvennogo Pochyotnogo grazhdanina I. E. Sakina, nakhodyaschiysya v g. Ivanovo-Voznesensk, v Voznesenskoy chasti, po ulitse Vsekhsvyatskoy i Melnichnoy. 1903 [Plan of Ivanovo-Voznesensk hereditary honorary citizen I. E.Sakin's estate in Ivanovo-Voznesensk, in Voznesensk part, on Vsekhsvyatskaya and Melnichnaya streets. 1903].

8. Ivanovo State Archive (GAIO). F. 2. Op. 1. D. 3788. L. 18. Plan usadebnoy zemli Potomstvennogo Pochyotnogo grazhdanina I. E. Sakina, sostoyaschiy v g. Ivanovo-Voznesensk, v Voznesenskoy chasti, po ulitse Vsekhsvyatskoy. 1902 [Plan of Ivanovo-Voznesensk hereditary honorary citizen I. E. Sakin's estate in Ivanovo-Voznesensk, in Voznesensk part, on Vsekhsvyatskaya street. 1902].

9. Ivanovo State Archive (GAIO). F. 2. Op. 1. D. 3572. L. 13–18. Proekt postroyki novogo kamennogo doma "A" v g. Ivanovo-Voznesensk, na ulitse Vsekhsvyatskoy domovladeltsa I. E. Sakina. 1900 [Project of a new brick house "A" in Ivanovo-Voznesensk, on Vsekhsvyatskaya street. 1900].

10. Garnova N. V. Arkhitektura proizvodstvennykh stroeniy promyshlennykh usadeb g. Ivanovo-Voznesenska vtoroy poloviny XIX – nachala XX vv. [Architecture of industrial buildings of industrial estates in Ivanovo-Voznesensk in the second half of the XIX – early XX centuries]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2020. № 3. – P. 104–112.

11. Ivanovo State Archive (GAIO). F. 2. Op. 1. D. 4371. L. 16,17. Plan usadebnoy zemli Potomstvennogo Pochyotnogo grazhdanina I. E. Sakina v g. Ivanovo-Voznesensk, v Voznesenskoy chasti, po ulitse Vsekhsvyatskoy. 1908 [Plan of Ivanovo-Voznesensk hereditary honorary citizen I. E. Sakin's estate in Ivanovo-Voznesensk, in Voznesensk part, on Vsekhsvyatskaya street. 1908].

© Н. В. Савельева, 2022
Получено: 29.09.2021 г.

УДК 72.036:725.2

Е. О. ШИРОКОВА, аспирант кафедры архитектурного проектирования

ПОСТМОДЕРНИЗМ В АРХИТЕКТУРЕ ТОРГОВЫХ ЦЕНТРОВ В РЕГИОНАХ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-17-83; эл. почта: shkerdina95@icloud.com
Ключевые слова: архитектура, торговые центры, постмодернизм, частичный историзм.

Проводится анализ произведений постмодернизма на примере торговых центров конца XX – начала XXI вв. в городах разных регионов России (Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Казань, Самара, Новосибирск, Калининград, Набережные Челны). На конкретных примерах показаны характерные черты и особенности стилистических направлений постмодернизма.

В последние годы постмодернизм продолжает являться востребованным

стилем в крупнейших и крупных российских городах при проектировании общественных зданий, в том числе торговых центров. Переход на рыночную экономику, совершенствование форм торговли, развитие строительных технологий, рост деловой активности, рост населения и другие факторы привели к повышенному вниманию по отношению к архитектуре учреждений торговли [1]. Торговые центры стали представлять потребительскую ценность, объединили в себе многие сферы услуг. Коммерческий успех таких сооружений напрямую зависит от многих параметров, в которые входят грамотные архитектурные, планировочные и градостроительные решения [2]. В условиях постмодернистской направленности в архитектуре представляется важным выявить стилистические особенности, характерные черты, композиционные приемы и образные характеристики таких зданий. Целью данного исследования является анализ характерных примеров архитектуры торговых центров, выполненных в постмодернизме по индивидуальным проектам в российских городах разных регионов страны (Москва, Санкт-Петербург, Казань, Нижний Новгород, Новосибирск, Самара, Набережные Челны и Калининград).

Безусловно, наибольшее количество торговых центров возводится в Москве, которая в настоящее время является крупнейшим мегаполисом страны.

Торговый центр «Наутилус» (рис. 1. цв. вклейки) на ул. Никольская, 25 в Москве (арх. А. Р. Воронцов, Н. Бирюков, В. Свистунов, М. Струченевская, И. Кузнецова, 1998–1999 гг.) представляет собой шестиэтажное здание, которое расположено в исторической центральной части города и ориентировано своим цилиндрическим объемом в сторону Лубянской площади. Архитектура фасадов заимствует приемы русского модерна в виде мозаичного декора, прямоугольных окон с историзирующими верхними фрамугами и своим плавным волнообразным силуэтом. Криволинейность плана также подчеркивает стилистическое заимствование. В планировочной структуре четко читается входная группа с вестибюлем, находящаяся в округлой части, в поддержку этой формы из плоскости стены выступает скругленный стеклянный эркер высотой в три этажа по Театральному проезду. Торговый центр выполнен в современных материалах, использована прямоугольная сетка колонн. Главный вход выделен массивными металлическими конструкциями, выполняющими роль козырька. Похожие конструкции завершают верхнюю часть цилиндра, выходящего на площадь. Стилобатная часть выполнена в виде двухэтажных арочных окон со стороны Никольской улицы и арками, поделенными пополам, выходящими в сторону «Детского мира» по Театральному проезду. К морской тематике «Наутилуса» относится использование пестрой мозаики в морских цветах, криволинейных карнизов над выступающими эркерами в виде волны, круглые окна-иллюминаторы и окна-парусы. Архитектура торгового центра иронично интерпретировала в себе формы и детали из своего окружения. Такой прием является характерным для постмодернизма. Здание является примером ***частичного историзма***.

Центр Олимпийской торговли «Артем» (рис. 2. цв. вклейки) в Санкт-Петербурге на пр. Добролюбова, 20 к. 1, (арх. А. А. Столярчук, Е. Е. Рубина, Т. В. Баженова, Т. К. Борисова, 2003 г.) также относится к примерам ***частичного историзма.*** Здание находится в центральной части города. Своей вогнутой формой торговый центр формирует перед собой небольшую площадь с фонтаном, ориентированную на озелененный сквер, и с которой открывается вид на Князь-Владимирский Собор. На Большой проспект здание выходит ровным монотонным фасадом. По первому этажу всего здания проходит аркада, второй

К СТАТЬЕ Е. О. ШИРОКОВОЙ «ПОСТМОДЕРНИЗМ В АРХИТЕКТУРЕ ТОРГОВЫХ ЦЕНТРОВ В РЕГИОНАХ РОССИИ»

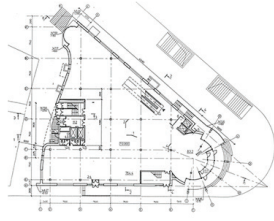


Рис. 1. Торговый центр «Наутилус» в Москве. (арх. А. Воронцов, Н. Бирюков, В. Свистунов, М. Струченевская, И. Кузнецова, 1998-1999 гг.), частичный историзм

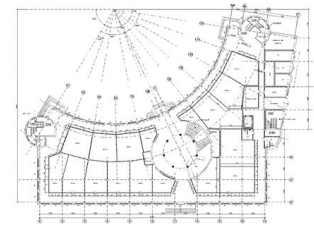


Рис. 2. Центр Олимпийской торговли в Санкт-Петербурге (арх. А. А. Столярчук, Е. Е. Рубина, Т. В. Баженова, Т. К. Борисова, 2003 г.), частичный историзм

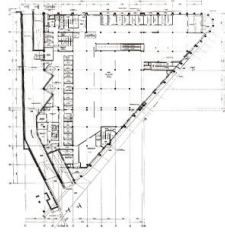


Рис. 3. Торговые ряды «Средной» в Нижнем Новгороде (арх. С. А. Тимофеев, 2018 г.), частичный историзм

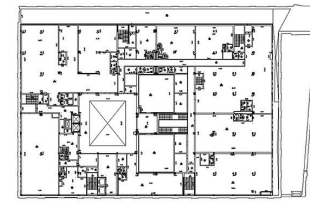


Рис. 4. Культурно-развлекательный центр «Родина» в Казани (арх. И. М. Тухватуллина, 2005 г.), частичный историзм

Рис. 5. Торгово-развлекательный комплекс *Amber Mall*, г. Гурьевск, Калининградское шоссе, (арх. Д. Д. Ешметов, М. Ачковский, А. Кофман, 2020 г.), частичный историзм

Рис. 6. Спортивно-торговый центр в Набережных Челнах, (арх. Г. А. Петрушин, проект 2017 г.), новое усложненное постмодернистское пространство

Рис. 7. Торговый центр «Вертикаль» в Самаре (арх. Д. Веретенников, 2005 – 2010 гг.), частичный историзм

Рис. 8. Торговый центр «Бутон» в Новосибирске (арх. В. Н. Филиппов, Т. К. Насыров, 2010 – 2011 гг.), метафора

этаж выполнен в сплошном остеклении. Со стороны площади здание обладает симметричной композицией, по оси которой находится главный вход и круглое вестибюльное пространство со вторым светом и круговой лестницей, ведущей на второй этаж. В торцах здания расположены выступающие цилиндрические объемы с эвакуационными четырехмаршевыми лестницами, завершающиеся декоративной стержневой металлической конструкцией навеса в виде веера. Галерея, проходящая по всему периметру торгового центра, обеспечивает входы в торговые залы. Конструктивно здание состоит из прямоугольной и радиальной сетки, в вестибюле по внутреннему диаметру расположены семь круглых колонн. Визуально торговый центр поделен по горизонтали на две части: первая часть выполнена в глухой (материальной) серо-зеленоватой поверхности с метричным членением на оконные проемы, вторая – (не материальная, прозрачная) в сплошном голубоватом стекле.

Торговые ряды «Средной рынок» (рис. 3 цв. вклейки) в Нижнем Новгороде на пересечении улиц Белинского и Крупской, (арх. С. А. Тимофеев, 2018 г.). Здание находится в центральной части города, на месте старого уличного рынка. Оно примыкает к новому торговому центру «Небо», занимая угловое положение на пересечении улиц. Планировочно здание поделено на две части: первый этаж предназначен под продуктовый рынок, второй – под магазины с промтоварами. Основной объем здания выполнен в белом вентилируемом фасаде, карнизная часть выделена желтым цветом, первый этаж – в темно-сером. Три вертикальные раскреповки (меньшей высоты) вдоль каждого протяженного фасада выполнены с остеклением. Угловой портик имеет скругленную форму. Одиннадцать круглых колонн поддерживают стеклянный нависающий объем. Такой прием позволяет отнести здание к частичному историзму. Данная композиция в виде ротонды формирует главную входную группу в торговые ряды. Маленькие квадратные окошки перекликаются с окнами на «Теледоме», стоящем напротив торговых рядов по ул. Белинского. У здания имеются три ряда оконных проемов для двух надземных этажей, такой прием визуально увеличивает масштаб здания. Консольные выступы белых объемов формируют входные группы для маленьких магазинчиков, расположенных вдоль фасадов.

Культурно-развлекательный центр «Родина» (рис. 4 цв. вклейки) на ул. Баумана, 44/8 в Казани, (арх. И. М. Тухватуллина, 2005 г.) расположен в самом сердце Казани, на пешеходной улице. Многофункциональная структура состоит из торговых, развлекательных и офисных помещений. Здание имеет угловое акцентное расположение с повышением этажности относительно существующей застройки квартала. Фасад заимствует приемы и детали из архитектуры XIX века с использованием современных технологий, что характерно для ***частичного историзма в рамках постмодернизма.*** Четырехэтажное здание имеет горизонтальное членение карнизами, проходящими по периметру здания. В роли вертикального членения выступает двухэтажный коринфский ордер и узкие прямоугольные окна высотой в два этажа. Колористически здание обладает спокойной цветовой гаммой, первые два этажа выполнены в светло-коричневом рустованном каменном фасаде, верхние этажи и декор – в светлой штукатурке. Своей угловой башенкой с сомкнутой кровлей со шпилем здание перекликается со стоящим напротив историческим зданием на ул. Баумана, 9/11.

Торгово-развлекательный комплекс *“Amber Mall”* (рис. 5 цв. вклейки) в городе Гурьевск расположен на Калининградском шоссе (арх. Д. Д. Ешметов, М. Ачковский, А. Кофман, 2020 г., находится в процессе строительства) и является

примером ***частичного историзма***. Гурьевск – город-спутник Калининграда с населением около 20 тысяч человек. Торговый центр строится на участке, расположенном в самом начале городского парка культуры и отдыха. На стеклянный параллелепипед наложен историзирующий фасад в виде разноцветных узеньких домиков, архитектура которых характерна для северогерманской кирпичной готики (или ганзейского стиля). Использование отсылок к данному стилю популярно в данном регионе. К 2018 году в таком стиле были обновлены типовые (хрущевские) дома в Калининграде. Выраженные вертикали визуально вытягивают здание по высоте. Фасады накладных домиков сделаны из оштукатуренных или облицованных клинкерной плиткой газосиликатных блоков. Театрализованная декорация в виде силуэта историзирующих фасадов домиков поверх стеклянного современного фасада является характерным приемом в постмодернистской архитектуре. В середине торгового центра находится атриум. Озелененная эксплуатируемая кровля является важным концептуальным элементом для данного торгового центра [3]. Авторы пытаются восполнить озеленение, снесенное при строительстве. Растительность будет плавно перетекать с торгового центра в городской парк. Большое внимание уделено рекреационному пространству и благоустройству центра. Многосценарность использования внутреннего пространства заложена в проекте этого здания.

Спортивно-торговый центр (рис. 6 цв. вклейки) в Набережных Челнах (арх. Г. А. Петрушин, проект 2017 г.) является примером другого направления в постмодернизме – ***нового усложненного постмодернистского пространства.*** Здание выполнено в виде отдельно стоящей объемной асимметричной композиции. Деформированные наклонные, изломанные стены верхних этажей придают динамичность композиции. Подобная усложненность необходима для достижения большей визуальной выразительности здания. Треугольная сетка оконных переплетов усиливает нависающий и раскрывающийся кверху эффектный прием. Характерными чертами деконструкции является асимметрия, дисгармония, отказ от принципов статичной архитектуры [4]. В данном случае это используется для предания индивидуальности и оригинальности объекту. Усеченные монолитные объемы двух арок (в два и три этажа) накладываются на плоскость стеклянного фасада. Динамичные сдвижки, направленные в сторону главного входа, формируют направление движения. Входная группа выделена массивным глухим скругленным объемом, который дополнительно поддерживают две колонны. Первый этаж выполнен монолитно с минимальным количеством оконных проемов, верхние этажи практически полностью стеклянные, на них видны горизонтальные членения в виде межэтажных перекрытий и парапета.

Торговый центр «Вертикаль» (рис. 7 цв. вклейки) в Самаре занимает островное положение на пересечении Московского шоссе и Пролетарской улицы (арх. Д. Веретенников, 2005–2010 гг.) – пример ***частичного историзма.*** Многофункциональный торговый центр имеет угловое расположение и является высотной градостроительной доминантой. Здание имеет семь надземных этажей, предназначенных под торговые помещения, двухуровневую подземную стоянку и 27-этажную офисную часть. Композиция здания состоит из трех частей: высотной прямоугольной доминанты с закругленным выступающим углом, длинной стилобатной части с волнистым парапетом над полуцилиндрическими объемами нависающих верхних этажей на боковом фасаде, обращенным на Московское шоссе, и семиэтажного цилиндра. Крупный цилиндрический объем в семь этажей, завершенный кольцом из металлических стержней, выходит в сторону

транспортного кольца и выступает в роли главного входа в торговый центр.

Торговый центр «Бутон» (рис. 8 цв. вклейки) в Новосибирске на Красном проспекте, 17 (арх. В. Н. Филиппов, Т. К. Насыров, Т. Уколова, А. Кашин, Е. Савин, К. Фроленок, 2011–2012 гг.), является примером постмодернистской ***метафоры***. Здание расположено в центральном районе Новосибирска, является завершающей и акцентной частью квартала, примыкает к соседнему протяженному объему со стороны проспекта. Здание решается на контрасте за счет своей тонированной стеклянной оболочки по отношению к материальному окружению. Здание имеет высокую цокольную часть, на которую можно подняться по лестнице со стороны проспекта или по пандусу на боковом фасаде. Лифтовой объем выступает в плане и в виде самостоятельного вертикального параллелепипеда. Главный вход расположен с угла. Форма бутона была выбрана авторами для предания художественной образности объекту. Скульптурная форма нераскрывшегося бутона создана за счет сетчатой конструкции из цилиндрической узловой системы, поверхность которой составлена из плоских треугольников.

Рассмотренные примеры торговых центров, выполненных в постмодернизме, а именно в частичном историзме и с обращением к метафоре, подтверждают актуальность данного стиля во многих российских городах и в настоящее время. Эти торговые здания преимущественно расположены в центральной части городов, но есть примеры, когда новое строительство торгового центра располагается при въезде в город. Историческое окружение обычно способствует стилистическому взаимодействию нового объекта с устоявшимся контекстом, либо новое здание является контрастным по отношению к существующей застройке. Постмодернизм позволяет объединить историю и новый объект в единой структуре, и в то же время привлечь внимание посетителей внешним обликом, который служит определенной рекламой торгового здания. При строительстве всех вышеперечисленных торговых центров используются современные технологии и материалы. Этажность торговых центров в основном средняя, зонирование отличается продуманными графиками движения посетителей и многофункциональностью. Чаще это отдельно стоящее здание, занимающее своей объемно-пространственной композицией весь квартал или, если это более компактное сооружение, может примыкать к существующей застройке, занимая акцентное расположение на углу квартала. Колористическое решение также способствует выявлению авторской концепции или мимикрирует под окружающую среду. Декорация фасадов на тему истории является характерным приемом для постмодернистской архитектуры. На архитектуру торговых центров влияют местоположение в городе, стилистика окружения, местные региональные особенности, виртуозность замысла архитектора. Поиски образной выразительности направлены на стилистическое и композиционное взаимодействие с существующей исторической застройкой, направлены на привлечение внимания своей уникальной образной архитектурой, которая отвечает современным потребностям и представлениям своего времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гельфонд, А. Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений / А. Л. Гельфонд. – Москва : Архитектура-С, 2006. – 280 с. – ISBN 5-9647-0099-3. – Текст : непосредственный.

2. Смотрова, Т. И. Торговые центры как современная форма торговли и их характерные черты / Т. И. Смотрова. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы

экономических наук / Институт Менеджмента Маркетинга и финансов. – Воронеж, 2008. – № 1 (40). – С. 72–76.

3. Кузнецова, А. Ганзейский молл / А. Кузнецова. 2020. – URL: https://archi.ru/russia/86912/ganzeiskii-moll (дата обращения: 17.10.2021). – Текст : электронный.

4. Орельская, О. В. Постмодернизм / О. В. Орельская, А. А. Худин. – Нижний Новгород : Бегемот–НН, 2019. – 240 с. (Стили в архитектуре Нижнего Новгорода = Styles in the architecture of Nizhny Novgorod ; выпуск 3). – ISBN 978-5-6042059-1-4. – Текст : непосредственный.

SHIROKOVA Elena Olegovna, postgraduate student of the chair of architectural design

POSTMODERNISM IN THE ARCHITECTURE OF SHOPPING CENTERS IN THE REGIONS OF RUSSIA

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-17-83; e-mail: shkerdina95@icloud.com
Key words: architecture, shopping centers, postmodernism, partial historicism.

The article analyzes the works of postmodernism on the example of shopping centers of the late XX – early XXI centuries in cities of different Russian regions (Moscow, St. Petersburg, Nizhny Novgorod, Kazan, Samara, Novosibirsk, Kaliningrad, Naberezhnye Chelny). Specific examples show the characteristic features and singularity of the stylistic directions of postmodernism.

REFERENCES

1. Gelfond A. L. Arkhitekturnoe proektirovanie obschestvennykh zdaniy i sooruzheniy [Architectural design of public buildings and structures]. Moscow, Arkhitektura-S, 2006, 280 p. – ISBN 5-9647-0099-3.

2. Smotrova T. I. Torgovye tsentry kak sovremennaya forma torgovli i ikh kharakternye cherty [Shopping centers as a modern form of trade and their characteristic features]. Aktualnye voprosy ekonomicheskikh nauk. Institut Menedzhmenta, Marketinga i Finansov. Voronezh, 2008, № 1 (40). P. 72–76.

3. Kuznetsova A. Ganzeyskiy moll [Hanseatic mall]. 2020. – URL: https://archi.ru/russia/86912/ganzeiskii-moll (Data obrascheniya: 17.10.2021).

4. Orelskaya O. V., Khudin A. A. Postmodernizm [Postmodernism]. Nizhny Novgorod, Begemot-NN, 2019, 240 p. (Stili v arkhitekture Nizhnego Novgoroda = Styles in the architecture of Nizhny Novgorod ; vypusk 3). – ISBN 978-5-6042059-1-4.

© Е. О. Широкова, 2022
Получено: 18.11.2021 г.

УДК 728.5.05(470.61)

А. А. БАДАВИ, ст. преп. кафедры архитектуры жилых и общественных зданий, аспирант

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МАЛЫХ ГОСТИНИЦ НА ЮГЕ РОССИИ С УЧЕТОМ ИХ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет. Академия архитектуры и искусств» Россия, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, д. 39. Тел.: (863) 240-21-78; эл. почта: aabadavi@sfedu.ru
Ключевые слова: малые гостиницы, функционально-планировочные схемы, объемно-пространственные модели, типология, специализация.

Выделены основные типы малых гостиниц, актуальные для Юга России, а также предложены варианты функционально-планировочных схем и объемно-пространственных моделей различных типов малых гостиниц с учетом их специализации, месторасположения и вместимости.

В последнее время большое внимание уделяется развитию внутреннего туризма в России, реализуется множество государственных программ по развитию этой отрасли [1], созданию и продвижению региональных туристических брендов. Однако главной составляющей успешного развития регионального туризма является наличие развитой туристической инфраструктуры, неотъемлемый компонент которой – коллективные средства размещения (гостиницы). Во многих современных исследованиях по экономике и менеджменту приводятся данные об экономических преимуществах малых гостиниц (вместимостью до 100 человек) по сравнению с большими гостиницами [2]. Также, учитывая актуальные требования последнего времени по социальному дистанцированию, расширение сети именно малых гостиниц с учетом потребностей различных типов туристов, пребывающих в Ростовскую область, является актуальной проектной задачей.

Проведенный анализ работ по данной тематике показал, что большое внимание уделяется принципам и особенностям формирования туристско-рекреационной среды [3], а также особенностям модернизации гостиничного фонда [4], либо отдельным аспектам проектирования малых гостиниц [5]. Проведенный анализ мирового опыта строительства и проектирования малых гостиниц [6] в сопоставлении с Российскими нормативными документами позволил выделить 8 основных типов малых гостиниц: малый бизнес-отель, малая гостиница общего типа, малая специализированная гостиница, малая сельская гостиница, малый апарт-отель, малая рекреационная гостиница, мотель и хостел [7]. Соответственно обозначилась потребность в разработке функционально-планировочных схем и объемно-пространственных моделей малых гостиниц с учетом их назначения, местоположения, вместимости и уровня комфорта. По местоположению выделены следующие варианты размещения малых гостиниц: в центре города, на периферии города, в пригородной зоне, на свободной территории. По вместимости выявлены

следующие группы малых гостиниц: вместимостью 10–30 человек (5–15 номеров), 30–100 человек (15–50 номеров) [8, 9].

Малый бизнес-отель – это малая гостиница вместимостью до 100 человек, как правило более 30 человек (1-3 категории). Цель пребывания в таких гостиницах – деловой или конгрессный туризм, проведение переговоров, различных семинаров, тренингов, конференций и т. д. (рис. 1 цв. вклейки). Потребители таких гостиниц – бизнесмены, участники семинаров, тренингов, конференций, конгрессов, командировочные. Эти гостиницы расположены, как правило, в центре города, где они предоставляют максимальные возможности для проведения различных деловых мероприятий (наличие развитой транспортной и социальной инфраструктуры) (рис. 2*а* цв. вклейки). Однако есть также тип бизнес-отелей, расположенных в пригородной зоне, имеющих ориентацию на проведение закрытых бизнес-мероприятий, конференций, семинаров и т. д. (рис. 2*б* цв. вклейки). Особенностью таких гостиниц является наличие в них развитой деловой зоны (помещения конференц-залов, переговорных, мобильные офисы, помещения для проведения семинаров и круглых столов).

Малая гостиница общего типа – это гостиница, как правило, 3-5 категории с двумя основными вариантами вместимости: 10–30 человек (5–15 номеров) (рис. 3*а* цв. вклейки) и 30–100 человек (15–50 номеров) (рис. 3*б* цв. вклейки). Цель пребывания в таких гостиницах – временное проживание без выраженной дополнительной функции. Потребители гостиниц – все категории населения. Эти гостиницы расположены, как правило, в центре города (рис. 4*а* цв. вклейки) или на основных городских магистралях (рис. 4*б* цв. вклейки), всегда имеют хорошую транспортную доступность.

Малая специализированная гостиница – гостиница, как правило, 4-5 категории с двумя основными вариантами вместимости: 10–30 человек (5–15 номеров) (рис. 5*а*) и 30–100 человек (15–50 номеров) (рис. 5*б*). Цель пребывания в таких гостиницах – временное проживание в составе какого-либо общественного многофункционального комплекса. Потребители гостиниц – отдельные специализированные группы населения (родственники пациентов, спортсмены, транзитные пассажиры). К подвиду малых специализированных гостиниц можно отнести капсульные отели, где даже отсутствуют гостиничные номера в привычном понимании этого слова, а есть только индивидуальные капсулы для сна и отдыха. Такие гостиницы расположены, как правило, либо в городе (рис. 6*а* цв. вклейки), либо в пригородной зоне (рис. 6*б* цв. вклейки), в составе больниц, спортивных комплексов, транспортных узлов и т. д.

Малая сельская гостиница – это гостиница, как правило, 3-5 категории с двумя основными вариантами вместимости: 10–30 человек (Постоялый двор на 5–15 номеров) (рис. 7*а* цв. вклейки) и 30–100 человек (Туристическая деревня на 15–50 номеров) (рис. 7*б* цв. вклейки). Цель пребывания в таких гостиницах – агротуризм (сельский туризм), этнографический туризм. Потребители гостиниц – в основном семьи с детьми. Эти гостиницы расположены в сельской местности. Их особенностью является наличие либо сельскохозяйственной зоны, либо музейно-выставочной зоны, либо совокупности этих зон. В малых гостиницах типа Постоялый двор (вместимостью 5–15 номеров) (рис. 8*а* цв. вклейки) гости проживают и питаются совместно с хозяевами, а также участвуют в сельском хозяйстве (сбор и заготовка сельскохозяйственных культур, уход за домашними животными и т. д.). Туристическая деревня – тип малой сельской гостиницы вместимостью от 30 до 100 человек (рис. 8*б* цв. вклейки), особенностью которой

К СТАТЬЕ А. А. БАДАВИ «АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МАЛЫХ ГОСТИНИЦ НА ЮГЕ РОССИИ С УЧЕТОМ ИХ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)»

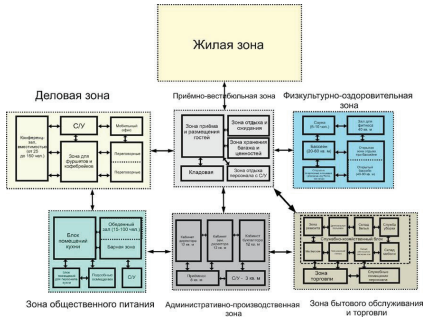
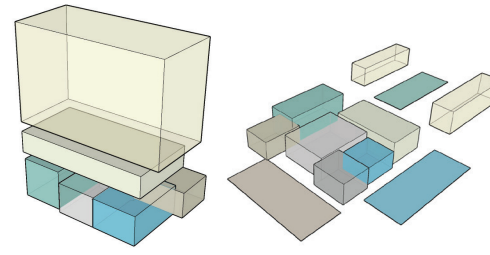
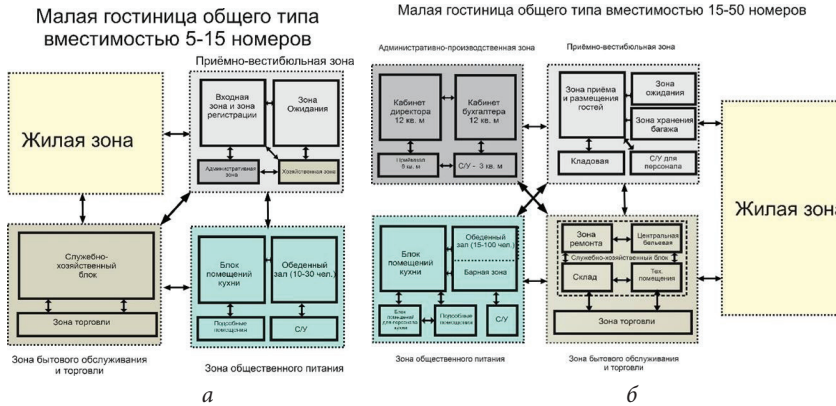


Рис. 1. Схема функционально-планировочной организации малого бизнес-отеля



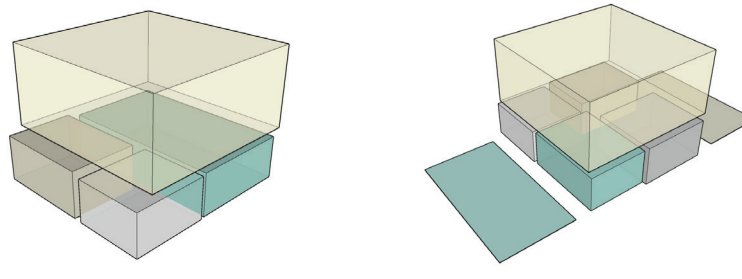
а *б*

Рис. 2. Варианты объемно-пространственной организации малых бизнес-отелей: *а* – здание с участком; *б* – парк-отель



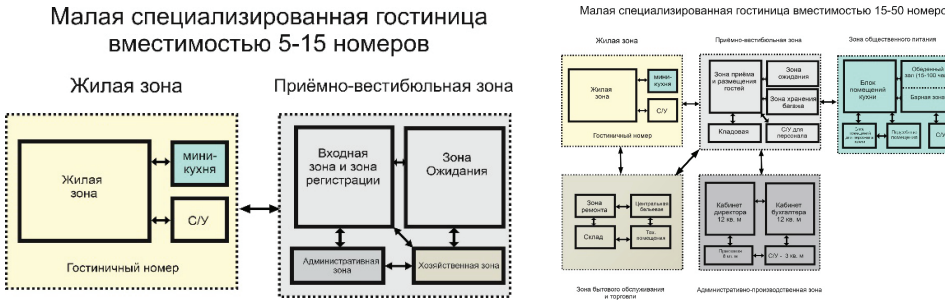
а *б*

Рис. 3. Варианты функционально-планировочных схем малых гостиниц общего типа: *а* – малая гостиница общего типа вместимостью 10–30 чел.; *б* – малая гостиница общего типа вместимостью 30–100 чел.



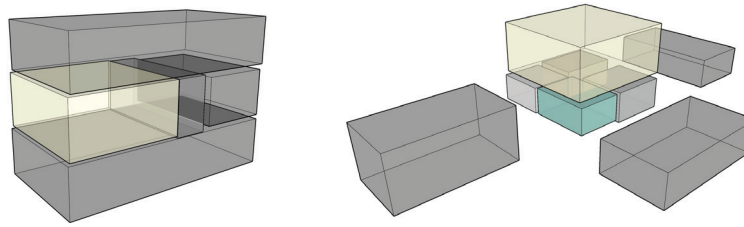
а *б*

Рис. 4. Варианты объемно-пространственной организации малых гостиниц общего типа: *а* – здание без участка; *б* – здание с участком



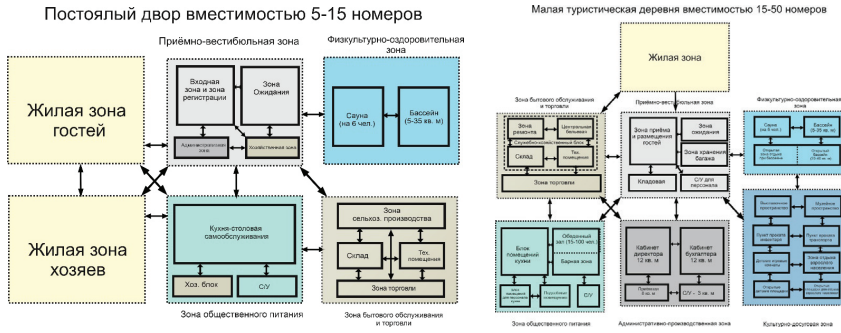
а *б*

Рис. 5. Варианты функционально-планировочных схем малых специализированных гостиниц: *а* – малая гостиница общего типа вместимостью 10–30 чел.; *б* – малая гостиница общего типа вместимостью 30–100 чел.



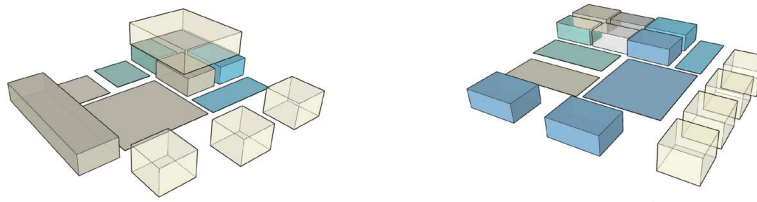
а *б*

Рис. 6. Варианты объемно-пространственной организации малых гостиниц общего типа: *а* – часть здания; *б* – парк-отель



а *б*

Рис. 7. Варианты функционально-планировочных схем малых сельских гостиниц: *а* – малая сельская гостиница типа «Постоялый двор», вместимостью 10–30 чел.; *б* – малая сельская гостиница типа «Туристическая деревня» вместимостью 30–100 чел.



а *б*

Рис. 8. Варианты объемно-пространственной организации малых сельских гостиниц: *а* – парк-отель; *б* – сеть коттеджей

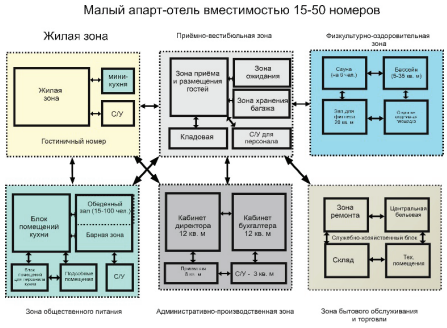


Рис. 9. Схема объемно-пространственной организации малых апарт-отелей

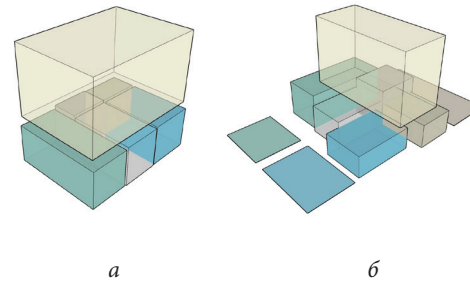


Рис. 10. Варианты объемно-пространственной организации малых апарт-отелей: *а* – здание без участка; *б* – парк-отель

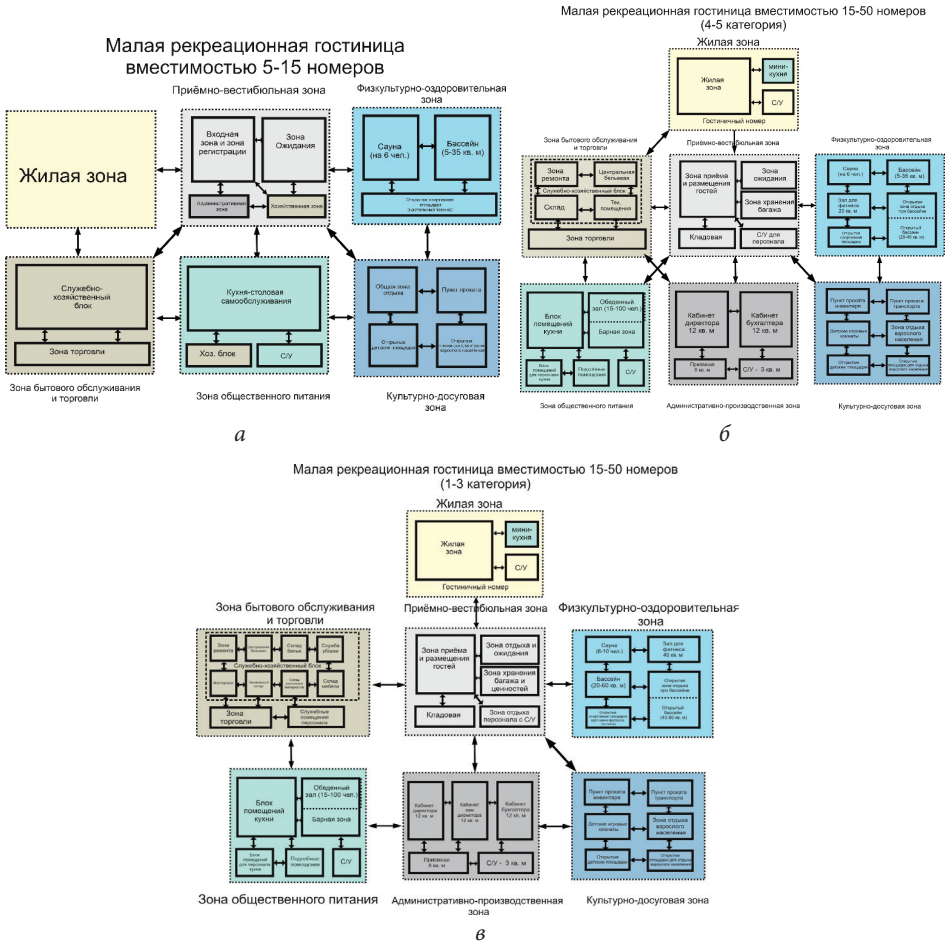
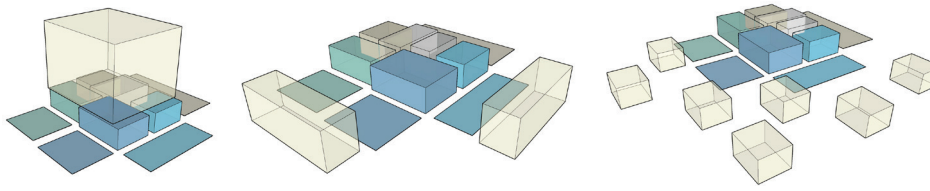


Рис. 11. Варианты функционально-планировочных схем малых рекреационных гостиниц: *а* – малая рекреационная гостиница вместимостью 10–30 чел.; *б* – малая рекреационная гостиница вместимостью 30–100 чел., 4-5 категории; *в* – малая рекреационная гостиница вместимостью 30–100 чел., 1-3 категории

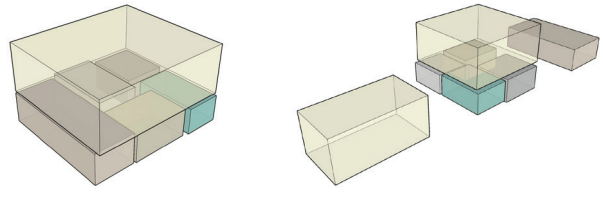


а *б* *в*

Рис. 12. Варианты объемно-пространственной организации малых рекреационных гостиниц: *а* – здание с участком; *б* – парк-отель, *в* – сеть коттеджей

а *б*

Рис. 13. Варианты функционально-планировочных схем мотелей: *а* – мотель вместимостью 10–30 чел.; *б* – мотель вместимостью 30–100 чел.



а *б*

Рис. 14. Варианты объемно-пространственной организации мотелей: *а* – мотель вместимостью 10–30 чел.; *б* – мотель вместимостью 30–100 чел.

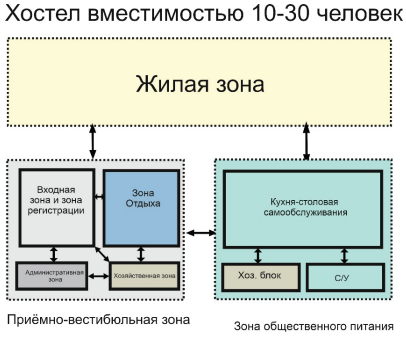
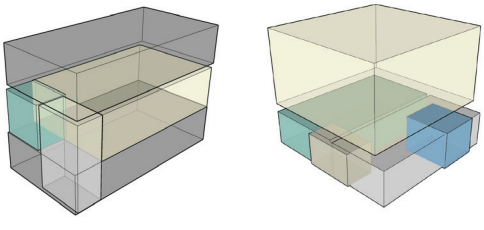


Рис. 15. Схема функционально-планировочной организации хостелов



а *б*

Рис. 16. Варианты объемно-пространственной организации хостелов: *а* – часть здания; *б* – отдельное здание

является наличие музейно-выставочной функции, исторической реконструкции, погружение туристов в быт и традиции местности.

Малый апарт-отель – это гостиница 1-3 категории вместимостью 30–100 человек (рис. 9 цв. вклейки). Цель пребывания в таких гостиницах – длительное проживание. Потребители таких гостиниц, как правило, – семьи с детьми, семейные пары, бизнесмены. Такие гостиницы расположены в городе (рис. 10*а* цв. вклейки), либо в пригородной зоне (рис. 10*б* цв. вклейки). Особенностью этих гостиниц является наличие номерного фонда, состоящего из номеров категорий: студия, семейный, студия и апартаменты, в которых обязательным является наличие кухни или кухонной зоны.

Малая рекреационная гостиница бывает всех пяти категорий с двумя основными вариантами вместимости: 10–30 человек (10–15 номеров) (рис. 11*а* цв. вклейки) и 30–100 человек (15–50 номеров) (рис. 11*б*, 11 в цв. вклейки). Цель пребывания в этих гостиницах – отдых и развлечения. Потребители гостиниц очень разные: это и семьи с детьми, и молодежь, и пожилые люди. Такие гостиницы могут быть расположены в разных местах: в городе или в поселке (рис. 12*а* цв. вклейки), в пригородной зоне (рис. 12*б* цв. вклейки), в сельской местности (рис. 12*в* цв. вклейки). Особенностью таких гостиниц является наличие развитых культурно-досуговых и физкультурно-оздоровительных зон. К разновидностям рекреационных гостиниц относятся бутик-отель, эко-отель, кемпинг, глемпинг, спа-отель, ботель, горный приют.

Мотель – это гостиница, как правило, 4-5 категории с двумя основными вариантами вместимости: 10–30 человек (5–15 номеров) и 30–100 человек (15–50 номеров) (рис. 15 цв. вклейки). Цель пребывания в таких гостиницах – краткосрочное пребывание, ночлег, временное размещение и ремонт автотранспорта. Потребители гостиниц – автовладельцы, автотуристы. Эти гостиницы могут быть расположены на основных городских магистралях или на трассах (рис. 1*б* цв. вклейки), особенностью гостиниц является наличие в них мест для временного хранения автотранспорта и автосервисного обслуживания.

Хостел – это гостиница, как правило, 4-5 категории, вместимостью 10–30 человек. Цель пребывания в таких гостиницах – временное проживание, ночлег, общение. Потребители гостиниц – молодежь. Эти гостиницы могут быть расположены в центре города или на основных городских магистралях и имеют хорошую транспортную доступность. Таким образом, для хостелов можно выделить два вида объемно-пространственных моделей: часть здания или отдельное здание. Особенностью таких гостиниц является совместное проживание гостей в одном общем номере.

Подводя итог, можно сказать, что набор функций обслуживания гостиницы зависит от направленности и уровня комфорта гостиницы и расширяется с ростом ее вместимости. Для каждого типа малой гостиницы, в соответствии со специализацией, можно выделить несколько вариантов функционально-планировочных схем с учетом их вместимости, а также наличие профильной сервисной функциональной зоны, соответствующей специализации малой гостиницы. Структура объемно-пространственных моделей малых гостиниц меняется в зависимости от местоположения малых гостиниц. К числу основных вариантов объемно-пространственных моделей малых гостиниц можно отнести: часть здания, отдельное здание, здание с участком, парк-отель и сеть коттеджей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственная программа Ростовской области «Развитие культуры и туризма» : приложение № 1 к постановлению Правительства Ростовской области от 17.10.2018 № 653 – Текст : электронный // Официальный портал правительства ростовской области : официальный сайт. – URL: http://old.donland.ru/documents/Ob-utverzhdenii-gosudarstvennojj-programmy-Rostovskojj-oblasti-Razvitie-kultury-i-turizma?pageid=128483&mid=134977&itemId=28054#pril1 (дата обращения: 24. 09.2018).

2. Nikolskaya, E. Y. Prospects for the Development of Small Hotels in Modern Conditions / E. Y. Nikolskaya, O. V. Pasko, M. E. Uspenskaya, E. N. Lysoivanenko, G. V. Pinkovskaya // Journal of Environmental Management and Tourism. –2019. – Т. 10, № 8 (40). – URL: https://journals.aserspublishing.eu/jemt/article/view/4385 (дата обращения: 17.07.2021).

3. Азизова-Полуэктова, А. Н. Системные принципы формирования региональной туристско-рекреационной среды : 05.23.20 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Азизова-Полуэктова Анна Наилевна ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2015. – 24 с. – Текст : непосредственный.

4. Шевченко, Л. П. Архитектура гостиниц городов Юга России: рекомендации по реконструкции / Л. П. Шевченко, Ю. В. Горгорова. – Ростов-на-Дону : Изд-во СНКЦ ВШ, 2007. – 85 с. – ISBN 978-587872-365-7. – Текст : непосредственный.

5. Клочко, А. Р. Актуальные вопросы развития сети малых гостиниц экономического класса в условиях Москвы и прилегающих к ней территорий / А. Р. Клочко, Л. А. Солодилова // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 9. – С. 12–13. – ISSN 0869-7019. – Текст : непосредственный.

6. Ronstedt, Manfred. Construction and Design Manual Hotel Buildings / Manfred Ronstedt, Tobias Frey // Berlin: DOM publishers, 2014. – 304 p. – ISBN 978-3-86922-331-5.

7. Badavi, A. A. Particularities of Formation of Architectural Typology of Small Hotels in the South of Russia / A. A. Badavi, V. M. Molchanov // Journal of Environmental Management and Tourism. – 2019. – Том 10, № 8(40) – URL: http://journals.aserspublishing.eu/jemt/article/view/4393/ (дата обращения: 17.07.2021).

8. Badavi, A. A. Current trends in the small hotels' social and functional structure organization / A. A. Badavi, V. M. Molchanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Т. 913. – URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/3/032034/pdf (дата обращения: 17.07.2021).

9. СП 257.1325800.2016. Здания гостиниц. Правила проектирования : свод правил : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 20 октября 2016 г. № 724/пр : дата введения 21 апреля 2017 г. – URL: http://docs.cntd.ru/document/456040113 (дата обращения: 17.07.2021). – Текст : электронный.

BADAVI Anna Aleksandrovna, senior teacher of the chair of architecture of residential and public buildings, postgraduate student

ARCHITECTURAL PLANNING ORGANIZATION OF DIFFERENT TYPES OF SMALL HOTELS IN THE SOUTH OF RUSSIA, TAKING INTO ACCOUNT THEIR SPECIALIZATION (BY THE EXAMPLE OF THE ROSTOV REGION)

Academy of architecture and arts. Southern Federal University
39, Budyonnovskiy Ave., Rostov-on-Don, 344082, Russia. Tel.: +7 (863) 240-21-78; e-mail: aabadavi@sfedu.ru
Key words: small hotels, functional planning schemes, volumetric-spatial models, typology, specialization.

The article identifies main types of small hotels relevant for the South of Russia. Variants of functional planning schemes and spatial models of various types of small hotels, taking into account their specialization, location and capacity, are proposed.

REFERENCES

1. Gosudarstvennaya programma Rostovskoy oblasti “Razvitie kultury i turizma” [State programme of Rostov region “Development of culture and tourism”] : prilozhenie № 1 k postanovleniyu Pravitelstva Rostovskoy oblasti ot 17.10.2018 № 653 // Ofitsialny portal pravitelstva rostovskoy oblasti : ofitsialny sayt. – URL: http://old.donland.ru/documents/Ob-utverzhdenii-gosudarstvennojj-programmy-Rostovskojj-oblasti-Razvitie-kultury-iturizma?pageid=128483&mid=134977&itemId=28054#pril1 (data obrascheniya: 24.09.2018).

2. Nikolskaya E. Y., Pasko O. V., Uspenskaya M. E., Lysoivanenko E. N., Pinkovskaya G. V. Prospects for the Development of Small Hotels in Modern Conditions. Journal of Environmental Management and Tourism. 2019. Vol 10, № 8(40) [Elektronny resurs] URL: https://journals.aserspublishing.eu/jemt/article/view/4385 (data obrascheniya: 17.07.2021).

3. Azizova-Poluektova A. N. Sistemnye printsipy formirovaniya regionalnoy turistsko-rekreatsionnoy sredy [System Principles of Formation of Regional Tourist and Recreational Environment]: 05.23.20 : avtoreferat dis. na soiskanie uchyon. stepeni kandid. arkhitektury. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2015, 24 p.

4. Shevchenko L. P., Gorgorova Yu. V. Arkhitektura gostinits gorodov Yuga Rossii: rekomendatsii po rekonstruktsii [Architecture of Hotels in Cities of the South of Russia (recommendations for reconstruction)]. Rostov-on-Don, Izd-vo SNKTs VSh, 2007, 85 p. – ISBN 978-587872-365-7.

5. Klochko A. R., Solodilova L. A. Aktualnye voprosy razvitiya seti malykh gostinits ekonomicheskogo klassa v usloviyakh Moskvy i prilegayuschikh k ney territoriy [Topical issues of development of network of economy class small hotels under the conditions of Moscow and territories adjacent to it]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and civil engineering]. 2012. № 9. P. 12–13. – ISSN 0869-7019.

6. Ronstedt Manfred, Tobias Frey. Construction and Design Manual Hotel Buildings. Berlin: DOM publishers, 2014, 304 p. ISBN 978-3-86922-331-5.

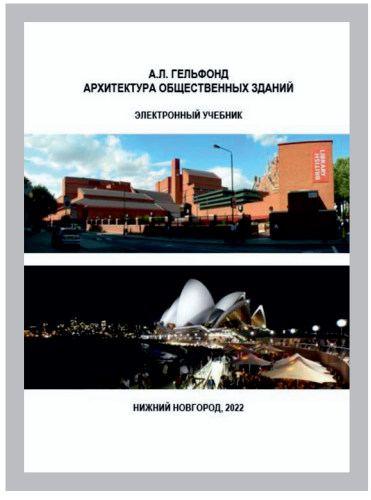
7. Badavi A. A., Molchanov V. M. Particularities of Formation of Architectural Typology of Small Hotels in the South of Russia. Journal of Environmental Management and Tourism. 2019. – Vol. 10, № 8 (40). – URL: http://journals.aserspublishing.eu/jemt/article/view/4393/ (data obrascheniya: 17.07.2021).

8. Badavi A. A., Molchanov V. M. Current trends in the small hotels' social and functional structure organization. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.2020. Vol. 913. – URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/913/3/032034/pdf (data obrascheniya: 17.07.2021).

9. SP 257.1325800.2016. Zdaniya gostinits. Pravila proektirovaniya [Hotel buildings. Design rules] : svod pravil : utverzhdyon i vvedyon v deystvie Prikazom Min-va stroit. i zhilischno-kommun. khoz-va RF (Minstroy Rossii) ot 20 oktyabrya 2016 g. № 724/pr : data vved. 2017-04-21 – URL: http:// docs.cntd.ru/document/456040113 (data obrascheniya: 17.07.2021).

© А. А. Бадави, 2022
Получено: 29.09.2021 г.

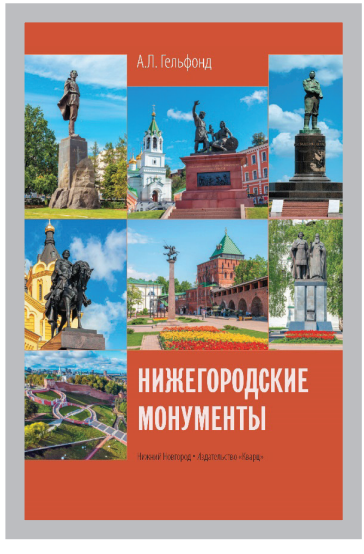
НОВЫЕ ИЗДАНИЯ



Гельфонд, А. Л. Архитектура общественных зданий : электронный учебник для студентов вузов / А. Л. Гельфонд ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2022. – 1150 с. : ил. – 1 электрон. опт. диск (CD-R).
ISBN 978-5-528-00467-9. – Текст : электронный.

Электронный учебник основан на иллюстрированном авторском курсе лекций по дисциплине «Архитектура общественных зданий». Предназначен для студентов образовательных организаций высшего образования, обучающихся по направлениям подготовки 07.03.01 «Архитектура», 07.03.03 «Дизайн архитектурной среды», 07.03.04 «Градостроительство», 07.03.02 «Реконструкция и реставрация архитектурного наследия» уровня высшего образования бакалавриат. Может быть также полезен магистрантам, аспирантам и слушателям факультетов повышения квалификации.

Рекомендовано Российской академией архитектуры и строительных наук в качестве учебника для студентов образовательных организаций высшего образования, обучающихся по направлениям подготовки 07.03.01 «Архитектура», 07.03.03 «Дизайн архитектурной среды», 07.03.04 «Градостроительство», 07.03.02 «Реконструкция и реставрация архитектурного наследия» уровня высшего образования бакалавриат.



Гельфонд, А. Л. Нижегородские монументы : монография. – Нижний Новгород : Кварц, 2022. – 32 с.: ил.
ISBN 978-5-6047453-2-8

В монографии рассмотрена история возведения нижегородских монументов и сформированных ими общественных пространств. Эти объекты создают историко-культурный и познавательный каркас, движение по которому позволяет изучить Нижний Новгород через изображения его значимых личностей. Рекомендуется преподавателям, аспирантам, магистрантам и студентам специальностей «Архитектура», «Промышленное и гражданское строительство», а также практикующим архитекторам.

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 (индекс

80382 в каталоге «Урал-Пресс»). 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/м^2. 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 Cyr, 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». Зам. главного редактора 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 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 (2.1.1);
- Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (2.1.3);
- Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (2.1.4);
- Строительные материалы и изделия (2.1.5);
- Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология (2.1.6);
- Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (2.1.10);
- Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (2.1.11);
- Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (2.1.12);
- Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (2.1.13).

В ЖУРНАЛЕ ПУБЛИКУЮТСЯ

статьи о результатах научных исследований по группе научных специальностей 2.1 – «Строительство и архитектура». Статьи рецензируются.

Каталожная цена за 6 месяцев – 1000 руб.
Цена отдельного номера – 500 руб.

Подписной индекс по каталогу «Урал-Пресс»: 80382

Адрес редакции: Россия, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65.
Тел./факс: (831) 433-04-36, 430-19-46

ISSN 1995-2511
9 771995 251524